

Ольга Тагліна, Андрій Самойлов,
Ольга Утєвська, Людмила Довгаль

Біологія

9



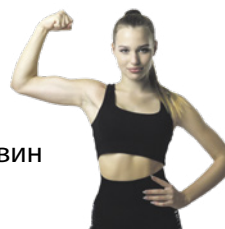
Основні функції білків

Структурна. Білки входять до складу сухожилків (колаген), дерми шкіри та зв'язок (колаген і еластин), кісток (колаген), волосся, рогів, копит (кератин), шовку (фіброїн), цитоскелета, клітини — мікротрубочки (тубулін)

Кокони тутового шовкопряду сплетені з білка фіброїну



60 % органічних речовин м'язів — це білки



Рухова. Скоротливі білки актин і міозин утворюють комплекси, здатні скорочуватися й передавати механічне зусилля на клітину, змінюючи тим самим її форму. Актин і міозин є у всіх клітинах еукаріотів. Їх дуже багато в м'язових клітинах

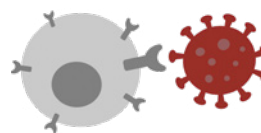
Енергетична. Амінокислоти можуть окиснюватися з отриманням енергії для потреб клітини (наприклад, за умов голодування)

Запасальна, або резервна. Запасні білки накопичуються в яйцях птахів (овальбумін) або насінні рослин (глютени злаків). Вони необхідні для розвитку зародка



Гемоглобін в еритроцитах

Транспортна. Білок гемоглобін в еритроцитах забезпечує транспорт кисню. Білки плазми крові транспортують гормони, мікроелементи, ліпіди й інші речовини. Білки-переносники, канали та насоси забезпечують вибіркового транспорт речовин (молекул, іонів, води) крізь непроникний для них бар'єр із двох шарів фосфоліпідів



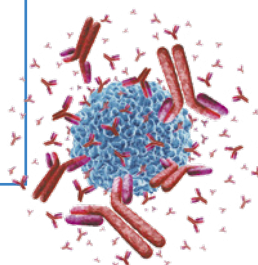
Білки оболонки вірусу розпізнають рецептори клітин

Рецепторна. Білки сприймають різні стимули й передають сигнали в клітину

Каталітична. Білки-ферменти прискорюють хімічні реакції

Захисна. Антитіла, або імуноглобуліни, нейтралізують антигени. Лізоцим сліз, слини й інших рідин організму здатний розщеплювати муреїн клітинних стінок бактерій, захищаючи організм від бактерій. Білки інтерферони забезпечують противірусний захист. Білки згортання крові (тромбін, фібрин) забезпечують формування тромбів (згустків) крові

Плазматична клітина синтезує антитіла



Регуляторна. Білкові гормони регулюють ріст клітин і тканин (соматотропін, або гормон росту), рівень глюкози (інсулін і глюкагон) та інші процеси життєдіяльності. Клітинні білки — транскрипційні фактори — регулюють роботу генів у ядрі клітини



Пластична. Амінокислоти білків використовуються організмом для утворення нових білків та інших речовин

Ольга Тагліна
Андрій Самойлов
Ольга Утєвська
Людмила Довгаль

Біологія

**Підручник для 9 класу
закладів загальної середньої освіти**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України



rnk.com.ua/111354

Інтерактивний
електронний
додаток

Київ • Харків
Видавництво «Ранок»
2026



УДК 37.016:57:611(075.3)
Б 63

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 створено відповідно до модельної навчальної програми
«Біологія. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти
(автори: Самойлов А. М., Тагліна О. В., Утевська О. М.)

Підручник успішно пройшов апробацію у 2025/2026 навчальному році
(наказ Міністерства освіти і науки України від 02.02.2026 № 142)

Біологія : підруч. для 9 кл. закл. загал. серед.
Б 63 освіти / О. В. Тагліна, А. М. Самойлов, О. М. Утевська,
Л. В. Довгаль. — Харків : Вид-во «Ранок», 2026. —
256 с. : іл.

ISBN 978-617-8775-65-0

УДК 37.016:57:611(075.3)



**ЗРОБЛЕНО
В УКРАЇНІ**

ISBN 978-617-8775-65-0

© Тагліна О. В., Самойлов А. М.,
Утевська О. М., Довгаль Л. В., 2026
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2026

Шановні дев'ятикласники та дев'ятикласниці!

Раді вітати вас у царстві біологічних наук! Цього року ви зануритеся у світ генетики, біохімії та цитології. Нові слова? Так! І нові знання! Тож ласкаво просимо!

ДНК і РНК; ліпіди, вуглеводи, білки; робота ферментів; органели як частинки неймовірно складного механізму клітин, завдяки якому ми живемо; гени й генетичний код; спадковість і мінливість... Це все про те, як улаштоване життя і як побачити красу й відчути силу цього життя. Приготуйтеся дивуватися й захоплюватися!

Щодо структури. Підручник складається з параграфів. Кожен із них починається з рубрики «Поміркуйте й обговоріть ситуацію», а завершується рубриками «Опорні точки» — про головне в параграфі, «Запитання і завдання» — перевірка вивченого.

Під час роботи в парі або групі не забувайте про взаємооцінювання й самооцінювання. У рубриках «Знайдіть інформацію й виконайте завдання», «Відкритий мікрофон», «Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації» та інших ви можете виявити себе, запропонувати власне бачення проблем і шляхи їхнього вирішення.

Відскануйте QR-код на початку підручника, і ви матимете доступ до електронних ресурсів, насамперед низки інтерактивних завдань. Окрім цього, за спеціальними QR-кодами всередині параграфів ви зможете подивитися навчальні відеоролики, анімації, розширити свою базу знань за допомогою додаткової інформації: схем, таблиць, проєктів тощо. Ми сподіваємося, що такі електронні «родзинки» допоможуть вам краще засвоювати матеріал. А ще — це весело й сучасно!

Щиро віримо, що з нашим підручником вам буде зручно й цікаво працювати!

Бажаємо успіхів у навчанні!

Авторський колектив



Умовні позначення



Поміркуйте
й обговоріть ситуацію



Поділіться своїми
думками



Відкритий мікрофон



Знайдіть інформацію
й виконайте завдання



Пошук, оцінювання,
систематизація
та презентація інформації



Завдання



Індивідуальна робота



Робота в парі



Робота в групі



Опорні точки



Запитання і завдання



Українські жінки в сучасній
науці

ВСТУП. БІОЛОГІЯ ЯК ПРИРОДНИЧА НАУКА. ОСНОВНІ ГАЛУЗІ БІОЛОГІЇ ТА ЇЇ МІСЦЕ З-ПОМІЖ ІНШИХ НАУК



rnk.com.ua/
112137

§ 1

Основні галузі біології та її місце з-поміж інших наук. Рівні організації біологічних систем. Роль біології в житті людства



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Сучасній науці на сьогодні відомо понад 8,7 млн видів організмів, які мешкають на планеті Земля. Чи знаєте ви, завдяки яким біологічним наукам науковці й науковиці змогли дізнатися про це? Які фахівці / фахівчині можуть довести, що ця група організмів є видом?

Довідка. Самих лише кажанів відомо більше тисячі видів, кактусів — близько 1 700, а сонечок — 4–5 тисяч видів!

Біологія як природнича наука



Поділіться своїми думками

Галузі науки, що вивчають об'єкти і явища живої та неживої природи, мають назву природничі науки. У шкільній програмі є фізика — наука, що вивчає склад і структуру матерії та явища в неживій природі; хімія — наука про будову й перетворення речовин; біологія — наука, яка вивчає живу природу на всіх рівнях її організації. Але, як ви бачите на схемі нижче, існують й інші природничі науки.

Як ви вважаєте, що вони вивчають і чому належать саме до природничих наук? Чому до природничих наук не належать, наприклад, історія, література, археологія, культурологія, філософія, математика, інформатика?



Місце біології з-поміж інших наук

Природа є цілісною структурою, ступінь складності якої важко переоцінити. Аби пізнавати Всесвіт, люди намагаються здобувати знання у формі таких пояснень і передбачень, які можна перевірити. Саме це властиве природничим наукам. Для вивчення живого необхідні, зокрема, математика, фізика, хімія та географія. Біологія об'єднує всі природничі науки задля проведення спільних наукових досліджень.

Наприклад, біофізика вивчає живу природу, використовуючи закони фізики, а біохімія, користуючись хімічними методами, — хімічний склад організмів і хімічні процеси, притаманні живим організмам (мал. 1.1).

Молекулярна біологія досліджує біологічні процеси на рівні біополімерів: нуклеїнових кислот і білків та їхніх надмолекулярних структур. Саме завдяки цій науці були вивчені молекулярні механізми копіювання ДНК, синтезу РНК та білків у клітинах (мал. 1.2).

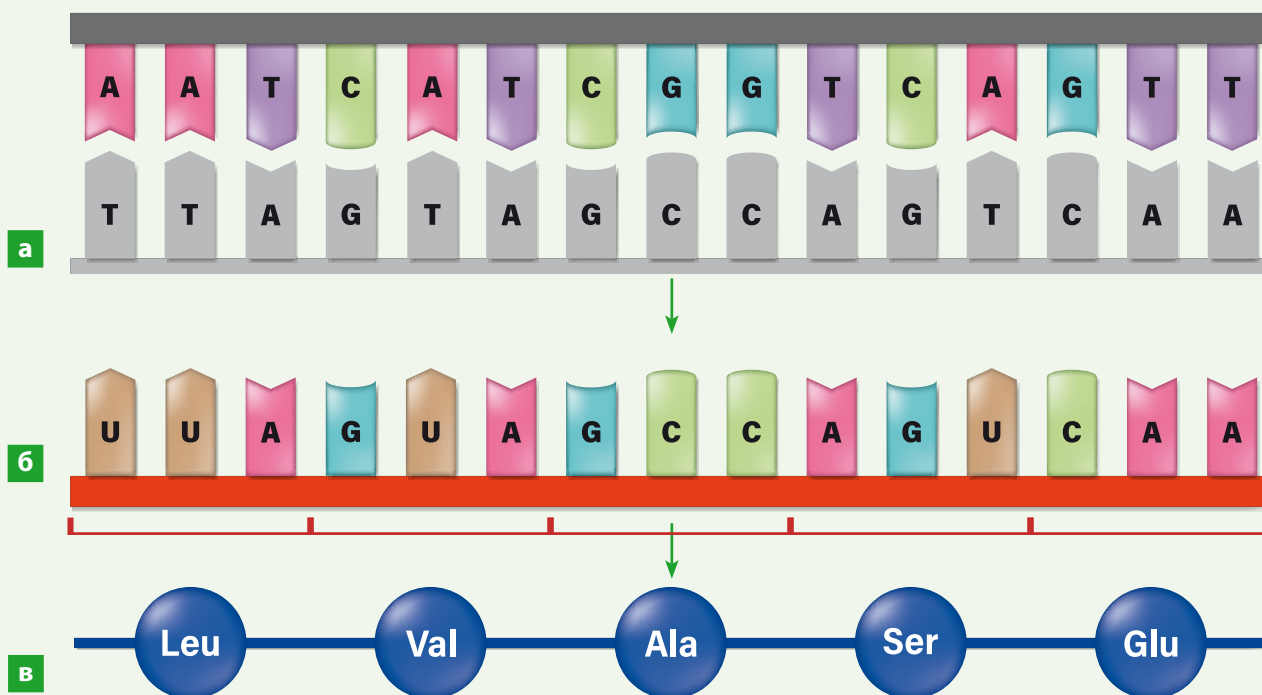


Мал. 1.1. За допомогою біохімічних методів проводять дослідження різноманітних біологічних зразків



Анімація «Біологія:
зв'язок з іншими
науками»

rnk.com.ua/111829



На межі біології й географії виникла наука **біо-географія**, предметом якої є вивчення закономірності географічного поширення тварин і рослин та їхніх угруповань, а також вивчення фауни і флори окремих територій.

Мал. 1.2. Молекулярна біологія досліджує, зокрема, синтез ДНК (а), РНК (б) і білків (в)



Навчальна гра
«Біоніка, ботаніка,
вірусологія,
мікологія»
rnk.com.ua/111830



Мал. 1.3. Учні Харківського ліцею №47 за підтримки Малої академії наук України готують експеримент проєкту SSEP (Student Spaceflight Experiments Program) «Затвердіння стоматологічних цементів в умовах мікрогравітації» для відправлення на Міжнародну космічну станцію (МКС), 2022 рік



Чому кількість ботанічних дисциплін із часом зростає?

Математична біологія займається моделюванням природних біологічних процесів за допомогою використання методів прикладної математики й математичного моделювання. З обчислювальною біологією тісно пов'язана **біоінформатика**, яка поєднує методи й принципи біології, інформатики, математики й статистики для збору, аналізу та інтерпретації біологічних даних. Слід зауважити, що біоінформатики працюють із величезними і складними масивами біологічних даних. Здобуті знання мають важливе практичне значення, наприклад, дають змогу визначати потенційні мішені ліків, вивчати процеси, що є в основі різних захворювань, тощо.

Астробіологія розглядає походження, еволюцію та поширення можливого життя на інших планетах у Всесвіті. Для дослідження можливості існування позаземного життя ця наука використовує науковий потенціал фізики, хімії, астрономії, біології, екології, планетології, географії, геології й космонавтики.

Біоастронавтика вивчає фактори, які впливають на живі організми в космічному просторі. Ця наука охоплює різноманіття проблем, пов'язаних із підтриманням життя в космосі.

Космічна медицина займається медичними, біологічними та інженерними дослідженнями, метою яких є забезпечення безпеки й оптимальних умов існування людини під час пілотованого космічного польоту або у відкритому космосі (мал. 1.3).



Робота в групі

Прочитайте текст і виконайте завдання.

Ботаніка є найстарішою природничою наукою у світі. Кількість ботанічних дисциплін із часом зростала, виникли систематика рослин, морфологія рослин, анатомія рослин, фізіологія рослин, палеоботаніка, біохімія рослин, геоботаніка, альгологія, бріологія, мікологія, ліхенологія, флористика, дендрологія, етноботаніка, фітопатологія.

Знайдіть інформацію, дайте визначення тим ботанічним наукам, назв яких ви до цього не знали, і створіть плакат / постер / презентацію на цю тему, описавши, що саме вивчають ці науки. Поясніть, чому ботаніка стала такою диференційованою наукою. На вашу думку, це важливо? Чому? Обговоріть це в групі.

Основні галузі біології

Об'єднуючись з іншими науками, біологія завжди залишається унікальною, бо основними предметами її наукового дослідження є саме життя і все, що стосується живого.

Біологія складається з багатьох галузей, які відрізняються за об'єктами, методами чи підходами до вивчення живого. Наприклад, є науки, що вивчають біологічні об'єкти та процеси на окремих **рівнях організації живого**. Так, **молекулярний рівень організації живого** досліджують біохімія, молекулярна біологія й молекулярна генетика; **клітинний рівень** — цитологія, цитогенетика, генна та клітинна інженерія; **тканинний рівень** — гістологія; **організмний рівень** — анатомія, морфологія, фізіологія.

На **популяційно-видовому рівні** організації життя проводять дослідження такі науки, як-от: екологія, генетика популяцій, еволюційна біологія. **Екосистемний рівень** вивчають екологія, біогеографія, а **біосферний** — екологія, глобальна екологія.

Оскільки біологія вивчає життя, то основними темами для біологів / біологинь є такі: «Клітина як основна структурно-функціональна одиниця живого», «Спадковість і мінливість як основні властивості живого», «Еволюція як рушійна сила біологічного різноманіття», «Перетворення речовин і енергії та забезпечення гомеостазу в живих системах» тощо.

Перші біологічні науки з'явилися тоді, коли людство ще не знало про рівні організації живої матерії. Люди вивчали будову й властивості організмів рослин і тварин, тому виникли найдавніші



Додаткові завдання
до параграфа
rnk.com.ua/113266



Індивідуальна робота

Укладіть і презентуйте однокласникам та однокласницям перелік біологічних наук, що сформувалися в процесі вивчення:

- 1) живих об'єктів;
- 2) функцій живого;
- 3) структур живого;
- 4) властивостей живого;
- 5) рівнів організації живого.



Робота в парі

Чи є віруси, які вивчає наука біологія, живими організмами? До якого рівня організації живого вони належать? Аргументуйте вашу відповідь.

Схема 1. Роль біології в житті людства





Таблиця «Рівні організації живого»
rnk.com.ua/112161

біологічні науки: ботаніка й зоологія. А ще люди хотіли знати якомога більше про себе, про свій організм і власні особливості, тому з'явилися природничі науки, що вивчають людину.

Рівні організації біологічних систем

У 7-му класі курсу «Біологія» ви вже знайомилися з рівнями живого. Більш детально ви можете дізнатися про це з таблиці під QR-кодом.



Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

Завдання щодо внеску українських науковців і науковиць у розвиток різних напрямів біологічної науки.

1. Біля Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна встановлені бюсти вчених, лауреатів Нобелівської премії, які викладали або навчалися в Харківському університеті. Дізнайтеся, хто з них був біологом і за які відкриття він здобув Нобелівську премію.
2. 1000-гривневі банкноти містять на аверсі портрет видатного українського науковця, засновника біогеохімії та вчення про біосферу. На цій банкноті викарбувано його слова: «Я вірю у величне майбутнє України». Дізнайтеся, хто цей учений і який його внесок у розвиток української науки. Підготуйте про нього коротке інформаційне повідомлення.

Щодо ролі біології в житті людства — докладно в схемі 1, с. 7.



Запитання і завдання

1. Чим природничі науки відрізняються від гуманітарних?
2. Які особливості біологічних об'єктів сприяють об'єднанню біології з іншими природничими науками для проведення спільних наукових досліджень?
3. Які галузі сучасної біології ви вважаєте перспективними і практично значущими на сьогодні? Обґрунтуйте свій вибір. Проведіть обговорення в класі на цю тему.
4. Доведіть, що вивчення перетворення речовин і енергії та забезпечення гомеостазу в живих системах є важливим напрямом розвитку сучасної біології.
5. Створіть зміст і правила гри, у якій виграє та команда, яка знає якнайбільше галузей біології, водночас пояснює, що ці галузі вивчають і який практичний сенс цих знань. Підготуйте необхідні матеріали для гри й апробуйте її як автори / авторки та організатори / організаторки. Обговоріть результати цієї гри і визначте переможців / переможниць за завчасно розробленими критеріями.



Опорні точки

Біологія є природничою наукою, яка поділяється на різні наукові напрями і складається з окремих біологічних дисциплін. Біологія об'єднує (інтегрує) всі природничі науки задля вивчення живого. Більшість сучасних біологічних досліджень є спільними з іншими природничими науками.

Основні галузі біології: біохімія, молекулярна біологія, генетика, цитологія, гістологія, анатомія, фізіологія, ембріологія, екологія, еволюційна біологія та ін.



rnk.com.ua/
112138

§ 2

Наукове дослідження як метод пізнання природи. Форми представлення даних

Що таке наука?

Наука є одним із найважливіших виявів людської культури. Це сукупність людських знань, які здобуваються за певними правилами й об'єднуються в цілісну систему. Наука дає змогу людству набувати об'єктивних уявлень про живу й неживу природу, соціальні явища, особливості й сенс власного існування. Якщо ви хочете займатися науковими дослідженнями, спочатку слід з'ясувати, що таке наука, чому вона виникла, завдяки яким правилам мислення розвивається.

Наукове дослідження як метод пізнання природи

Важливою рисою науки є те, що вона дає **об'єктивні знання**. Коли ми кажемо, що якісь предмети чи явища є об'єктивними, це означає, що вони існують незалежно від будь-якого спостерігача / будь-якої спостерігачки. Це ті об'єкти та явища, які можна виміряти, спостерігати, досліджувати за допомогою наукових методів. Об'єктивна інформація базується на фактах і даних, які можна перевірити й підтвердити.

Наука — це спосіб пізнання навколишнього світу, що дає про нього об'єктивні знання.

Об'єктивні знання — це такі знання про об'єкти та явища навколишнього світу, які не залежать від суб'єктивних уявлень і думок різних людей.

Методологія — це вчення про правила мислення під час створення наукових гіпотез і проведення наукових досліджень.

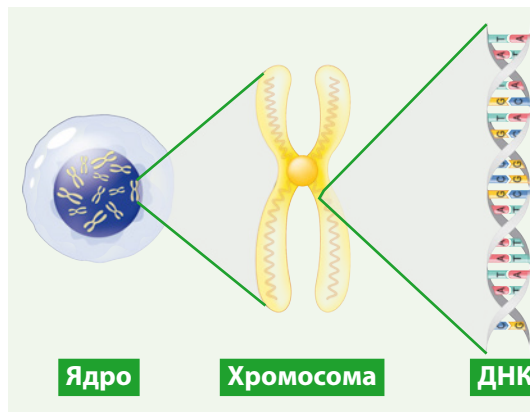


Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Наукова інформація існує у вигляді різноманітних форм наукової продукції: доповідь, реферат, стаття, монографія, винахід, дисертація тощо.

1953 року Джеймс Вотсон і Френсіс Крік опублікували свої наукові погляди в статті «Молекулярна структура нуклеїнових кислот: структура дезоксирибонуклеїнової кислоти» (Nature, v. 171, p. 737–738).

Як ви вважаєте, чому вони написали саме статтю, а не обрали якусь іншу форму оприлюднення наукових даних?





Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Дізнайтеся, якими науковими методами вивчають резистентність мікроорганізмів до антибіотиків.



Робота в парі

Як довести, що певний організм є справжнім багатоклітинним організмом, а не колонією клітин?



Робота в групі

Користуючись табл. 1 і за потреби додатково інформацією, підготуйте доповідь «Наука і псевдонаука», наведіть приклади наукової та псевдонаукової інформації.



Українські жінки в сучасній науці



Лілія Василівна Авдєєва — українська мікробіологиня, докторка медичних наук, завідувачка відділу антибіотиків Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України. Вивчає внутрішньолікарняні інфекції та резистентність мікроорганізмів до антибіотиків, розробляє нові антимікробні препарати.

Елементом наукового об'єктивного знання є науковий факт, який базується на об'єктивних спостереженнях і може бути перевірений у процесі наукового дослідження (табл. 1). Саме наукові факти стають основою для формулювання наукових гіпотез, теорій і законів. Науковий факт може бути замінено на новий, більш точний, у процесі проведення нових досліджень.



Науковий факт (від лат. "factum" — зроблене) — складник наукового знання, що відображає об'єктивні властивості речей і процесів, на основі яких визначають закономірності явищ, вибудовують теорії, формулюють закони.

Таблиця 1. Порівняння об'єктивної наукової інформації та необ'єктивної псевдонаукової інформації

Наукова інформація	Ненаукова (псевдонаукова*) інформація
Базується на фактах, які можна перевірити	Відображає особисті враження й емоції людини
Не змінюється залежно від точки зору людини або її особистих уподобань	Може змінюватися залежно від настрою людини, її досвіду, особистих уподобань
Може бути перевірена й підтверджена за допомогою спостережень, досліджень і експериментів	Ґрунтується на особистих поглядах, і її майже неможливо підтвердити чи спростувати
Є універсальною, має однакове значення для всіх людей, працює однаково для всіх об'єктів у певних умовах, зберігає свою сутність незалежно від особистих уподобань чи чиєїсь точки зору	Є індивідуальною, має різне значення для різних людей, часто залежить від чиєїсь точки зору
Стосується фактів і явищ, які не залежать від особистих вражень чи думок, і може бути перевірена	Стосується фактів і явищ, які залежать від чиїхось трактувань і яку майже неможливо перевірити

* Псевдонаука — це те, що видається за науку, але не є такою насправді.

Шлях вивчення природних явищ і процесів за допомогою наукового методу

Спочатку, коли відкрито нове явище або виявлено факти, які не мають пояснення в системі відомих знань, постає **проблема**. Змістом проблеми є те, що ще не пізнано людиною, тобто знання про незнання.

Наступний крок — **формулювання гіпотези**, тобто припущення, яке спирається на факти, але потребує доведення. Для перевірки гіпотези вчені використовують різні наукові методи. Однак основним із них є **експеримент**.

Якщо експеримент не підтверджує гіпотезу, з'являються нові дані й знову постає проблема. А якщо експеримент підтверджує гіпотезу, з'являється **теорія** — система знань, яка розкриває зв'язки між явищами й процесами, описує реальність за допомогою наукових законів.

Важливо те, що на основі теорії можна пояснювати й передбачати нові природні явища.

Якщо вчені знаходять закономірності, що здебільшого не мають винятків, і встановлюють зв'язки між явищами природи, можна говорити про деякі закони, наприклад, закони спадковості, відкриті Грегором Менделем, або закон біогенної міграції атомів, відкритий академіком В. І. Вернадським.

Форми презентації наукових даних

Для вчених є важливим не лише правильно провести наукове дослідження, а й правильно подати отримані результати наукової роботи у вигляді наукової інформації.

Наукова інформація — це знання, відомості, дані, які отримуються, зберігаються й передаються в процесі розвитку науки та практичної діяльності людей.



Анімація «Навіщо займатися наукою?»
rnk.com.ua/112162



Методи досліджень у біології
rnk.com.ua/113267



Індивідуальна робота

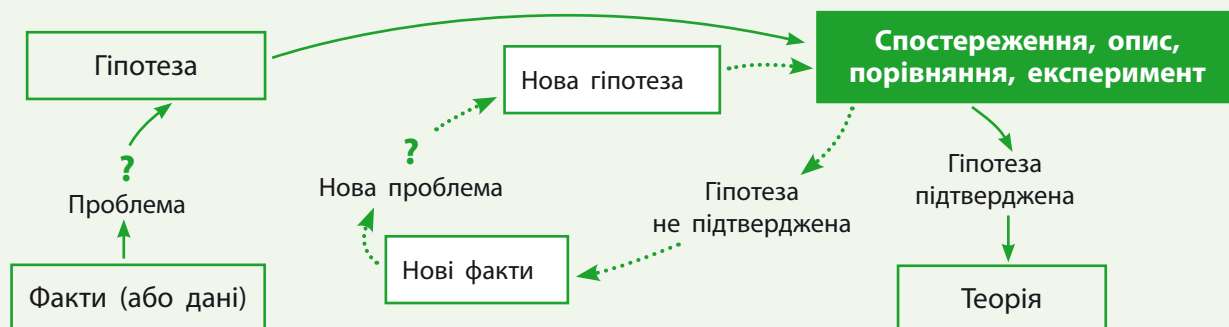
Дізнайтеся суть законів, які відкрили Грегор Мендель і Володимир Іванович Вернадський. Чому, на вашу думку, це були важливі закони для науки? Поміркуйте про те, як наукові відкриття впливають на щодення мільйонів людей, які проживають на нашій планеті.

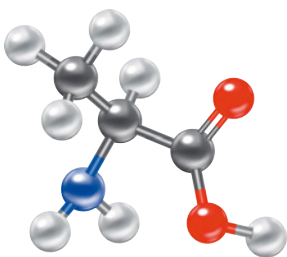


Відкритий мікрофон

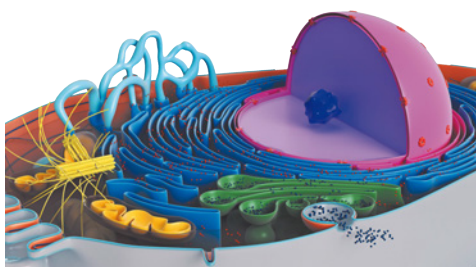
Користуючись схемою 2, поясніть, як відбувається вивчення природних явищ і процесів за допомогою наукового методу.

Схема 2. Шлях вивчення природних явищ і процесів

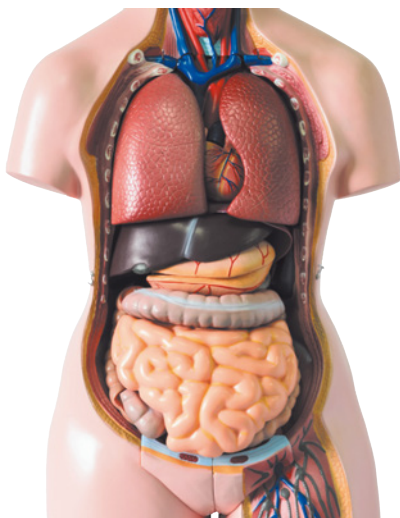




Модель молекули аланіну — амінокислоти, яка входить до складу білків



Модель клітини тварин



Модель торсу людини

Моделі в пізнанні природи

Наукова інформація може подаватися у вигляді моделі. Наукова спільнота використовує різноманітні моделі. Це можуть бути **фізичні копії об'єктів**, наприклад, модель еукаріотичної клітини або тіла людини; **математичні моделі**, наприклад, алгоритми, які описують динаміку чисельності популяцій організмів у часі; **комп'ютерні моделі**, які дають змогу проводити симуляції еволюційних подій; словесні моделі, які є описом об'єктів і явищ.

Завдяки моделям ми можемо зосередити увагу на важливих, суттєвих, ключових аспектах, не концентруючись на інших, менш важливих. За допомогою моделі можна прогнозувати поведінку системи в різних умовах, перевіряти гіпотези й теорії, пояснювати складні концепції, візуалізувати біологічні явища, використовувати для розроблення нових технологій.

Наукова інформація може також бути представлена у вигляді графіків, таблиць, діаграм, схем.

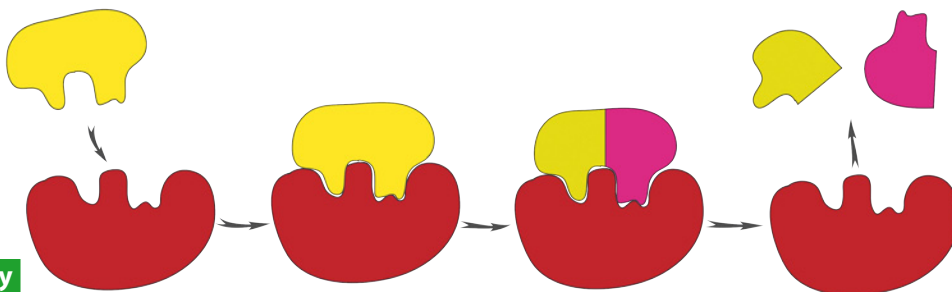
Публічною, тобто усною, презентацією наукової інформації з певного питання є **доповідь**. У доповіді дослідник / дослідниця виявляє своє вміння оприлюднити хід наукового дослідження, його результати й дати кваліфіковані відповіді на запитання.



Поділіться своїми думками

Користуючись зображеннями різних моделей, поясніть їхнє значення для наукового вивчення навколишнього світу. Де можуть застосовуватися такі моделі? Навіщо вони потрібні?

На основі запропонованих у завданні чи знайдених вами в інтернеті моделей створіть із підручних засобів будь-яку модель і презентуйте її в класі. Зафільмуйте коротке відео про те, навіщо потрібна така модель, де ви пропонуєте її використати. Ролик розмістіть у своїх соцмережах чи на сторінці вашого класу в інтернеті.



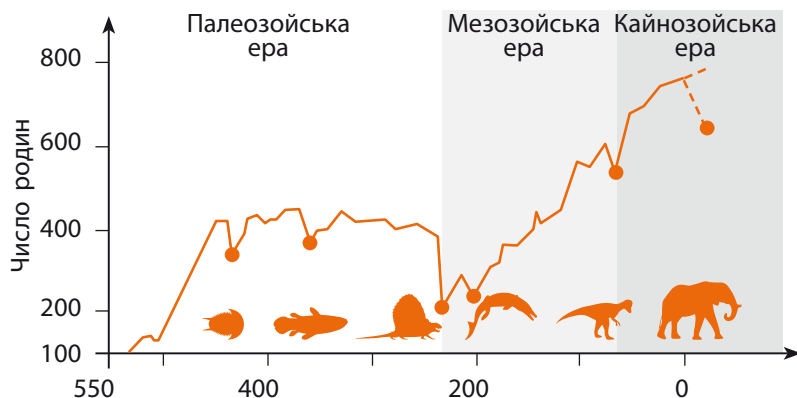
Модель роботи ферменту



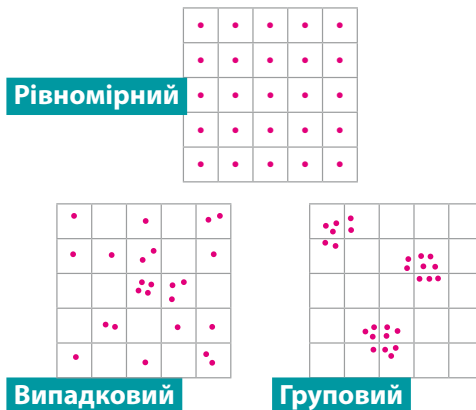
Робота в парі

Користуючись різними прикладами інфографіки, поясніть їхнє значення для здійснення наукового пошуку. Яку інформацію ви отримали? Чому вона представлена саме в такій формі?

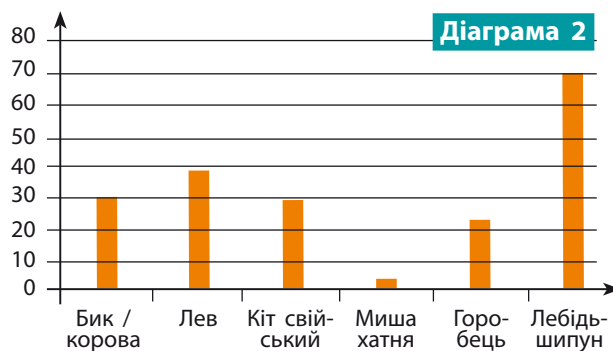
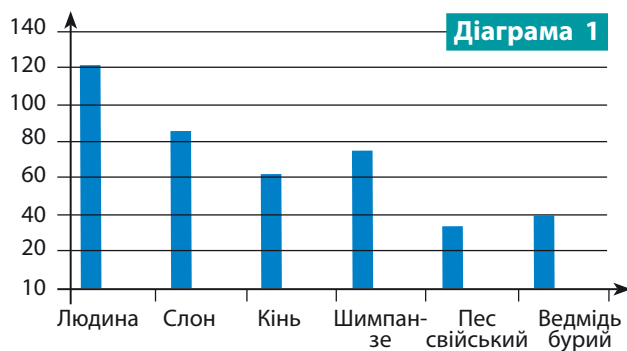
Зміна числа родин тварин упродовж останніх 550 млн років



Типи просторового розподілу особин у популяції



Порівняння максимальної тривалості життя деяких тварин



Наукова доповідь повинна відповідати певним вимогам щодо її змісту, структури й форми подання (мал. 2.1). Зміст доповіді має містити інформацію про предмет і об'єкт дослідження, обґрунтування актуальності цього дослідження, його основні результати й висновки. **Об'єктом дослідження** є те, на що спрямована пізнавальна діяльність дослідників / дослідниць. **Предмет дослідження** — це конкретні властивості, риси, ознаки, характеристики, які належать об'єкту. Наприклад, у генетиків об'єктами досліджень можуть бути різні види організмів, а предметом дослідження — такі властивості досліджуваного об'єкта, як-от спадковість і мінливість.

Структура доповіді передбачає наявність вступу, основної частини й висновків. Деяка важлива



Мал. 2.1. Обговорення результатів дослідження — важливий складник наукового процесу



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Існують певні правила підготовки наукової доповіді та її виголошення. Дізнайтеся, про що в них ідеться. Підготуйте стислі рекомендації у вигляді постера-порадника для своїх однокласників / однокласниць, які хочуть навчитися робити власні доповіді на уроках якісними й цікавими для слухачів / слухачок.



Мал. 2.2. Перша шпальта часопису із заголовком «Наукові відкриття»

! **Наукова стаття** — це основний вид публікацій, у якому описано результати проведеного дослідження, обґрунтовано способи їхнього отримання, зроблено висновки, окреслено перспективи наступних напрацювань.

! **Реферат** — це короткий письмовий огляд наукових джерел за обраною темою чи виклад результатів самостійно проведених досліджень.

! **Анотація** — це стислий виклад змісту книги, статті, розробки, звіту тощо.

інформація доповіді може подаватися на слайдах. Під час усного виступу слід розповідати, а не читати текст, хоча за потреби можна користуватися тезами доповіді.

! **Наукова доповідь** — це одна з форм оприлюднення результатів наукового дослідження, розгорнутий виклад певної наукової теми, проблеми чи питання.

У роботі вчених важливе місце посідає підготовка наукових статей. За допомогою наукової статті відбуваються оприлюднення результатів досліджень, їхня презентація науковому товариству. Наукова стаття свідчить про рівень наукових досліджень із певної проблематики і є засобом спілкування людей, які займаються наукою. Результати досліджень і основні ідеї прийнято відображати в статтях стисло, логічно й доступно (мал. 2.2). Під час написання наукової статті слід приділяти значну увагу мові, стилю викладення й правилам оформлення роботи.

Зручною формою представлення наукових даних є **реферат**, тобто короткий виклад наукової статті, або змісту книги, або результатів наукового дослідження. Написання рефератів є невід'ємним складником навчального процесу. Реферат можна написати як на основі інформації з різних джерел, так і за результатами дослідження, проведеного самостійно. Підготовка реферату передбачає вивчення й аналіз обраної літератури за відповідною тематикою.

Наукові джерела інформації поділяють на дві категорії: первинні та вторинні. **Первинні джерела інформації** містять нові науково-технічні відомості або нове осмислення відомих ідей і фактів. **Вторинні джерела інформації** є результатом опрацювання одного або кількох первинних джерел. До вторинних джерел інформації належать, наприклад, анотації, інші реферати, огляди, довідкові видання, енциклопедії.

Наукометричні бази даних

Наукове дослідження має цінність лише тоді, коли його результати активно використовуватимуться. Найкращим показником використання результатів роботи є її цитованість. Під час виконання будь-якого дослідження вчені звертаються до робіт наукової спільноти, яка працює в цій самій галузі, й зазначають перелік робіт.



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Існують певні правила підготовки рефератів. Попрацюйте зі штучним інтелектом (ШІ) стосовно цих правил. Які варіанти пропонує ШІ? Попрацюйте з інтернет-джерелами щодо цього питання. Порівняйте й підсумуйте, який варіант правил, на вашу думку, викладено більш доступно, повно й зрозуміло. Що б ви додали до цих правил? Поміркуйте, чим реферат відрізняється від наукової доповіді. Підготуйте стислі рекомендації для своїх однокласників / однокласниць, які хочуть навчитися писати інформативні й цікаві власні реферати. Чому залишається важливою інформація, що зберігається на паперових носіях?



Якщо чиясь робота має важливе значення, на неї посилаються часто, вона має високий «індекс цитування». Науковці й науковиці створюють спеціальні наукометричні бази даних задля того, щоб зрозуміти, наскільки часто згадують у роботі певну конкретну статтю.

! **Наукометричні бази даних** — це бібліографічні й реферативні бази даних, які мають спеціальні програмні інструменти для відстежування цитованості статей, опублікованих у наукових виданнях. Найбільш авторитетними й повними вважаються такі сучасні бази даних, як "Scopus" та "Web of Science".

На відміну від наукових видань, ваш підручник, наприклад, є **навчальним виданням**, яке містить систематизоване викладення біології, відповідає модельній навчальній програмі й офіційно рекомендоване Міністерством освіти і науки України.



Індивідуальна робота

Оберіть книгу або статтю, тематика і зміст якої мають відношення до біології й дуже вам подобаються. Напишіть до неї анотацію, яка б привернула увагу однокласників / однокласниць. Можливо, вони теж нею зацікавляться й вам буде про що з ними поговорити.



Запитання і завдання

1. Яке місце посідає біологія з-поміж інших наук?
2. У чому різниця між наукою і псевдонаукою?
3. Які методи дослідження використовують сучасні біологи / біологині?
4. Які форми презентації наукових даних ви знаєте? Якими з них ви вже користувалися? Зробіть презентацію цих форм. Поясніть, чому вміння правильно оформлювати й подавати результати власної наукової роботи є важливим.
5. Чому необхідно критично оцінювати результати будь-якого дослідження? Аргументуйте вашу відповідь.



Опорні точки

Наука є способом пізнання світу, що дає об'єктивні знання. Біологи / біологині користуються як загальнонауковими методами вивчення природи, так і спеціальними, суто біологічними методами. Важливо не лише безпомилково провести наукове дослідження, а й правильно презентувати отримані результати цієї роботи у вигляді наукової інформації.



rnk.com.ua/
112139

§ 3

Хімічні основи життя



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

У багатьох мовах світу можна натрапити на такі вислови: “Wir sind, was wir essen!” або “We are what we eat”.

Чи є в нашій мові вислів зі схожим смислом?

Запропонуйте кілька різних пояснень його значення.

Як він пов'язаний із хімічним складом вашого організму та якістю життя?



Хімічний склад живого

Загальний хімічний склад живого можна дослідити за допомогою такого теоретичного або практичного експерименту.

1. Зважте на терезах невеликий шматочок м'яса або листки рослини масою до 10 г. Покладіть зразок у сушильну шафу за температури 40–50 °C та витримайте кілька годин або висушіть зважені зразки кілька діб на повітрі. Що відбудеться зі зразком? Досушіть його до постійної маси та визначте вміст сухої речовини.
2. Спаліть сухі зразки, затиснувши їх щипцями з дерев'яною ручкою. Що залишилося після згорання зразка?
3. Попіл розчиніть в 1 %-му розчині хлоридної кислоти. Додайте до розчину кілька крапель натрій гідроксиду та червоної кров'яної солі. Визначте, який елемент наявний у розчині сухого залишку м'яса чи листка.
4. У висновках запишіть: наявність якої речовини в біологічному зразку ви визначили в пункті 1 та який її відсотковий уміст; які речовини згорають під час спалювання, а які — залишаються в недогарку. Який хімічний елемент ви виявили в пункті 3?

Тіла живих організмів складаються з клітин та міжклітинної речовини. А з чого складаються вони? До складу клітин та міжклітинної речовини входять неорганічні та органічні речовини. Водночас ці речовини побудовані з атомів хімічних елементів. Живі організми складаються з-понад 70-ти хімічних елементів Періодичної таблиці, які існують на планеті Земля. Відсотковий уміст (за масою) цих елементів показано на мал. 3.1.

Біологічна роль води

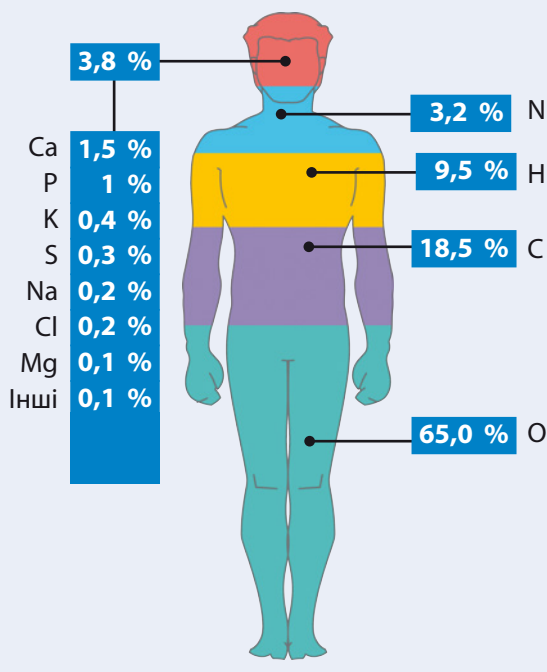
Вода має найбільший уміст за масою в організмах. Вона створює середовище для перебігу всіх процесів у клітинах та входить до складу внутрішнього середовища організмів. Вода — чудовий розчинник для багатьох речовин, а потік води транспортує розчинені в ній речовини. Вона безпосередньо бере участь у хімічних реакціях й забезпечує терморегуляцію живих організмів. Ба більше, вода — це середовище існування різних живих організмів (мал. 3.2).



Мал. 3.2. Деякі живі організми, як-от Водомірка звичайна (*Gerris lacustris*), можуть використовувати поверхневий натяг води, аби переміщуватися її поверхнею

Роль неорганічних речовин

Із водою та їжею ми отримуємо необхідні неорганічні речовини переважно у вигляді солей. Деяких солей, наприклад солей макроелементів NaCl , CaCl_2 , K_2HPO_4 , MgSO_4 , організму людини потрібно багато. А ось солі таких мікроелементів, як-от FeSO_4 , KI , NaF , використовуються організмом у дуже малих кількостях. Більшість неорганічних солей наявні в їжі чи у воді в розчиненому стані, тобто у вигляді катіонів: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} — та аніонів: Cl^- , HCO_3^- , HPO_4^{2-} , SO_4^{2-} , I^- , F^- . (Докладніше про це — див. табл. 2, с. 18.)



Мал. 3.1. Хімічний склад організму людини за вмістом хімічних елементів (згідно з Bega, Elena (2018))



Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

Укладіть презентацію щодо біологічної ролі води. Поясніть, завдяки яким фізичним і хімічним властивостям вода виконує свої функції. Презентуйте доповідь.



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Ознайомтеся з інфографікою на малюнку 3.1 і випишіть, які хімічні елементи належать до макроелементів (уміст до 0,001 %) та органогенів (із яких побудовані молекули вже відомих вам органічних речовин). Як ви вважаєте, які хімічні елементи називають мікроелементами? Спробуйте навести приклади таких елементів.



Відкритий мікрофон

Грунтуючись на біологічній ролі сполук Кальцію, спрогнозуйте наслідки його нестачі або порушення обміну цього елемента для вашого організму. Що необхідно робити для профілактики такого дефіциту чи порушення обміну?



Навчальна гра
«Білки, жири,
вуглеводи»
rnk.com.ua/112163

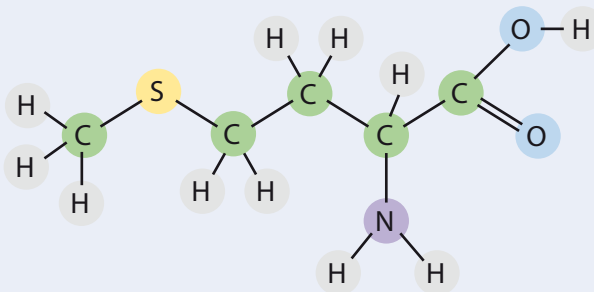
Біологічні макромолекули

Головними органічними речовинами живих організмів є **білки**, які складаються з амінокислот; **вуглеводи**, зокрема глюкоза, крохмаль і целюлоза; **жири**, що містять гліцерин і жирні кислоти; а також **нуклеїнові кислоти** — ДНК та РНК, які складаються з нуклеотидів. До органічних речовин належать **вітаміни**, **гормони** та багато інших біологічно активних речовин.

До складу молекул органічних речовин входять атоми таких хімічних елементів, як-от: Карбон (C), Гідроген (H), Оксиген (O), Нітроген (N), а також Сульфур (S) та Фосфор (P). Саме тому перші чотири хімічні елементи називають органогенами (мал. 3.3).

Таблиця 2. Біологічна роль окремих хімічних елементів

Хімічний елемент		Біологічна роль
Кальцій	Катіони Ca^{2+}	Скорочення гладеньких, скелетних і серцевого м'язів, зсідання крові
	Кальцій карбонат CaCO_3	Твердість мушель молюсків, черепашок форамініфер і скелетів коралів
	Гідроксилапатит $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{OH}$	Входить до складу міжклітинної речовини кісткової тканини та дентину
	Фторапатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 \cdot \text{F}$	Містить фтор і входить до складу емалі зубів
Магній	Катіони Mg^{2+}	Входять до складу молекул хлорофілу, необхідні для функціонування багатьох білків-ферментів, що забезпечують енергетичний обмін (утворення АТФ) і синтез молекул білків і ДНК
Натрій, Калій і Хлор	Катіони Na^+ , K^+ та аніони Cl^-	Найпоширеніші йони, що перебувають у розчинному стані в рідині організму. Найбільша концентрація катіонів K^+ усередині клітин, а Na^+ та Cl^- — поза ними. Різниця концентрацій цих іонів забезпечує, зокрема, проведення нервових електричних імпульсів, а також транспортування речовин крізь мембрани клітин. Здебільшого ці йони забезпечують утримання та розподіл води в організмах
Залізо	Катіони Fe^{2+}	Входять до складу гемоглобіну — білка еритроцитів крові, що транспортує кисень, а також міоглобіну — білка, що запасує кисень у м'язах. Входять до складу деяких білків-ферментів, що забезпечують клітинне дихання в мітохондріях і фотосинтез у хлоропластах
Йод	Атоми йоду	Входять до складу молекул гормону тироксину щитоподібної залози. Ці йод-умісні гормони необхідні для регулювання обміну речовин у тварин
Кобальт	Катіони Co^{2+}	Входять до складу вітаміну B_{12} ; необхідні для біологічної азотфіксації бульбочковими бактеріями
Мідь	Катіони Cu^{2+}	Входять до складу деяких білків-ферментів, що забезпечують клітинне дихання в мітохондріях і фотосинтез у хлоропластах



Мал. 3.3. Будова органічної речовини — амінокислоти метіоніну, молекули якої мають склад $C_5H_{11}NO_2S$. В основі будови молекул органічних речовин — ланцюжки атомів Карбону (позначені зеленим)

Вам уже відомі деякі органічні речовини, наприклад, оцтова кислота (CH_3COOH), глюкоза ($C_6H_{12}O_6$), амінокислота метіонін ($C_5H_{11}NO_2S$) та деякі інші. Розміри молекул і молекулярні маси цих речовин невеликі, тож їх називають **низькомолекулярними органічними речовинами**, або просто «малими молекулами». До них належать амінокислоти, глюкоза, гліцерин, жирні кислоти, вітаміни тощо.

У складі живих організмів важливу роль виконують **високомолекулярні органічні сполуки**, що складаються з великих молекул — **макромолекул**. Здебільшого макромолекули цих речовин є **полімерами**, утвореними з повторюваних одиниць будови — **мономерів** («малих молекул»).

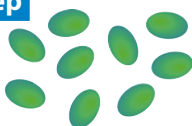
До органічних речовин, що є біополімерами, належать білки, полісахариди та нуклеїнові кислоти (мал. 3.4, с. 20). Їхні молекулярні маси становлять від кількох тисяч до мільйонів Дальтон ($1 \text{ Да} = 1 \text{ а. о. м.}$).



Робота в парі

Моделювання. Візьміть набір канцелярських скріпок. Уявіть, що одна скріпка — це мономер (мала молекула). Об'єднайте дві скріпки в ланцюжок — утвориться димер, три скріпки — тример, чотири — тетрамер тощо. Якщо об'єднати, приміром, 20 і більше скріпок у ланцюжок, утвориться невеликий полімер. Зазвичай полімери містять сотні з'єднаних у ланцюжки мономерів.

Мономер



Полімер



Робота в групі

Створіть коротку презентацію на тему «Роль неорганічних речовин». Розташуйте на слайдах символ хімічного елемента та ілюстрації, що відображають його біологічне значення. Додайте до презентації інформацію про продукти харчування, які є джерелами відповідних хімічних елементів. Зазначте наслідки нестачі заліза для людей і магнію для рослин, нестачі та надлишку фтору для людей. Проаналізуйте результат роботи іншої групи. Оцініть, наскільки легко вам удалося описати функції елементів за презентацією іншої групи учнів та учениць.



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Розгляньте дані щодо вмісту кальцію в різних продуктах харчування (у 50 г продукту).

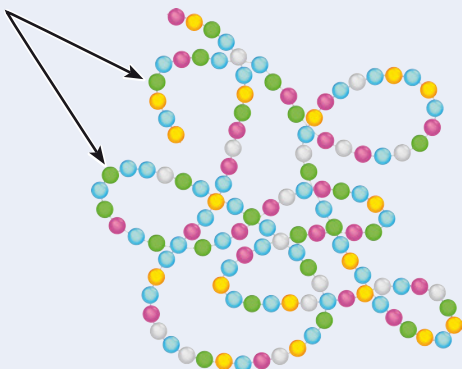
Морква — 5 мг; курка відварена — 8 мг; сир кисломолочний — 34,5 мг; тріска — 10 мг; кролик — 7 мг; буряк столовий — 6 мг; горошок зелений — 9 мг; кальмар — 16 мг; сир твердий — 250 мг; тунець — 15 мг; телятина — 5 мг.

Проведіть аналіз, обробку та презентуйте дані, аби наочно продемонструвати таке:

- 1) відмінність за вмістом кальцію в продуктах тваринного та рослинного походження (загалом);
- 2) відмінність за вмістом кальцію в рибних, м'ясних і молочних продуктах (загалом);
- 3) відсотковий уміст кальцію в 100 г продуктів харчування.

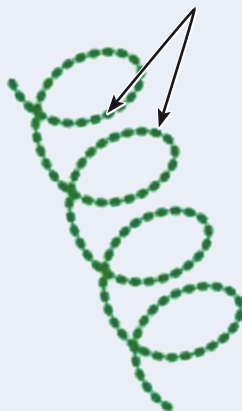
Зробіть висновок щодо збалансування вашого раціону харчування достатньою кількістю кальцію на добу.

Амінокислотні залишки



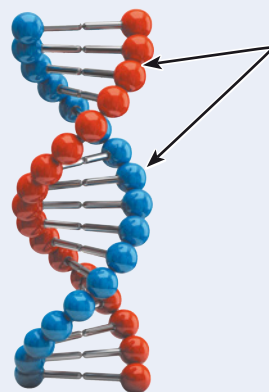
а

Залишки глюкози



б

Нуклеотиди



в

Мал. 3.4. Моделі будови біополімерів: білка (а), фрагментів молекул амілози в крохмалі (б) та дезоксирибонуклеїнової кислоти — ДНК (в)



Анімація «Полімер і мономер»
rnk.com.ua/112164

Проект «Наслідки нестачі чи надлишку окремих хімічних елементів у живленні рослин або тварин» (на вибір учня / учениці)

Охарактеризуйте біологічну роль хімічного елемента, його джерела для організму. Запропонуйте план експерименту (якщо можете, виконайте його), у якому досліджується вплив надлишку чи нестачі окремих елементів мінерального живлення на проростання насіння.



Опорні точки

До складу живих організмів входять неорганічні речовини: вода, мінеральні солі, кислоти та інші. Головними органічними компонентами живих організмів є білки, жири, вуглеводи та нуклеїнові кислоти. Усі ці речовини надходять до організмів із компонентами їжі (гетеротрофи) або вони їх самостійно синтезують із неорганічних речовин (автотрофи). Білки, полісахариди та нуклеїнові кислоти є полімерами, що складаються із залишків малих молекул — мономерів.



Запитання і завдання

1. Запропонуйте кілька способів моделювання будови різних біополімерів.
2. Знайдіть інфографіку щодо вмісту хімічних елементів у гідросфері, літосфері й атмосфері. Порівняйте їх із хімічним складом організму людини. Чи є спільні риси в хімічному складі живої та неживої природи?
3. Пригадайте з курсу фізики чи хімії фізичні та хімічні властивості води. Які із цих властивостей забезпечують виконання нею біологічних функцій? Завдяки яким фізичним властивостям води відбувається теплообмін у живих організмів (розподіл тепла організмом, його утримання чи охолодження тіла)? Наведіть приклади розчинних і нерозчинних у воді сполук. Чи є такі в складі вашого організму й харчових продуктах?
4. Знайдіть інформацію про елементози. Чи можна називати анемію, хлороз, флюороз, ендемічний зоб елементозами? Чому виникають ці стани? Запропонуйте способи профілактики елементозів.



rnk.com.ua/
112140

§ 4

Структура та біологічна роль ліпідів

Що таке ліпіди?

До складу сала входять речовини, спільними фізичними властивостями яких є нерозчинність у воді — це різні жири, невелика кількість холестеролу, а також вітамін D. Ці речовини належать до **групи ліпідів**. У чистому вигляді різні ліпіди є оліїстими рідинами чи масними на дотик твердими речовинами, що не розчиняються у воді (схема 3). Вони можуть розчинятися в органічних розчинниках: бензині чи рідині для зняття лаку.



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Сало калорійне, містить багато корисних поживних речовин та створює тривале насичення. Умістом яких речовин зумовлені висока калорійність і поживна цінність сала? Як ви вважаєте, чому споживання саме свинячого сала стало традиційним в Україні?



Схема 3. Різноманіття ліпідів



Мал. 4.1. Традиційний гвинтовий прес для отримання олії з плодів оливков шляхом віджиму

Дослідження «Виділення та дослідження властивостей ліпідів (олії)»

1. Виріжте два квадрати з аркуша білого паперу. Візьміть насінину соняшника, покладіть її на вирізаний із білого паперу квадрат і накрийте зверху іншим.
2. Товкачиком (для ступки) розчавіть насінину. Зазначте запах і опишіть, що з'явилося на папері. Приблизно так само, за допомогою спеціальних пресів (мал. 4.1), вичавлюють сиру олію з насіння олійних культур: ріпаку, соняшника тощо.
3. У дві пробірки налейте приблизно 2 мл води. За допомогою піпетки додайте 5 крапель соняшникової (або іншої) олії. Стежте за шаром олії. Які висновки можна зробити про розчинність і густину олії порівняно з густиною води?
4. В одну з пробірок додайте кілька крапель засобу для миття посуду. Збовтайте вміст обох пробірок. У якій із них утворилася більш стійка емульсія олії з водою?
5. У третю пробірку налейте 1 мл бензину чи рідини для зняття лаку. Піпеткою додайте кілька крапель олії. Обережно перемішайте вміст пробірки. Що відбувається?
6. Обговоріть результати дослідження в парах і зробіть висновки відповідно до теми роботи.



Будова молекул ліпідів

Жири, або **тригліцериди**, — це речовини, молекули яких складаються із залишку гліцеролу та трьох залишків жирних кислот (мал. 4.2г).

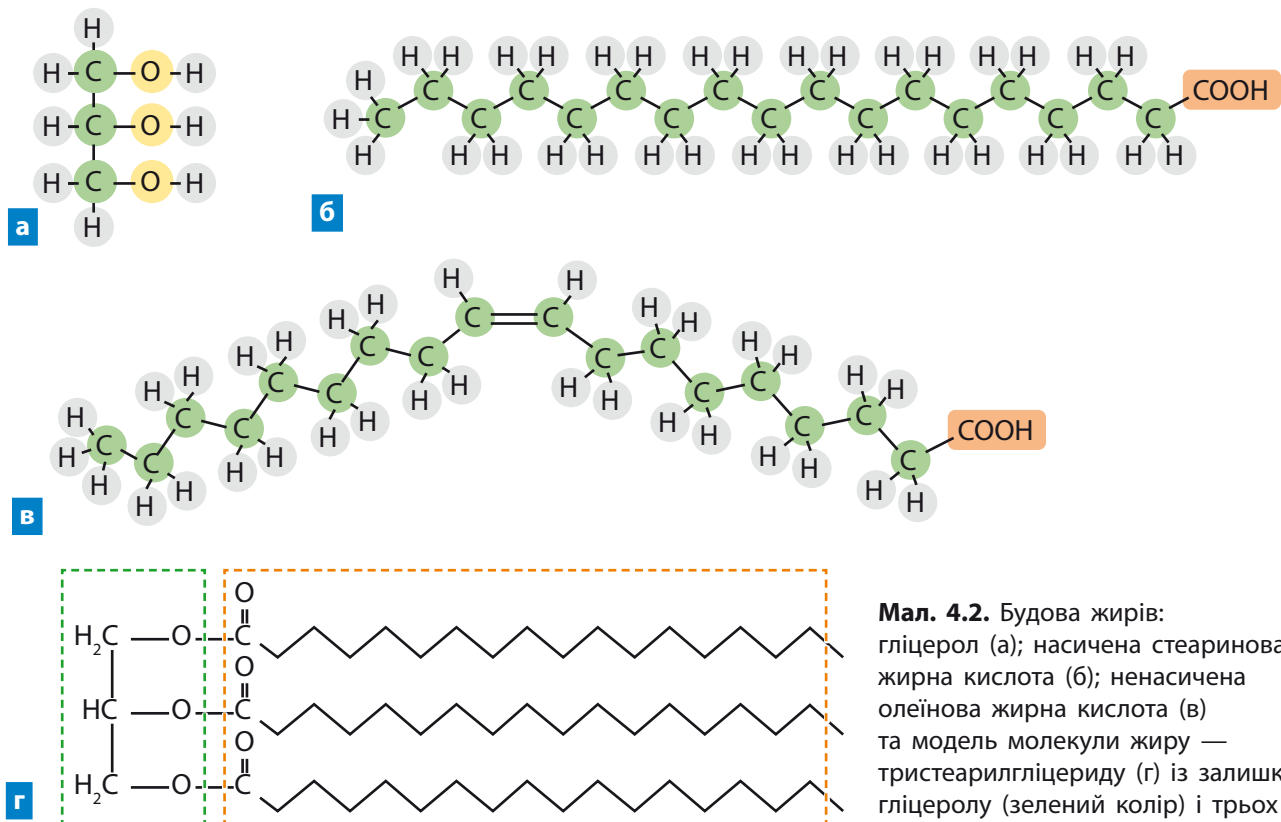
Гліцерол є багатоатомним спиртом, що містить три спиртові $-OH$ групи (мал. 4.2а). Жирні кислоти, як і оцтова кислота, мають у своєму складі карбоксильну групу $-COOH$ і довгий ланцюжок з атомів Карбону (мал. 4.2б–в).

Насичені жирні кислоти мають прості ковалентні зв'язки між атомами Карбону (мал. 4.2б), а ненасичені жирні кислоти містять один або

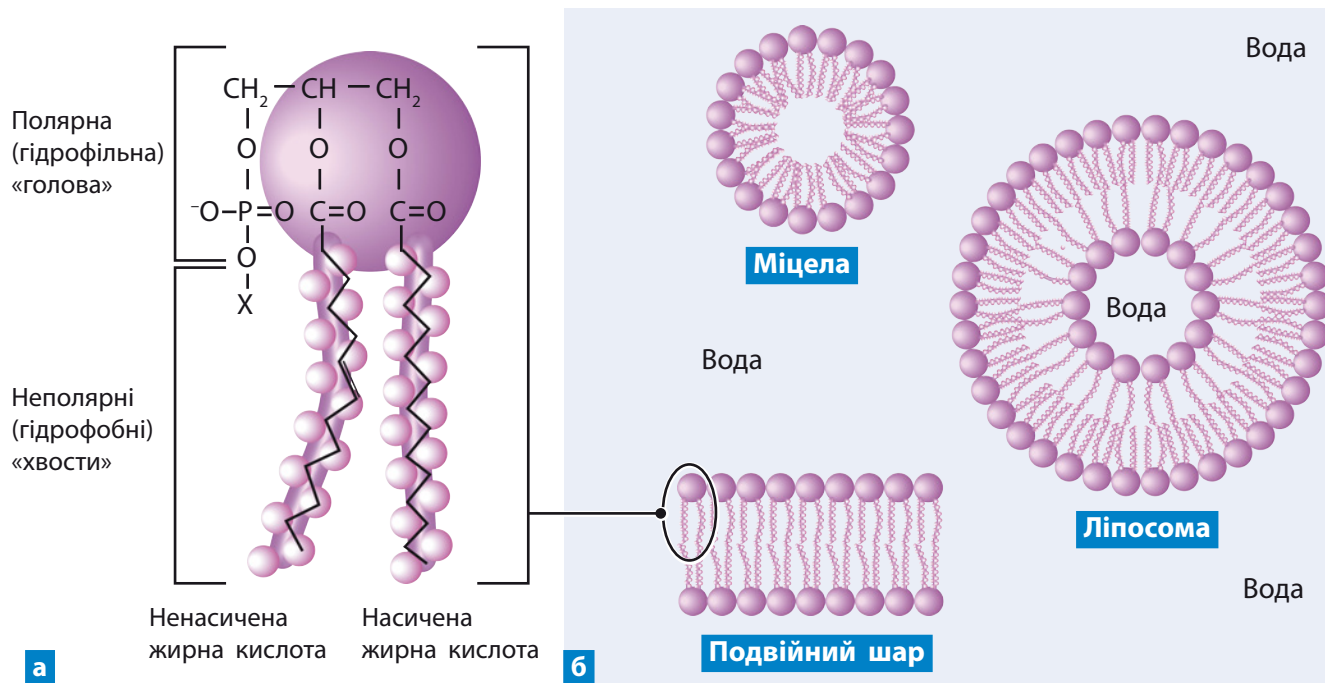


Індивідуальна робота

Грунтуючись на фізичних властивостях ненасичених і насичених жирних кислот, поясніть, які саме жирні кислоти будуть переважати в складі жирів і фосфоліпідів тварин, що живуть у холодних широтах, або холоднокровних тварин / теплокровних тварин.



Мал. 4.2. Будова жирів: гліцерол (а); насичена стеаринова жирна кислота (б); ненасичена олеїнова жирна кислота (в) та модель молекули жиру — тристеарилгліцериду (г) із залишку гліцеролу (зелений колір) і трьох залишків стеаринової кислоти (помаранчевий колір)



Мал. 4.3. Будова й властивості фосфоліпідів: фосфоліпід (а); одношарові міцели, двошарові ліпосоми й подвійні шари з фосфоліпідів у воді (б)

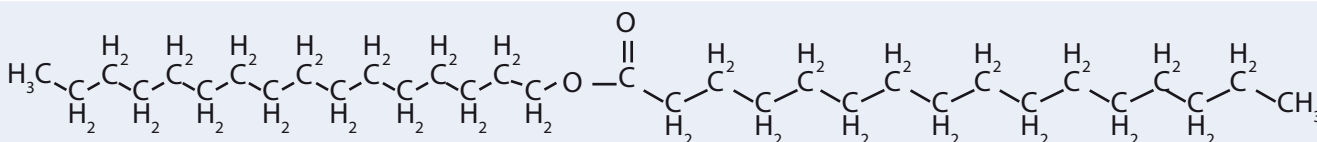


Чому у водному середовищі молекули фосфоліпідів «самоорганізуються» в міцели та ліпосоми? Яку роль відіграють у цьому процесі гідрофільно-гідрофобні взаємодії?

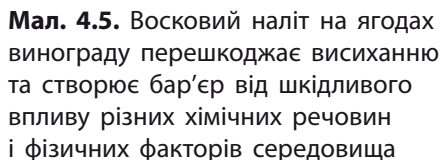
кілька подвійних зв'язків між атомами Карбону в ланцюжку (мал. 4.2в, с. 23).

Наявність подвійних зв'язків у ненасичених жирних кислотах знижує температуру плавлення цих речовин. Більшість рослинних жирів (олії) є рідкими за кімнатної температури саме завдяки наявності ненасичених жирних кислот у своєму складі.

Фосфоліпіди — це речовини, молекули яких складаються із залишків гліцеролу, двох жирних кислот, ортофосфатної кислоти та додаткової полярної молекули — X (мал. 4.3а, с. 23). Вони мають амфіфільні властивості. Частина молекули фосфоліпіду, що містить довгі «хвости» жирних кислот, є неполярною (гідрофобною). Інша частина молекули, що містить залишок ортофосфату, є полярною (гідрофільною) «головою» (мал. 4.3, с. 23).



Мал. 4.4. Будова молекули воску — цетилпальмітату, одного з найпоширеніших компонентів косметичних засобів



Фосфоліпіди, подібно до того, як показано на мал. 4.3б на с. 23 (сферосома), утворюють мембрану навколо клітини. Клітинна мембрана та всі мембрани органел клітин складаються з подвійного шару фосфоліпідів.

Воски — це органічні речовини, утворені із залишків жирних кислот і жирних спиртів (мал. 4.4). Вони гідрофобні й хімічно пасивні речовини.

Воски разом з іншими ліпідами вкривають поверхню більшості організмів, що опанували сушу. Цей зовнішній гідрофобний покрив перешкоджає випаровуванню води й висиханню організмів у наземно-повітряному середовищі існування (мал. 4.5). Щоб створити штучний захист шкіри від висихання, більшість кремів для обличчя та рук містять воски або їхні компоненти.

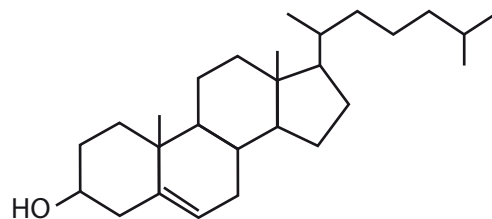
Стероїди — це органічні речовини, молекули яких мають карбоновий ланцюг, замкнений у чотирициклічну структуру, схожу на «бджолині стільники». Основним стероїдом в організмах тварин є холестерол (мал. 4.6).

Холестерол входить до складу подвійного шару фосфоліпідів мембран клітин тварин, надаючи йому міцності й еластичності. З холестеролу, який надходить із їжею або синтезується в клітинах печінки тварин, виробляються стероїдні гормони,

зокрема, статеві гормони (естрогени, прогестерон, тестостерон) і кортикостероїди (кортизол, альдостерон). У клітинах шкіри під дією ультрафіолету з холестеролу синтезується вітамін D. Головні компоненти жовчі — жовчні кислоти — також синтезуються з холестеролу.

Основна біологічна роль жирів — резервна. Вони відкладаються як запас енергії та метаболічної води. У процесі окиснення 1 г жирів вивільняються приблизно 38 кДж енергії та 1,1 г метаболічної води. Жири погано проводять тепло, тому прошарок підшкірного жиру, наче ковдра, утримує тепло всередині організму (див. схему на 3-й сторінці обкладинки).

Проростки рослин можуть використовувати жири і як джерело енергії, і як джерело сполук, необхідних для синтезу вуглеводів та інших важливих речовин. Тварини ж «спалюють» жири лише з метою отримання енергії. Саме тому єдиний спосіб «позбутися» зайвих жирових відкладень — це зменшити споживання калорійної їжі та збільшити фізичну активність.



Мал. 4.6. Будова молекули холестеролу — найпоширенішого стероїду в організмах тварин



Проект
«Використання
ліпідів (воску,
стеарину, парафіну)
для виготовлення
декоративних та
окопних свічок»
rnk.com.ua/112238



What Are Trans
Fats?
rnk.com.ua/112237

Запитання і завдання

1. «Риб'ячий жир» добувають із різних промислових видів риби: тріски, форелі, щуки та ін. Він корисний тим, що містить незамінні для людини ненасичені жирні кислоти (лінолеву й ліноленову кислоти) та вітаміни A і D. Але через специфічний смак більшість дітей відмовляються його споживати. Запропонуйте способи поліпшення смакових властивостей чи форми споживання риб'ячого жиру, а також особливості маркетингової кампанії вашого продукту.
2. Ознайомтеся з інформацією під QR-кодом про трансжири, перекладіть цей текст і дайте відповіді на запитання.
 - A) Що таке трансжири?
 - B) Які продукти харчування збагачені цими жирами?
 - B) Чому слід уникати споживання продуктів харчування, що містять такі жири?

За бажанням створіть англomовний контент, на кшталт Reels, або пост у соцмережах про здорове харчування, що не містить трансжирів.
3. Досить поширене захворювання артерій — атеросклероз. Причиною цього захворювання є відкладання ліпідів у стінці артерій. Його наслідки — інсульти та інфаркти. Зазвичай це пов'язано з підвищеним умістом ЛПНЩ (ліпопротеїнів низької щільності) у плазмі крові, що мають високий уміст холестеролу. Дізнайтеся про вміст холестеролу в продуктах саме вашого типового раціону й порівняйте з нормами його споживання. Зробіть на основі цього аналізу інфографіку й висновки щодо збалансування раціону харчування.



Опорні точки

Ліпіди — це група речовин, нерозчинних у воді, які розчиняються в органічних розчинниках. До ліпідів належать жири, фосфоліпіди, воски та стероїди. Жири здебільшого виконують запасальну (енергія та метаболічна вода) і термоізоляторну функції. З фосфоліпідів побудовані мембрани клітин. Стероїдні гормони (тестостерон, естрогени, кортизол) виконують регуляторні функції в організмі тварин і людини.



rnk.com.ua/
112141

§ 5

Структура та біологічні функції вуглеводів



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Колись цукор (сахароза) був дорогим імпортом товаром, що могли собі дозволити лише заможні люди. У XIX столітті на теренах України з'явилося багато цукрозаводчиків, наприклад, відомі родини Симиренків і Яхненків із Черкащини. Тож цукор став більш доступним. Проте з поширенням уживання цукру постало багато проблем.

Як, на вашу думку, цукор і солодощі пов'язані зі здоров'ям зубів? Запропонуйте способи його збереження.



Що таке вуглеводи?

З відкриттям хімічного складу вуглеводів стало зрозуміло, що молекули багатьох із них містять атоми Карбону (вуглець), а також Гідрогену й Оксигену в такому самому співвідношенні, як і у воді. Наприклад, **глюкоза** та **фруктоза** мають однакову формулу $C_6H_{12}O_6$, що можна записати як $(CH_2O)_n$, де $n = 6$. Саме тому і з'явилася назва **вуглеводи**, що буквально означає «вуглець + вода».

Прості вуглеводи, або **моносахариди**, — це речовини, молекули яких побудовані з ланцюжка від 3 до 10 атомів Карбону. Ці молекули мають альдегідну $-C(=O)H$ або кетонну $>C=O$ групи та багато спиртових $-OH$ груп. До найпоширеніших моносахаридів належать **рибоза** та **дезоксирибоза** (мають 5 атомів Карбону в молекулі, тому їх називають пентозами), а також **глюкоза**, **фруктоза** та **галактоза** (мають 6 атомів Карбону в молекулі, тому їх називають гексозами).

Моносахариди, як-от глюкоза чи фруктоза, — це безбарвні кристалічні речовини, легко розчинні у воді. Вони мають солодкий смак і відомі як прості цукри, або легкі вуглеводи.

Глюкоза добре засвоюється клітинами та є чудовою поживною речовиною. Наприклад, якщо ви з'їли виноград, то ваш організм отримає багато глюкози, що міститься у виноградному соку (мал. 5.1). Через це виноград дуже калорійний і смачний. Цю глюкозу ваш організм може витратити на енергетичні потреби (наприклад, для здійснення рухів під час гри у волейбол), чи просто

відкласти про запас у вигляді полісахариду глікогену печінки та м'язів, чи, цілком можливо, перетворити зайву глюкозу на жири. Саме тому надмірне вживання легких вуглеводів призводить до збільшення маси тіла.

Як і клітини вашого організму, клітини більшості живих організмів здатні використовувати глюкозу і як джерело енергії, і як будівельний матеріал для утворення інших молекул.

В організмі багатьох тварин і, зокрема, людини глюкоза транспортується плазмою крові. Саме її називають цукром крові. Фруктоза солодша за глюкозу та міститься в багатьох фруктах для надання їм солодкого смаку (схема 4).

Олігосахариди — це речовини, молекули яких містять у своєму складі кілька залишків моносахаридів. Найбільш поширеними є дисахариди — **сахароза** й **лактоза**, що складаються з поєднаних разом двох залишків моносахаридів.

Сахароза — це рослинний дисахарид, що складається із залишків глюкози та фруктози (мал. 5.2а, с. 28). Вона утворюється в клітинах листків рослин під час фотосинтезу. Флоемою сахароза транспортується до всіх тканин рослинного організму, де вона використовується як джерело енергії або перетворюється на інші сполуки.

Лактоза — це дисахарид, який є компонентом молока ссавців. Лактоза складається із залишків глюкози та галактози (мал. 5.2б, с. 28). На відміну від сахарози чи глюкози, вона майже несолодка. Лактоза є поживною речовиною для організму маляти.

Багато дорослих утрачає здатність перетравлювати лактозу. Тому після її надходження з молоком у кишці відбувається зброджування лактози під дією бактерій. Це спричиняє розлад травлення



Мал. 5.1. Вуглеводи у виноградних ягодах містяться здебільшого у вигляді глюкози $C_6H_{12}O_6$, але в них є і фруктоза



Відкритий мікрофон

Як пояснити, чому в процесі еволюції виникли плоди (як-от, виноград), що мають солодкий смак завдяки глюкозі або фруктозі? Щоб дати відповідь на це запитання, скористайтеся схемою 4.

ВУГЛЕВОДИ

Моносахариди

Глюкоза та фруктоза — головні компоненти меду

Дисахариди

Сахароза (харчовий цукор) — найпоширеніший харчовий підсолоджувач

Полісахариди

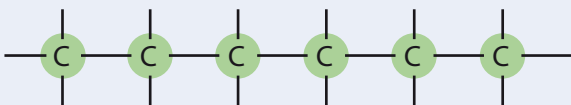
Крохмаль — резервний вуглевод рослин і харчовий згущувач

Схема 4. Різноманіття вуглеводів

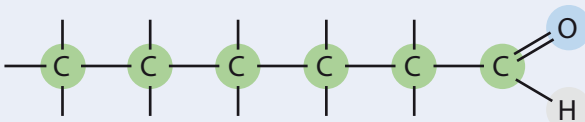
Будуймо формули разом

1. Намалюймо ланцюжок із шести атомів Карбону.

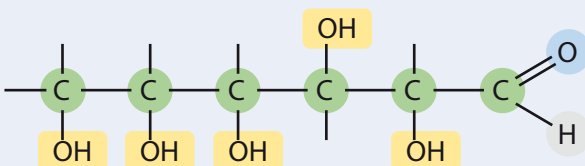
Пам'ятаймо, що атоми Карбону в органічних сполуках завжди утворюють 4 ковалентні зв'язки.



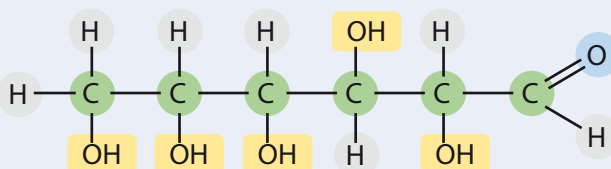
2. До першого (праворуч) атома Карбону приєднаймо двома ковалентними зв'язками атом Оксигену й одним ковалентним зв'язком атом Гідрогену.



3. До решти атомів Карбону приєднаймо одним ковалентним зв'язком спиртові групи $-OH$.

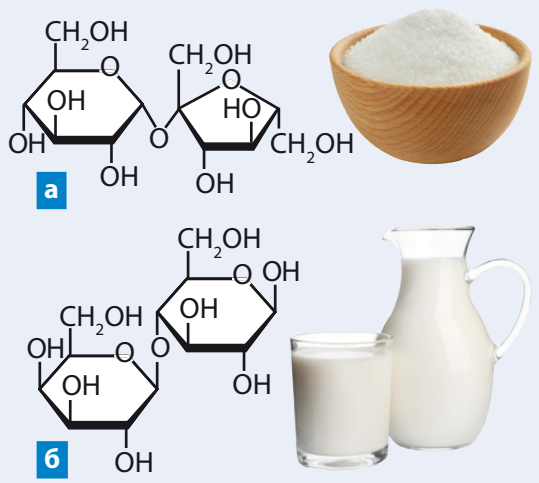
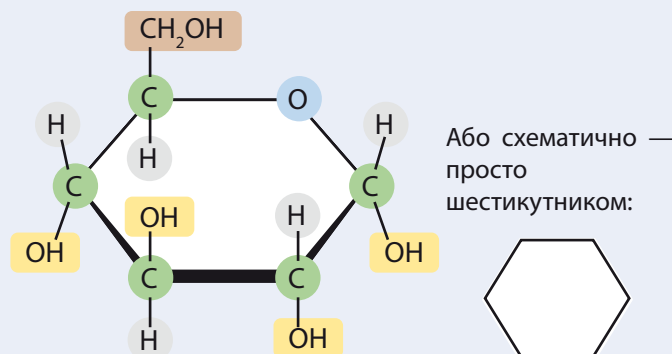


4. До всіх вільних хімічних зв'язків атомів Карбону доєднаймо атоми Гідрогену.



Ми отримали лінійну структурну формулу молекули глюкози.

5. У водних розчинах така лінійна структура молекули глюкози замикається в циклічну. Саме тому найчастіше глюкозу, а також інші моносахариди, зображають так:



Мал. 5.2. Сахароза (а) та лактоза (б) — найпоширеніші дисахариди, що споживає людина

та нездужання, а такий стан називають **лактозною непереносимістю**.

Полісахариди, або **складні вуглеводи**, — це речовини, молекули яких складаються із сотень і тисяч залишків моносахаридів. Найбільш поширеними є **целюлоза**, **крохмаль**, **глікоген** і **хітин**.

Кожен / кожна з вас використовували **целюлозу** в щоденному житті. Натуральна вата та бавовна — це майже чиста целюлоза, яку отримують із коробочок рослин бавовника. Вона міститься в кожній рослині, адже клітинні стінки рослин побудовані з волокон, що складаються з великої кількості молекул целюлози. Самі ж молекули целюлози утворені зі з'єднаних у ланцюжок тисяч залишків глюкози (мал. 5.3).

Крохмаль не менш відомий рослинний вуглевод, ніж целюлоза. Він складається з двох

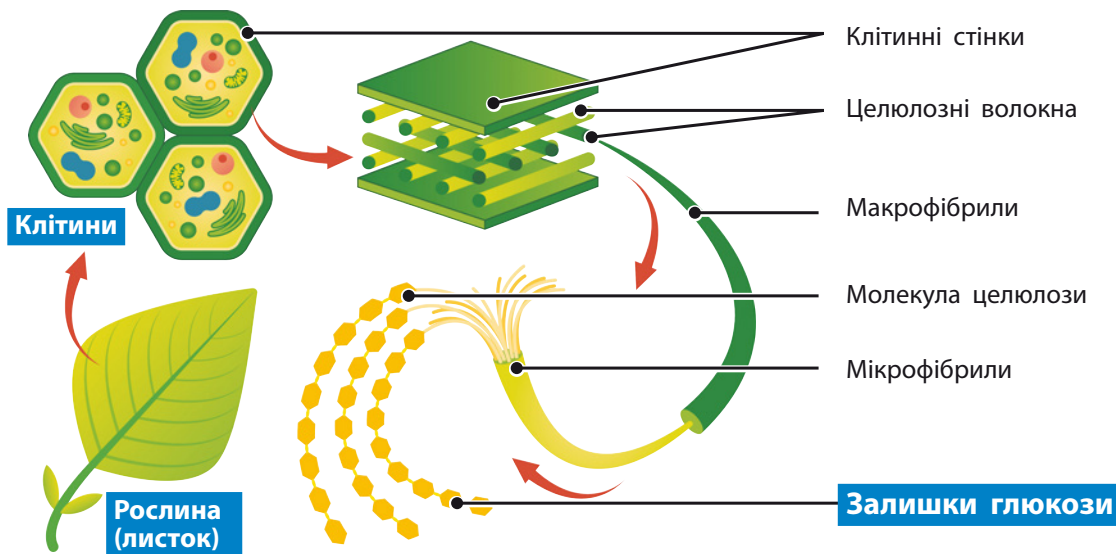
полісахаридів: лінійної **амілози** та розгалуженого **амілопектину** (мал. 5.4). Рослини утворюють крохмаль і відкладають його про запас. Багато крохмалю накопичується в бульбах картоплі, зерні кукурудзи чи пшениці. Із цієї сировини найчастіше й добувають крохмаль.

Натуральні та **хімічно модифіковані крохмалі** застосовуються як згущувачі (мал. 5.5, с. 30). Під час гідролізу, тобто розщеплення крохмалю, утворюється солодка **патока**. Це суміш, що складається



Поділіться своїми думками

Які молочні продукти можна безпечно вживати людям із лактозною непереносимістю?

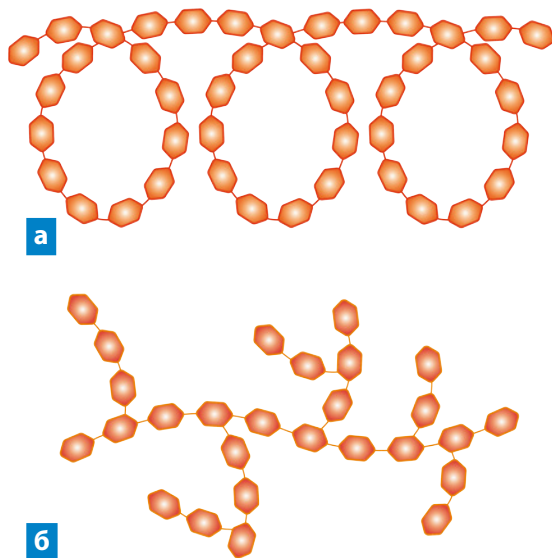


Мал. 5.3. Целюлоза — структурний полісахарид і будівельний матеріал для клітинних стінок клітин рослин

з глюкози, мальтози (дисахарид із двох залишків глюкози) та декстринів (переважно складаються з кількох чи кільканадцятьох залишків глюкози). Патоку застосовують як підсолоджувач у кондитерській промисловості замість цукру. А ще патоку зброджують за допомогою дріжджів для отримання етилового спирту.

Як підтримується постійний рівень глюкози крові між прийомами їжі? Для цього в клітинах печінки тварин і людини запасається глікоген. **Глікоген** — це розгалужений полісахарид, що складається з багатьох залишків глюкози (мал. 5.6, с. 30).

До полісахаридів належать **хітин** — входить до складу екзоскелета членистоногих; **гіалуронова кислота** — утворює гель міжклітинної речовини сполучної тканини; сумішшю кількох полісахаридів є **агар-агар** — згущувач, який добувають із червоних водоростей.



Мал. 5.4. Будова фрагментів молекул амілози (а) й амілопектину (б) — полісахаридів, із яких складається крохмаль

**Згущувач
для кислію**



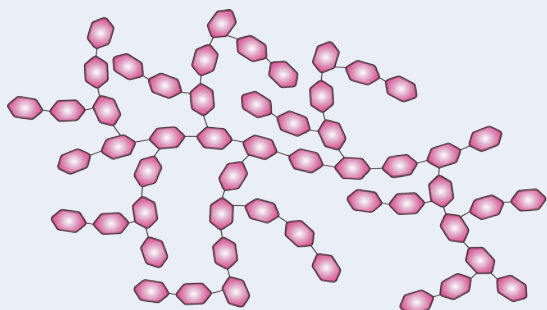
**Згущувач для йогуртів
і сиркових десертів**



**Патока — підсолоджувач
у деяких видах льодів**



Мал. 5.5. Використання крохмалю в харчовій промисловості



Мал. 5.6. Будова фрагмента молекули глікогену, який є запасним полісахаридом для тварин і грибів

Дослідження властивостей вуглеводів (глюкози, фруктози, сахарози, крохмалю, целюлози)

Для дослідження вам необхідні сахароза (цукор), крохмаль, целюлоза (вата).

1. Спрогнозуйте властивості обраних сполук: розчинність у воді, смак, здатність бути згущувачем і карамелізуватися, відношення до розчину йоду, розщеплення на моносахариди за наявності кислот і невеликого нагрівання тощо.
2. Сформулюйте мету й завдання дослідження відповідно до описаних властивостей. Як перевірити розщеплення крохмалю кислотою під час нагрівання? Яке явище ми досліджуємо, якщо розчин крохмалю з йодом нагрівати та охолоджувати?
3. Виконайте дослідження й зробіть висновки щодо властивостей і можливостей застосування вуглеводів.



Відеодослідження властивостей вуглеводів (глюкози, фруктози, сахарози, крохмалю, целюлози)
rnk.com.ua/115269



Запитання і завдання

1. Назвіть відоме вам застосування бавовни та вати (целюлози) в побуті. Знайдіть інформацію про інші способи застосування целюлози та створіть зразок інфографіки про це. Оцініть значення матеріалів, що містять целюлозу, в сучасному житті людства. Чи є їм альтернатива? Презентуйте свою мініповідь у класі.
2. Пригадайте регуляцію рівня глюкози в крові. Складіть схему регуляції вмісту глюкози крові, використовуючи такі слова та словосполучення: зниження рівня глюкози, підвищення рівня глюкози, глюкагон, інсулін, клітини печінки, розщеплення глікогену, синтез глікогену, вивільнення глюкози, захоплення глюкози. Презентуйте своє пояснення значення глікогену печінки для регуляції рівня глюкози крові.
3. Вуглеводи виконують такі функції: структурну (будівельну), захисну, резервну (запасальну), енергетичну (розщеплюються із запасанням енергії в АТФ) і пластичну (служать для синтезу інших речовин). Використовуючи текст параграфа, доберіть до кожної функції один або кілька прикладів вуглеводів і поясніть їхню біологічну роль.



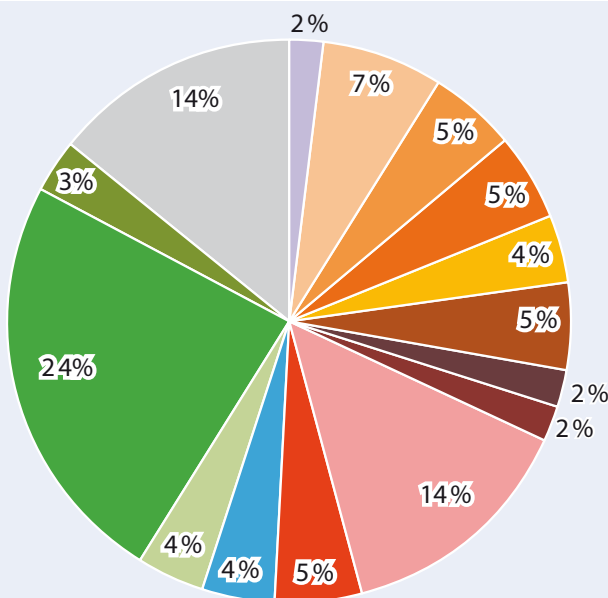
Індивідуальна робота

Моделювання будови полімерів (на прикладі полісахаридів). Запропонуйте спосіб змодельовати будову молекул крохмалю, целюлози або глікогену. Виготовте модель. Чи вдалося вам зрозуміло та наочно показати будову полісахариду? Оцініть свій результат.

4. В огляді "A New Carbohydrate Food Quality Scoring System to Reflect Dietary Guidelines: An Expert Panel Report" показана поширеність вуглеводних продуктів харчування в раціоні харчування людей, за даними The Food and Nutrient Database for Dietary Studies (FNDDS), отримані в дослідженнях 2017–2018 рр. Результати дослідження подаються на мал. нижче.



Проект «Практичне використання вуглеводів»
rnk.com.ua/112239



за Adam Drewnowski, 2022

- А) З якою метою дослідник чи дослідниця проводили це дослідження? Сформулюйте мету дослідження.
- Б) У яких із зазначених продуктів переважають прості, а в яких — складні вуглеводи?
- В) За результатами дослідження визначте, які продукти належать до основних джерел вуглеводів у раціоні харчування людей.
- Г) Знайдіть інформацію та побудуйте діаграму вмісту простих і складних вуглеводів у продуктах харчування, що є основними джерелами вуглеводів.
- Д) Чому варто споживати менше продуктів, які містять прості вуглеводи? Які з-поміж названих продуктів входять до вашого раціону харчування?
- Е) На основі дослідження й даних побудованої вами діаграми зазначте, які продукти варто споживати, а які слід обмежити.
- Ж) Оцініть ваш раціон за збалансованістю щодо вуглеводо-місних продуктів харчування.



Опорні точки

Вуглеводи поділяють на моносахариди (глюкоза й фруктоза), дисахариди (лактоза й сахароза), а також складні вуглеводи — полісахариди (крохмаль, целюлоза, глікоген і хітин). Вони виконують енергетичну (глюкоза), запасальну (сахароза, крохмаль, глікоген) і структурну (целюлоза й хітин) функції. Вуглеводи широко використовуються в харчовій промисловості (сахароза, патока, крохмаль, агар), медицині (глюкоза, лактоза, крохмаль) та інших сферах.



rnk.com.ua/
112142

§ 6

Структура та біологічні функції білків



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Для спортивного харчування використовують різні харчові добавки, що є джерелом «протеїну». (У перекладі «протеїн» — це білок.)

Існують дві думки. Перша: «протеїни» необхідні для спортивного харчування. Друга: їх у достатній кількості можна отримати з продуктів харчування, що містять багато білка.

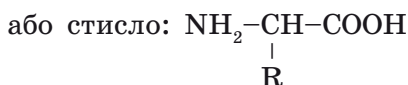
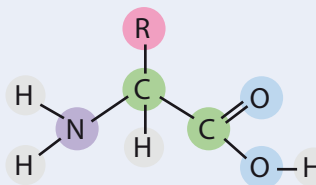
Як ви вважаєте, чи можна повністю замінити звичайну білкову їжу на «протеїни» харчових добавок?



Що таке білки?

У слов'янських мовах білки дістали свою назву від зовнішнього вигляду цих речовин, зокрема, білка курячих яєць чи білків молока. **Білки** — це речовини, молекули яких складаються з великої кількості пов'язаних одна з одною амінокислот. Тобто білки — це полімери, мономерами яких є амінокислоти.

Амінокислоти — це малі молекули, які містять амінну -NH_2 та карбоксильну -COOH групи. До складу білків входять 20 стандартних α -амінокислот, що мають загальну формулу:



Радикал (R) — це частина молекули, що відрізняється в різних амінокислот і зумовлює відмінності їхніх фізичних та хімічних властивостей.

Автотрофні організми (наприклад, водорості) можуть утворювати всі 20 амінокислот для побудови власних білків. Натомість більшість гетеротрофів, зокрема й людина, не синтезують усіх необхідних їм амінокислот. Такі **незамінні амінокислоти**, як-от: лізин, треонін, лейцин, метіонін та ін. — надходять лише з білками продуктів харчування.

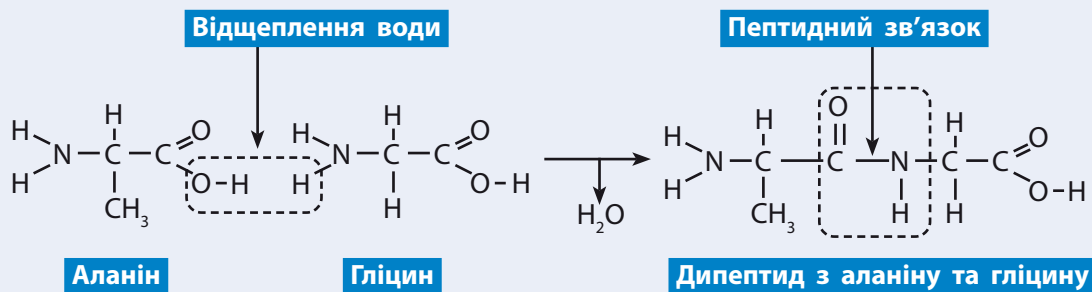
Для людини повноцінними є білки тваринного походження, що містять у достатній кількості всі незамінні амінокислоти.

Для побудови молекули білка амінокислоти поєднуються між собою в ланцюжки **пептидними зв'язками**. Цей зв'язок утворюється між карбоксильною групою однієї амінокислоти та аміногрупою наступної в ланцюзі.



Відкритий мікрофон

Як ви вважаєте, чому більшість гетеротрофних організмів утратили або ж і не мали здатності утворювати всі необхідні їм 20 амінокислот для побудови білків? Чи може бути дитина людини веганом?

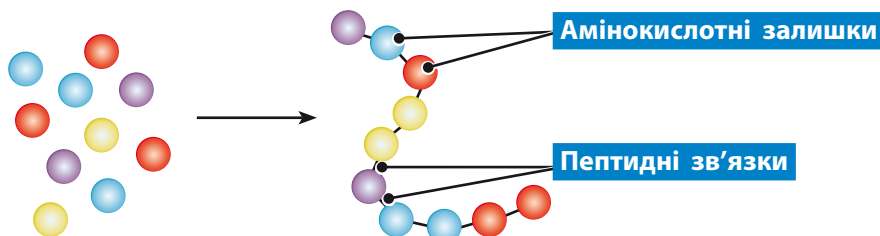


Рівні структурної організації білка

Первинна структура білка — це послідовність (ланцюжок) із кількох десятків або сотень амінокислот, зв'язаних між собою пептидними зв'язками (мал. 6.1). Амінокислотна послідовність білків закодована в генах молекул ДНК.



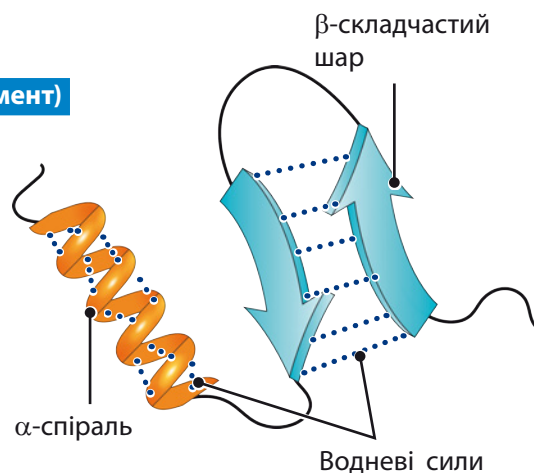
Анімація
«Утворення
пептидного
зв'язку»
rnk.com.ua/112240



Мал. 6.1. Схема будови первинної структури білка

У межах довгого ланцюга первинної структури утворюються окремі ділянки **вторинної структури білка** — α -спіралі та β -складчасті шари (мал. 6.2), які укріплюються слабкими водневими силами.

Весь білковий ланцюг разом з утвореними вторинними структурами вкладається в тривимірному просторі, формуючи **третинну структуру** білка (мал. 6.3, с. 34). Ця структура білка підтримується здебільшого слабкими силами — вандерваальсовими, гідрофобними, водневими та йонними. Інколи



Мал. 6.2. Схема утворення вторинних структур білка



Мал. 6.3. Модель третинної структури білка

між залишками амінокислот цистеїнів виникають міцні дисульфідні зв'язки.

Форма білкової молекули може бути сферичною (глобулярні білки) або видовженою (фібрилярні білки).

Більшість білків мають третинну структуру і в такій структурі виконують свої біологічні функції.

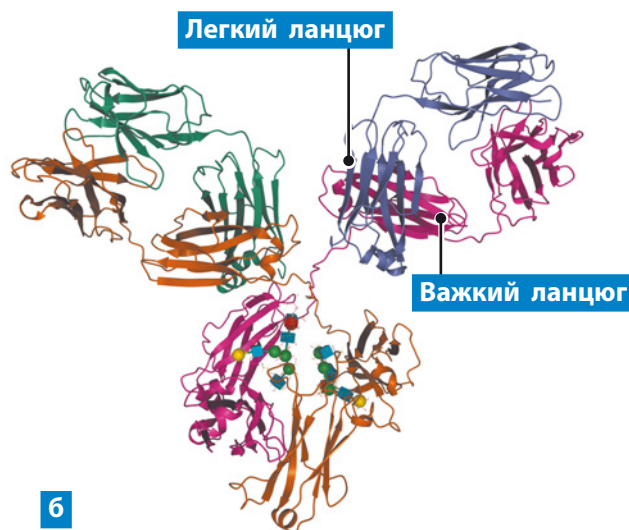
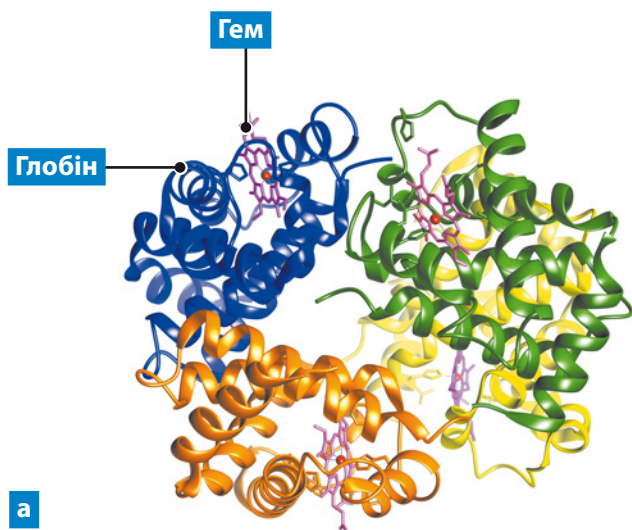
До білкової молекули можуть приєднуватися різні інші молекули. Такі білки називають складними. Наприклад, глікопротеїни — це білки, до яких приєднані фрагменти вуглеводів.

Четвертинна структура білка — це об'єднання кількох білкових молекул в одну структуру. Наприклад, молекула гемоглобіну складається із чотирьох білкових молекул: двох α -глобінів і двох β -глобінів (мал. 6.4а). Кожен глобін містить небілкову частину — **гем**, зв'язаний із катіоном Fe^{2+} . Молекули імуноглобулінів (антитіл) також складаються із чотирьох окремих білків, міцно з'єднаних дисульфідними зв'язками (мал. 6.4б).

Властивості білків

Багато глобулярних білків здатні розчинятися у воді. За таких умов утворюється в'язкий коллоїдний розчин, який під час збовтування піниється. Якщо крізь розчин білка пропустити промені світла від лазерного покажчика, то вони розсіюються, залишаючи видимий трек.

Здебільшого білки нестійкі до нагрівання, дії кислот, лугів, високої концентрації солей або ж



Мал. 6.4. Моделі четвертинної структури молекул гемоглобіну (а) та імуноглобуліну (б). Різними кольорами зображено окремі білкові молекули



Робота в парі

Моделювання просторової структури білка

1. Вам знадобляться: дріт мідний або сталевий діаметром 0,5 мм завдовжки приблизно 50 см; різноколірні намистини. Кожна намистина — це мономер (амінокислота). Різні кольори позначають різні амінокислоти.
2. Оберіть довільну кількість типів амінокислот (кольорів) і створіть певну послідовність, нанизуючи намистини на дріт. Загніть кінці дроту, щоб їх зафіксувати.
3. Перетворіть окремі ділянки на α -спіралі (намотавши дріт на олівець) та/чи β -складчасті шари. Укладіть отриманий ланцюг у просторі у вигляді глобули (див. мал. поруч).
4. У рядку пошуку в браузері напишіть "amylase pdb". Перейдіть за першим покликанням. Під зображенням моделі білка амілази натисніть "Structure", а далі — на 3D-модель і, утримуючи ліву клавішу миші, прокрутіть її. Зазначте наявність α -спіралей і β -складчастих шарів у структурі амілази.

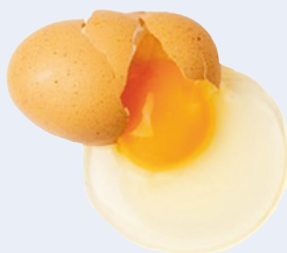


розчинників, як-от ацетон чи спирт. Це пояснюється тим, що вторинна, третинна та четвертинна структури білків підтримуються слабкими зв'язками. Коли на них діють різні фізичні та хімічні чинники, вони легко руйнуються. Руйнування просторових структур білка з утратою його функцій називають **денатурацією** (мал. 6.5). Якщо відновити нормальні умови, можливе й відновлення структури білка — **ренатурація** — залежно від збереження первинної структури білка.



Поділіться своїми думками

Чим різняться властивості неденатурованих і денатурованих білків? У якому стані білки швидше перетравлюються та засвоюються? Чому дія розчинників для лаків на структуру нігтів небезпечна?



а



б



в

Мал. 6.5. Неденатурований білок (а) і денатуровані білки після нагрівання (б) й збивання до стану піни (в)

Різноманіття функцій білків

Розгляньмо основні функції білків (див. матеріали на 2-й і 3-й сторінках обкладинки). Насамперед вирізняють структурну, рухову, регуляторну, транспортну, енергетичну, рецепторну та інші функції.



Запитання і завдання

1. Які два пептиди (фрагменти білків) різняться лише за послідовністю амінокислот?

А		та	
Б		та	
В		та	
Г		та	



2. У природі існують мільярди різних білків. Скільки можна створити різних послідовностей амінокислот, якщо ланцюжок із 10 амінокислот складатиметься всього з 5 амінокислот? Грунтуючись на розрахунках, поясніть, чим зумовлена різноманітність білків.
3. Спрогнозуйте наслідки нестачі білків і незамінних амінокислот для організму тварин або людини. Які функції організму будуть порушені? За якими зовнішніми ознаками можна розпізнати білкову недостатність?
4. Як ви вважаєте, чому живі організми образно називають «формою існування білкових тіл»?
5. На світлині показано дві пробірки, що містять прозорі розчини. Крізь них пропускають лазерні промені. У якій пробірці (ліворуч чи праворуч) міститься розчин білка? Запропонуйте пояснення, чому один розчин розсіює світло, а другий — ні.



Опорні точки

Білки — це речовини, що складаються з макромолекул. Ці макромолекули є полімерами, мономерами яких є амінокислоти. Білки побудовані з двадцяти основних амінокислот. Білки закодовані в генах молекул ДНК та виконують різноманітні функції (структурну, рецепторну, регуляторну, транспортну, скоротливу, захисну та інші), що забезпечують усі процеси життєдіяльності.





rnk.com.ua/
112143

§ 7

Властивості та принцип роботи ферментів

Що таке каталізатор?

Усі сучасні автомобілі з двигунами внутрішнього згорання обладнані конвертером для нейтралізації токсичних сполук у відпрацьованих вихлопних газах (мал. 7.1). Цей конвертер містить каталізатор. Навіщо потрібен каталізатор? Виявляється, він прискорює окиснення токсичного чадного газу до вуглекислого газу та відновлення отруйного нітроген(II) оксиду до азоту, різко зменшуючи вміст цих сполук у вихлопних газах:



Наявність каталізатора прискорює ці хімічні реакції в мільйони разів, тож відбуваються вони майже миттєво.

Каталізатор — хімічна речовина, що прискорює хімічну реакцію, водночас залишаючись незмінною.

Що таке ферменти?

Ферменти, або ензими, — це спеціальні білки, що прискорюють хімічні реакції. Тобто це — біологічні каталізатори. Наприклад, у процесі травлення ферменти в шлунку та кишці допомагають розщеплювати складні компоненти їжі на малі молекули, які можуть усмоктуватися та засвоюватися клітинами організму.

Один із травних ферментів — **сахараза** — розщеплює сахарозу (цукор) до глюкози та фруктози (мал. 7.2, с. 38). Довільно сахароза розщеплювалася б місяцями, а клітинам організму нізвідки би було брати енергію для процесів життєдіяльності. Тобто без ферментів неможливе було б існування життя.



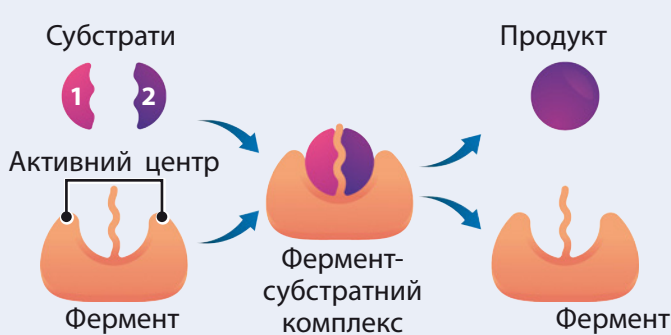
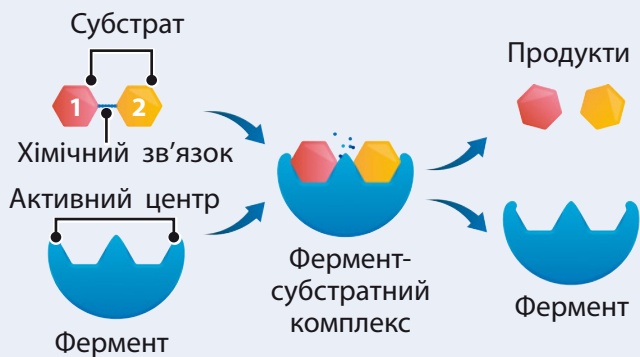
Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Ферменти, або ензими (від лат. "fermentum" — «закваска» або від грец. «дріжджі», «закваска»), — це білки, що прискорюють хімічні реакції. Пральні порошки з ензимами ефективно видаляють складні плями органічного забруднення (білкові та жирові).

Чому такі порошки не можна використовувати для прання речей із натуральних тканин (наприклад, шовку) чи за умов високої температури? Чи безпечно використовувати такі порошки для ручного прання?



Мал. 7.1. Каталізатор у конвертері (нейтралізаторі) вихлопної системи двигуна внутрішнього згорання



Мал. 7.2. Механізм роботи ферменту. Фермент специфічно розпізнає молекулу (субстрат) і каталізує її перетворення на продукт реакції. Молекула ферменту має активний центр, що розпізнає субстрат за принципом «ключа та замка», або ж вони «підганяються» одне до одного, як «рука й рукавичка»



Анімація «Робота ферментів»
rnk.com.ua/112241

Ферменти прискорюють майже всі хімічні реакції, що відбуваються в клітинах (і поза ними). Вони окиснюють, відновлюють, розщеплюють, синтезують і здійснюють інші типи хімічних реакцій зі своїми субстратами, забезпечуючи перебіг метаболізму.

Для здійснення різних типів хімічних перетворень багатьом ферментам необхідні помічники — **коферменти**, або коензими. Здебільшого роль коферментів виконують похідні водорозчинних вітамінів групи В (мал. 7.3). Помічниками ферментів також можуть бути катіони металічних елементів (Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} тощо) та інші сполуки.

Потрапляючи в організм із їжею, молекули вітамінів групи В перетворюються на коферменти. Вони з'єднуються з білком-ферментом і забезпечують перебіг хімічної реакції, що каталізує фермент. Інакше кажучи, без кофермента фермент не може працювати.

Більшість ферментів у назвах мають суфікс **-аз**. Наприклад, аміла**за** слини прискорює розщеплення крохмалю, ліпа**за** в тонкій кишці розщеплює жири, тоді як катала**за** прискорює розщеплення гідроген пероксиду до води та кисню (мал. 7.4).



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Згідно з правилом Вант-Гоффа, підвищення температури на кожні 10 градусів приводить до зростання швидкості реакції у 2–4 рази. Чи існують якісь обмеження цього правила для ферментів? Якщо так, то чому?

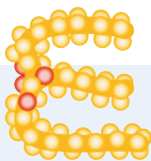


Поділіться своїми думками

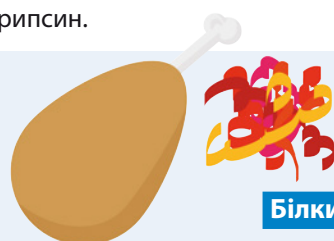
Пригадайте й зазначте, які з-поміж зображених компонентів їжі розщеплюють амілаза, пепсин, ліпаза та трипсин.



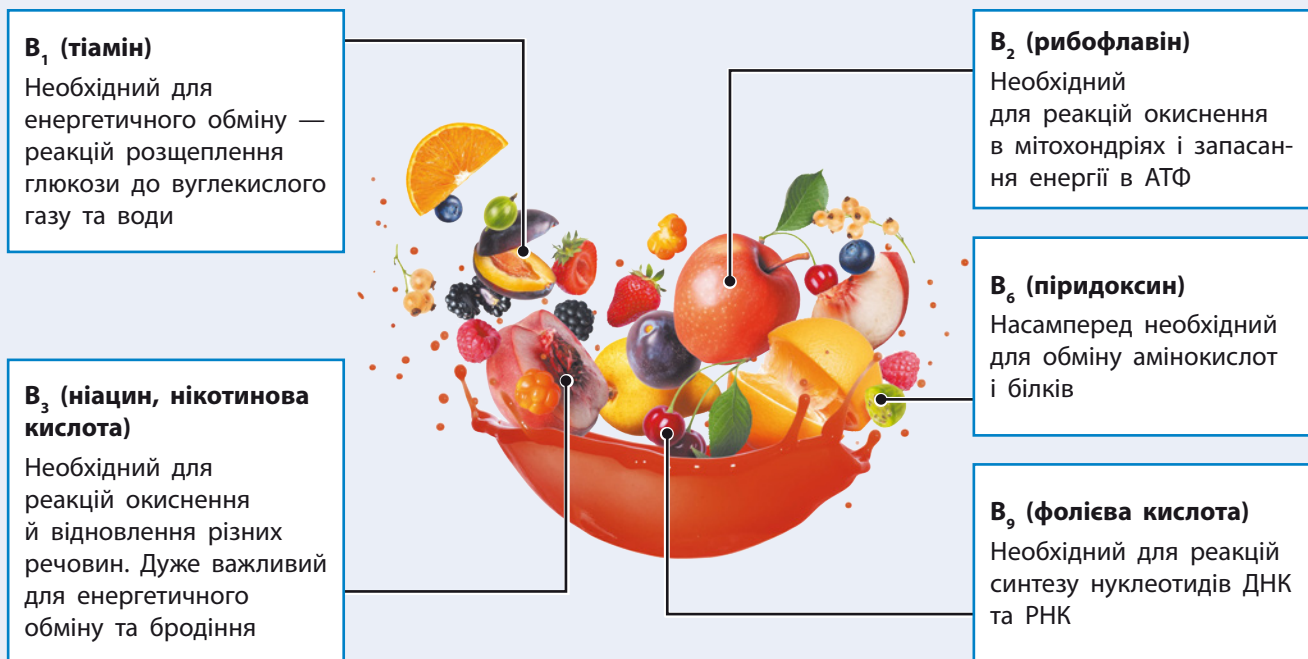
Жири



Вуглеводи



Білки



Мал. 7.3. Роль деяких вітамінів в обміні речовин

Властивості ферментів

Основною властивістю ферментів є їхня здатність утворювати за допомогою активного центру фермент-субстратний комплекс, що знижує енергію активації реакції (мал. 7.2). Саме тому вона відбувається набагато швидше, бо для початку реакції потрібно значно менше енергії.

У результаті реакції ферменти залишаються незмінними й знову беруть участь у хімічних реакціях. Тому мала кількість ферменту спричиняє перетворення великих кількостей субстрату.

Ферменти є високоспецифічними: один тип ферменту може каталізувати лише певний тип реакцій. Активність ферментів, як і всіх білків, залежить від кислотності середовища, температури, тиску, концентрацій субстрату та інших факторів.



Мал. 7.4. Каталаза з ушкоджених клітин прискорює розщеплення гідроген пероксиду:
 $2\text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2\uparrow$. Це допомагає промити й очистити рану від часточок бруду, запобігаючи її інфікуванню

Лабораторне дослідження «Дослідження властивостей ферментів на прикладі каталази»

Завдання дослідження: визначити вплив температури, рН (кислотності) й концентрації ферменту на каталітичну дію каталази.

Об'єкт дослідження: каталаза з ушкоджених клітин бульб картоплі.

Обладнання: таця, ніж, ступка, товкачик, пробірки, штатив для пробірок, піпетки, скляна паличка, хімічна склянка, мірний циліндр, електрочайник, ваги.

Речовини: 3 %-й розчин гідроген пероксиду, дистильована вода, лід, оцет, 10 %-й розчин амоніаку (або 5 %-й розчин харчової соди).

- Сформулюйте гіпотезу.
 - Чи існує залежність між активністю ферменту каталази та кислотністю або температурою середовища?
 - Чи існує залежність між швидкістю реакції, що каталізує фермент, і його кількістю чи концентрацією субстрату?
- На основі завдань і гіпотези сформулюйте мету дослідження.
- Об'єднайтеся в групи й виконайте експеримент.

Протокол дослідження

- А) Очистіть і наріжте картоплю невеликими шматочками; відважте 15 г і перенесіть у ступку; додайте дрібку крейди й розітріть шматочки картоплі в ступці.
- Б) Додайте в ступку 15 мл дистильованої води та перемішайте її вміст.
- В) У 6 пробірок додайте приблизно по 1–1,5 мл пюре картоплі (приблизно 1 см заввишки).
- Г) У різних пробірках створіть необхідні умови.



Відеодослідження властивостей ферментів на прикладі каталази
rnk.com.ua/113451

1	2	3	4	5	6	7
Додати 0,5 мл води (кімнатні умови)	Додати 0,5 мл води. Помістити на 5 хв в окріп	Додати 0,5 мл води. Помістити на 5 хв у лід	Додати 0,5 мл оцту	Додати 0,5 мл розчину амоніаку	Додати 1,5–2 мл води (розбавити вдвічі)	Немає пюре, додати 2 мл води

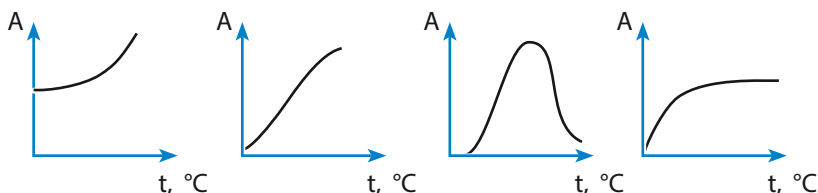
В усі пробірки додайте 2 мл розчину гідроген пероксиду.

- Зафіксуйте ваші результати. Позначте пробірки, де відбувається реакція (виділяються пухирці газу). Зазначте інтенсивність виділення пухирців: +++ — дуже інтенсивно, ++ — інтенсивно, + — наявні, – — майже відсутні.
- Яка пробірка слугувала контролем у цьому досліді? З якою метою використовували пробірку № 7, де був відсутній фермент?
- Незалежна змінна** в експерименті — це фактор, яким дослідник / дослідниця керує й цілеспрямовано його змінює.
Залежна змінна — це показник, який вимірюють, щоб побачити, як він змінюється у відповідь на зміни умов досліду.
Контрольована змінна — це умова, яка залишається незмінною впродовж експерименту, щоб уникнути її впливу на результати.
 Для цього дослідження визначте незалежні, залежні та контрольовані змінні.
- У біохімічній лабораторії кількісно визначали активність каталази за різного рН, вимірюючи об'єм виділеного кисню за одиницю часу. Отримали такі результати.

рН	3	4	5	6	7	8	9	10
Активність каталази, мл O₂/хв	0,00	0,80	0,15	2,35	3,74	1,62	0,24	0,07

Побудуйте графік залежності швидкості ферментативної реакції від рН розчину. Який діапазон рН є оптимальним для роботи ферменту? Спрогнозуйте швидкість ферментативної реакції за умов, коли рН = 6,5.

- З-поміж наведених графіків оберіть той, що відповідає залежності активності ферменту від температури.



9. Зробіть висновки.

Чи підтвердилися висловлені вами гіпотези?

Поясніть отримані результати активності ферменту за різних умов.

Зробіть загальний висновок про властивості ферментів.

Проект «Використання ферментів у побуті, медицині та сучасних технологіях»

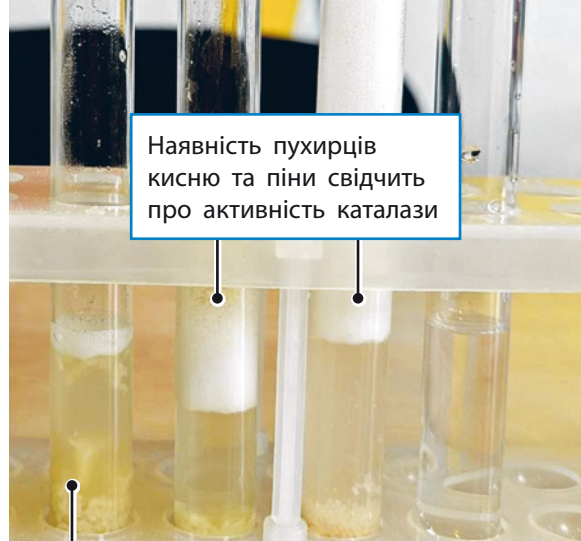
План виконання проекту

1. Формулювання мети проекту; аргументування актуальності теми проекту; визначення джерел інформації; опрацювання зібраної інформації, її аналіз і узагальнення (на конкретних прикладах ферментів).
2. Створення самостійного інформаційного продукту (оригінального тексту) та формулювання висновків.
3. Оформлення результатів проекту (презентація, відеоролик, подкаст, буклет тощо).



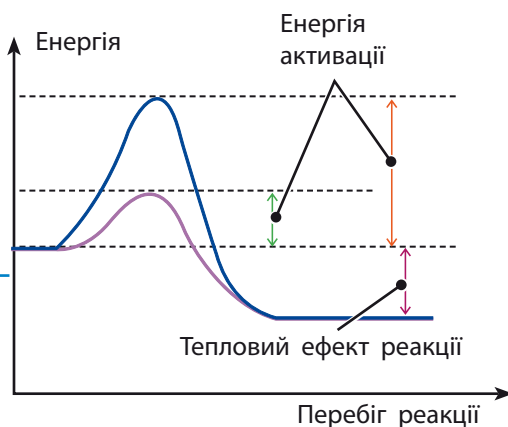
Запитання і завдання

1. Розгляньте енергетичні ефекти хімічної реакції без каталізатора (синій колір графіка) та за наявності ферментів (бузковий колір графіка). У чому принципова відмінність каталізованої ферментом реакції від некаталізованої? Ґрунтуючись на зміні енергії реагентів і продуктів, зазначте, чи є ця реакція ендотермічною, чи вона — екзотермічна.
2. Використовуючи різноманітні матеріали (папір, картон, нитки, намистини, пластилін тощо), виготовте модель ферментативної реакції або зробіть віртуальну модель засобами графічного комп'ютерного дизайну. Презентуйте результати своєї роботи. Чи вдалося вам створити модель, яка просто пояснює механізм роботи ферменту?
3. Реклама часто пропонує нам після переїдання та важкості в животі вживати таблетки, що полегшують наш стан. Знайдіть подібні препарати та проаналізуйте їхню інструкцію. Які діючі речовини містять такі препарати? Який механізм їхньої дії? Чи безпечно їх уживати без призначення лікаря? Які існують протипоказання / побічні ефекти застосування цих препаратів?



Наявність пухирців кисню та піни свідчить про активність каталази

Відсутність пухирців кисню свідчить про несприятливі умови для роботи каталази або руйнування ферменту



Опорні точки

Ферменти — це білкові молекули, що є біологічними каталізаторами. Вони прискорюють швидкість хімічних реакцій. Кожний тип ферменту забезпечує реакції одного типу. Фермент утворює із субстратом фермент-субстратний комплекс, що знижує енергію активації реакції. Саме тому реакція відбувається набагато швидше. Помічниками ферментів є коферменти (похідні вітамінів групи B) та катіони металічних елементів (Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} та ін.).



rnk.com.ua/
112144

§ 8

Структура та біологічні функції нуклеїнових кислот



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Фільм «Парк Юрського періоду» починається з того, що вчені знаходять кров динозаврів у скам'янілому в бурштині комарі й використовують цей біологічний матеріал для клонування динозаврів.

Яка молекула міститься в біологічних зразках, що несе спадкову інформацію про весь організм? Як ви вважаєте, чи можливо насправді відтворити динозаврів із викопних зразків?



Порівняння будови молекул ДНК і РНК
rnk.com.ua/114313

АТФ — аденозинтрифосфат
АДФ — аденозиндифосфат
АМФ — аденозинмонофосфат
 Φ_n — неорганічний гідрофосфат-аніон

Що таке нуклеїнові кислоти?

Уперше ці речовини 1869 року виділив швейцарський біохімік Фрідріх Мішер із ядер клітин. Він назвав їх «нуклеїном», що походить від слова “nucleus” (із лат. — «ядро»). Він також визначив наявність у цих речовинах великої кількості залишків ортофосфатної кислоти. Саме тому їх назвали «нуклеїнові кислоти».

Нуклеїнові кислоти — це речовини, макромолекули яких складаються з великої кількості взаємопов'язаних нуклеотидів. Тобто нуклеїнові кислоти — полімери, мономерами яких є нуклеотиди.

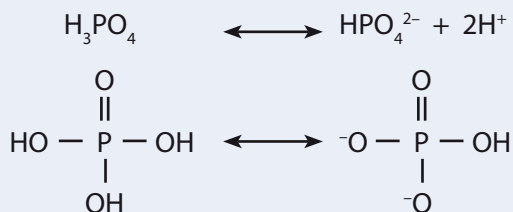
Нуклеотид — це мала молекула, яка складається із залишків (мал. 8.1):

- ортофосфатної кислоти;
- моносахариду пентози, або рибози (у складі рибонуклеїнової кислоти — РНК), або дезоксирибози (у складі дезоксирибонуклеїнової кислоти — ДНК);
- нітрогенової основи; це може бути одна із чотирьох основ: аденін (А), гуанін (Г), цитозин (Ц) і урацил (У) в РНК або тимін (Т) в ДНК (мал. 8.2).

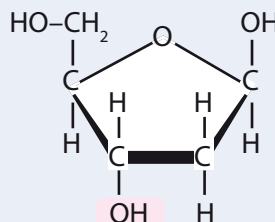
Аденозинтрифосфат (АТФ) — головна енергетична молекула клітини. Насправді це звичайний аденіловий нуклеотид РНК, що має три залишки ортофосфатної кислоти (мал. 8.3).

Під час розриву «макроергічного» зв'язку та відщеплення фосфатного залишку вивільняється енергія:

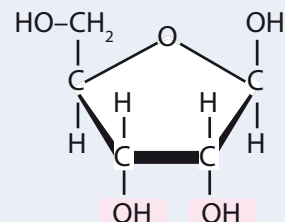




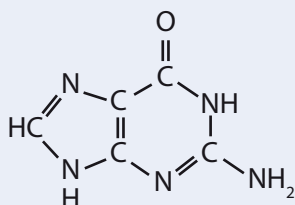
Ортофосфатна кислота та гідрофосфат-аніон у клітині



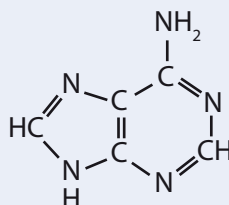
Дезоксирибоза



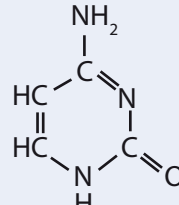
Рибоза



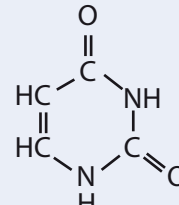
Гуанін (Г)



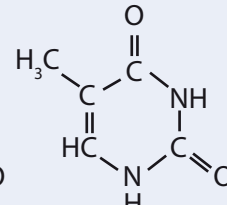
Аденін (А)



Цитозин (Ц)

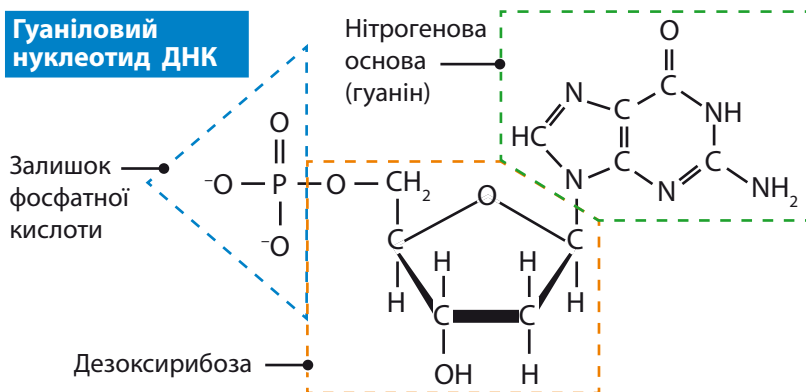


Урацил (У)

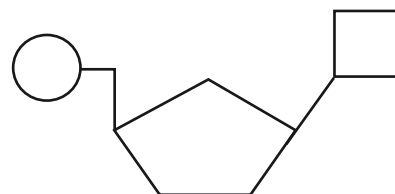


Тимін (Т)

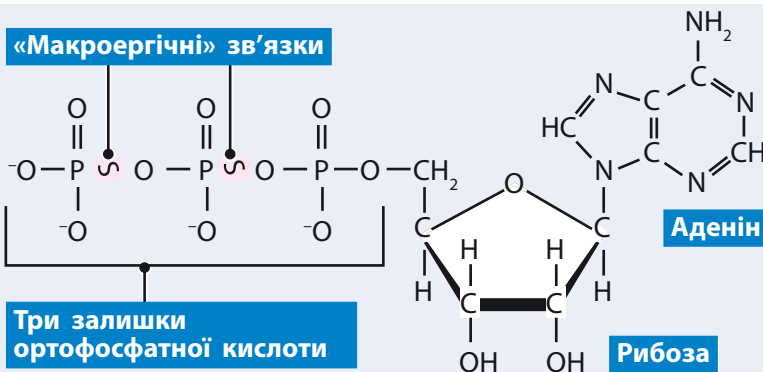
Мал. 8.1. Структурні формули компонентів нуклеотидів



Схематичне зображення нуклеотиду



Мал. 8.2. Гуаніловий нуклеотид ДНК



Мал. 8.3. Будова аденозинтрифосфату

Вивільнена внаслідок розщеплення АТФ енергія використовується білками клітини для здійснення енергозатратних процесів. Наприклад, енергія



Індивідуальна робота

Назвіть позначені цифрами компоненти нуклеотиду на малюнку 8.2. Намалюйте структурну формулу уридилового нуклеотиду РНК за прикладом структурної формули гуанілового нуклеотиду на малюнку 8.2. Для цього замініть дезоксирибозу на рибозу, а гуанін — на урацил.



Відкритий мікрофон

Як ви вважаєте, чи можуть виконувати енергетичну функцію в клітині інші нуклеотидтрифосфати (ГТФ, ЦТФ, УТФ)? Аргументуйте свою думку.

Принцип комплементарності

Аденін завжди формує пару з тиміном, тобто $A=T$.

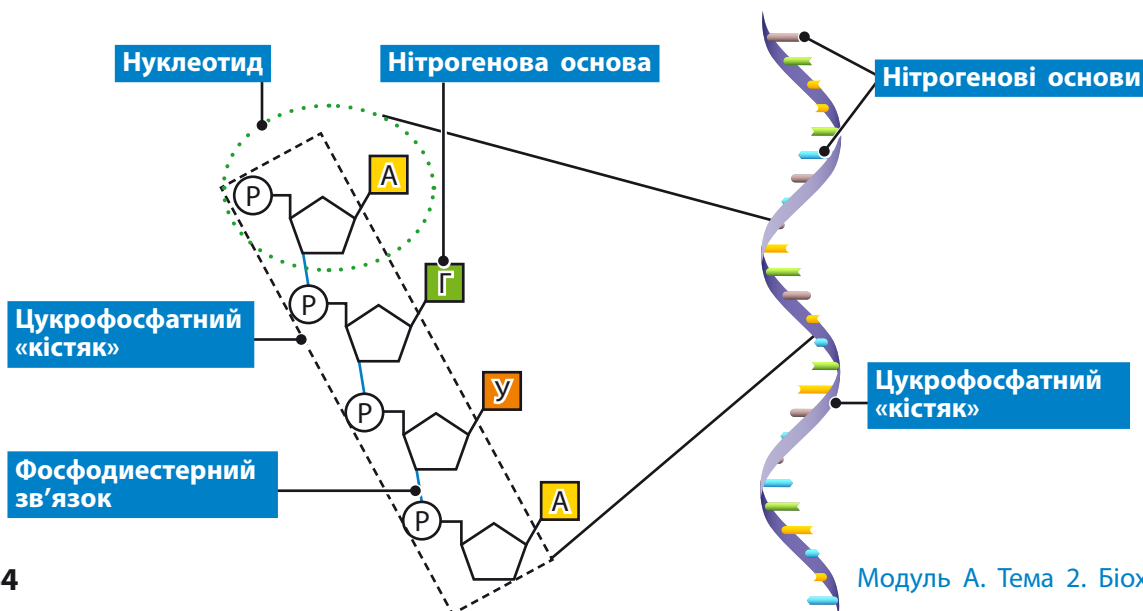
Гуанін завжди формує пару із цитозином, тобто $G \equiv C$.

Між $A=T$ парою утворюються два водневі зв'язки, а між $G \equiv C$ парою — три водневі зв'язки.



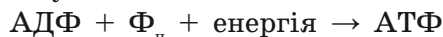
Лабораторне дослідження «Виділення й дослідження властивостей ДНК з бананів»
rnk.com.ua/112242

Мал. 8.4. Модель будови молекули РНК (рибонуклеїнової кислоти)



розщеплення АТФ використовується білком міозином для здійснення скорочення м'язів.

Звідки ж береться в клітині АТФ? Вона утворюється шляхом приєднання до АДФ неорганічного гідрогенфосфат-аніону. Для цього необхідна енергія, яка й запасається в хімічних зв'язках молекули АТФ:



Цю енергію постачають хімічні реакції окиснення речовин під час клітинного дихання або ж світло в процесі фотосинтезу.

Будова нуклеїнових кислот

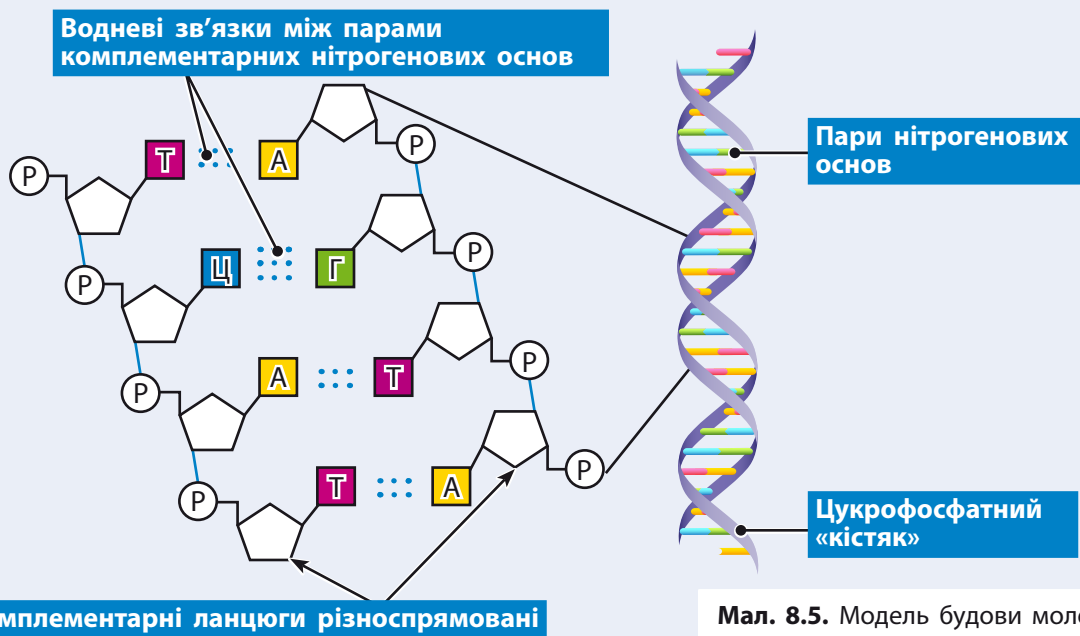
У клітинах живих організмів і вірусів існує два типи нуклеїнових кислот: РНК (рибонуклеїнова кислота) та ДНК (дезоксирибонуклеїнова кислота).

До складу нуклеотиду РНК входить залишок ортофосфатної кислоти, рибоза й одна із чотирьох нітрогенових основ: аденін (А), гуанін (Г), цитозин (Ц) і урацил (У).

Нуклеотиди поєднуються в ланцюжок (полімер) міцними ковалентними зв'язками через залишки ортофосфатної кислоти (мал. 8.4). У клітинах молекули РНК є одноланцюговими.

До складу нуклеотиду ДНК входять залишок ортофосфатної кислоти, дезоксирибоза й одна із чотирьох нітрогенових основ: аденін (А), гуанін (Г), цитозин (Ц) і тимін (Т).

Нуклеотиди поєднуються в ланцюжок (полімер) міцними ковалентними зв'язками через залишки ортофосфатної кислоти. У клітинах молекули ДНК є дволанцюговими спіралями (мал. 8.5). У подвійній спіралі їхні ланцюжки поєднуються водневими зв'язками за принципом комплементарності.



Мал. 8.5. Модель будови молекули ДНК (дезоксирибонуклеїнової кислоти)



Завдання

Продовжте запис послідовності нуклеотидів (нітрогенових основ) із моделі молекули РНК, користуючись колірним кодом.



УГААГ...

— урацил — аденін — гуанін — цитозин

Функції нуклеїнових кислот

Головною функцією ДНК є збереження спадкової інформації, яка закодована послідовністю нуклеотидів генів молекул ДНК. У ваших клітинах ДНК міститься в ядрі (хромосоми) і в мітохондріях.

У клітинах основні молекули РНК виконують функції реалізації спадкової інформації, зокрема, беруть участь у синтезі білків. Так, рибосомальні РНК (рРНК) входять до складу рибосом — органел, що синтезують білки в клітинах. Матричні РНК (мРНК) — це фактично копії генів, що містять «інструкції» для синтезу білків. Транспортні РНК (тРНК) доставляють амінокислоти для синтезу білків на рибосомах.

Довідка.

В-форма ДНК має такі параметри: діаметр спіралі — 2 нм; один оберт спіралі — 3,4 нм; в одному оберті спіралі — 10 пар нуклеотидів; відстань між парами нуклеотидів — 0,34 нм; середня молярна маса одного нуклеотиду — 330 а. о. м.



Поділіться своїми думками

ДНК здатна зберігатися надзвичайно довго — період напіврозпаду для неї становить 521 рік. Однак приблизно за 1,5 млн років навіть в ідеальних умовах уся ДНК руйнується.

Як ви вважаєте, чи можливо відтворити динозаврів із викопних зразків? Яку додаткову інформацію необхідно знайти, щоб аргументовано відповісти на це запитання?

Довідка. У вірусів носіями спадкової інформації можуть бути молекули і ДНК, і РНК. Водночас молекули РНК у вірусів бувають як одно-, так і дволанцюговими.



Алгоритм
розв'язання
задач (правило
Чаргаффа,
розрахунок
довжини ДНК)
rnk.com.ua/
114314

Практична робота «Розв'язування вправ зі структури нуклеїнових кислот»

Завдання 1. Використовуючи принцип комплементарності, добудуйте другий ланцюг ДНК з наведеної нижче матриці.

1-й ланцюг ДНК: А-Т-Т-Ц-А-Г-Г-А-Ц-А-Т-Ц

2-й ланцюг ДНК: _____

Завдання 2. Порахуйте у вище зазначеному фрагменті ДНК кількість аденінових нуклеотидів в обох ланцюгах. Обчисліть їхній відсоток від загальної кількості нуклеотидів (округліть відсотки до цілого).

Завдання 3. 1950 року американський біохімік Е. Чаргафф, уродженець м. Чернівці, вивів такі правила.

3.1. Уміст аденіну рівний умісту тиміну, а вміст гуаніну — кількості цитозину:
 $A=T, G=C$.

3.2. Кількість пуринів (А+Г) дорівнює кількості піримідинів (Т+Ц): $A+G=T+C$.

3.3. Частка ГЦ-пар у ДНК є постійною величиною для представників одного виду організмів.

Використовуючи перше правило Чаргаффа, обчисліть відсотки інших нуклеотидів у цьому самому фрагменті.

Завдання 4. Обчисліть кількість водневих зв'язків між двома ланцюгами цього фрагмента ДНК.

Завдання 5. Зазначте в цьому самому фрагменті ДНК кількість пуринів і піримідинів (друге правило Чаргаффа); кількість залишків дезоксирибози й ортофосфатної кислоти.

Завдання 6. Обчисліть масу цього фрагмента ДНК та його довжину. Зважте на те, що середня молярна маса одного нуклеотиду 330 а. о. м. ($M=330$ Да), а відстань між парою нуклеотидів — 0,34 нм.

Завдання 7. Використовуючи принцип комплементарності, добудуйте на наведеному ланцюзі РНК ланцюг молекули ДНК.

РНК: -У-У-Ц-Г-А-А-Ц-Г-А-У-А-Г-Ц-У-

1-й ланцюг ДНК: _____

2-й ланцюг ДНК: _____



Опорні точки

Нуклеїнові кислоти — полімери, мономерами яких є нуклеотиди. До складу нуклеотидів рибонуклеїнової кислоти (РНК) входять рибоза й урацил, а до складу нуклеотидів дезоксирибонуклеїнової кислоти (ДНК) — дезоксирибоза та тимін. У клітинах молекули РНК є одностанцюговими, а ДНК — двостанцюговими. ДНК зберігає спадкову інформацію, у ній містяться гени. АТФ — це нуклеотид, що відіграє важливу роль в енергетичному обміні клітини.



Запитання і завдання

1. Запропонуйте модель ДНК, яку можна виготовити з підручних матеріалів (паперу, картону, пластиліну, зубочисток тощо). Виготовте наочну модель ДНК та презентуйте її в класі. Які елементи будови ДНК вам удалося / не вдалося відобразити у вашій моделі?
2. Інформація в ДНК записана у вигляді послідовності нуклеотидів. Кожен нуклеотид може кодувати якийсь символ. Наприклад, А — ноту до, Г — ноту ре тощо. Тобто можна закодувати всього чотири ноти. Попри це, експериментаторам / експериментаторкам удалося записати цілу пісеньку з дитячого мультика в ДНК бактерії. Запропонуйте спосіб, як їм це вдалося зробити.
3. Усі молекули ДНК хромосом людини містять приблизно 3,2 млрд пар основ. У ДНК кожна пара основ займає приблизно 0,34 нм довжини спіралі. Обчисліть сумарну довжину молекул ДНК ядра клітини людини. Поміркуйте, яким чином удається вмістити таку довжину ДНК в маленьке ядро клітини.



rnk.com.ua/
112145



I N S U L I N

§ 9

Практичне значення біологічних макромолекул

Практичне значення та використання біологічних макромолекул

Біологічні макромолекули: білки, жири та полісахариди (мал. 9.1), — люди використовували з давніх-давен, тоді як науково обґрунтоване використання цих сполук почалося з їхнього дослідження в останні 150 років.

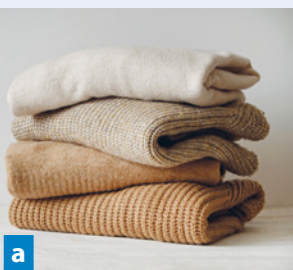
Значний внесок у вивчення біологічних макромолекул і їхнього застосування зробили українські біохіміки: **Олександр Данилевський** (досліджував ферменти, білки й питання харчування); **Олександр Палладін** (досліджував білки та ферменти нервової системи, вітаміни); **В'ячеслав Залеський** (досліджував синтез білків у рослин); **Надія Гула** (досліджувала гормони та біологічно активні ліпіди); **Сергій Комісаренко** (практичне використання й застосування антитіл) і багато інших.



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Для приготування різних солодощів використовують згущувачі. Крохмаль, желатин, пектин і агар є найбільш поширеними. Наприклад, мармелад можна готувати шляхом виварювання різних фруктів із додаванням цукру та згущувачів.

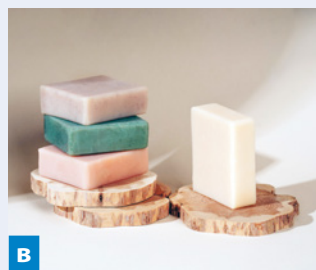
На основі якого згущувача мармелад буде найменш чи найбільш калорійним? Який би ви обрали десерт? Чому перший португальський мармелад з айви не потребував додавання згущувачів?



а



б

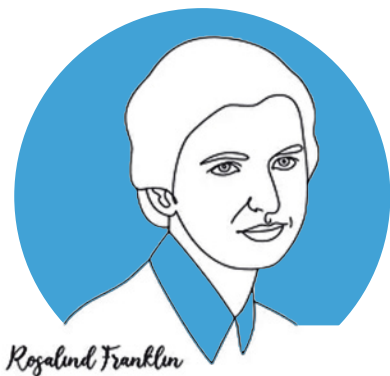


в

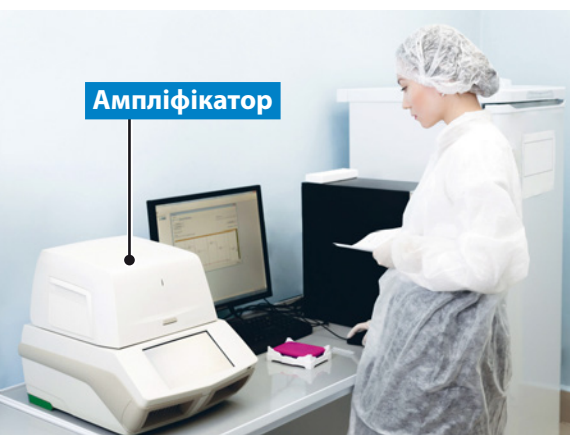


г

Мал. 9.1. Традиційне використання біологічних макромолекул: тваринний білок кератин — основа вовни (а); рослинний полісахарид целюлоза — основа бавовни (б); виготовлене з природних жирів мило (в); виготовлені з рослинного воску свічки (г)



Мал. 9.2. Розалінд Франклін (1920–1958) уперше отримала рентгенівський знімок кристалу молекули ДНК, що дало змогу зрозуміти спіральну природу цієї молекули й побудувати першу модель ДНК



Мал. 9.3. Метод ПЛР широко застосовують для діагностування інфекційних і генетичних захворювань. Для цього використовують стійкий до високих температур фермент, що синтезує копії молекул ДНК. Усі реакції штучного копіювання ДНК відбуваються в приладі, який дістав назву ампліфікатор



Практичне
значення білків
rnk.com.ua/113269

Прорив у сучасних молекулярно-біологічних технологіях (метод діагностики ПЛР — полімерно-ланцюгова реакція, генна інженерія, розшифрування геномів) став можливий завдяки піонерським роботам **Розалінд Франклін** (мал. 9.2), **Джеймса Вотсона** та **Френсіса Кріка** (відкриття структури ДНК); **Девіда Балтимора** (відкриття зворотної транскриптази — ферменту, завдяки якому на матриці РНК синтезується ДНК-копія); **Кері Малліса** (відкриття методу ПЛР); **Вернера Арбера**, **Гемілтона Сміта** й **Данієла Натанса** (відкриття рестриктаз — ферментів, що розрізають ДНК) та інших дослідників і дослідниць.

Практичне значення нуклеїнових кислот

Нуклеїнові кислоти широко використовуються в біотехнології:

- **генна інженерія:** створення рекомбінантних молекул ДНК та генетично модифікованих рослин і мікроорганізмів. Наприклад, учені конструюють молекулу ДНК, яка містить ген гормону росту, та переносять її в бактерію, яка починає синтезувати цей білок для лікування людей;
- **діагностика:** виділення ДНК для діагностування захворювань, визначення батьківства, ідентифікація збудників інфекцій (наприклад, методом ПЛР (мал. 9.3));
- **фармацевтика:** виробництво рекомбінантних та РНК-вакцин (наприклад, деякі вакцини проти коронавірусу).

Про практичне значення білків, полісахаридів і жирів — див. схему 5 і схеми на 2-й і 3-й сторінках обкладинки.



Робота в парі

Проведіть оцінку виготовлення солодоців (наприклад, зефіру) на основі желатину й агару за рецептурою на 1 кг продукту. Який згущувач вигідніше використовувати?



Відкритий мікрофон

Чому лікарські засоби, діючою речовиною яких є білки (інсулін, імуноглобуліни та ін.), не приймають у вигляді таблеток, а вводять в організм лише як ін'єкції?



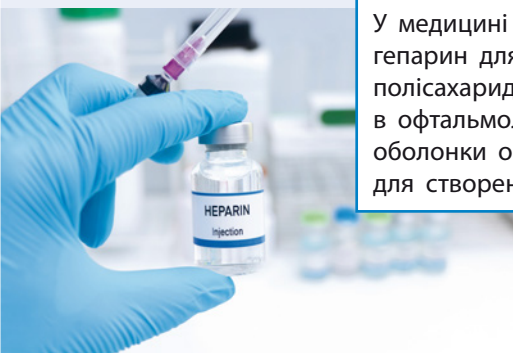
Полісахариди використовують для створення біорозкладних полімерів (як варіант для пакування). Ксантанову камедь застосовують для вилучення нафти, оскільки її водні розчини мають високу в'язкість і можуть вивільняти нафту з порід

Целюлозу та її хімічні модифікації використовують у виробництві паперу, текстилю (бавовна, віскоза), плівок (целюлоза та її хімічні модифікації). Вони можуть бути використані в процесі виробництва клеїв, лаків і пластмас (ацетилцелюлоза, карбоксиметилцелюлоза)



ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ПОЛІСАХАРИДІВ

Агар, пектин, модифіковані крохмалі та карбоксиметилцелюлозу (КМЦ) використовують як згущувачі й стабілізатори для приготування джемів, желе, сиркових десертів, йогуртів та ін. Целюлоза, або клітковина, — це харчові волокна, необхідні для нормального процесу травлення



У медицині застосовують полісахарид гепарин для запобігання зсіданню крові, полісахарид гіалуронову кислоту — в офтальмології для зволоження слизової оболонки ока, різні вуглеводи — для створення плазмозамінників



Полісахариди використовують у косметичних засобах для зволоження, пом'якшення та захисту шкіри. Наприклад, гіалуронову кислоту застосовують для зволоження шкіри. Хімічно модифікована гіалуронова кислота, що не розщеплюється ферментами, використовується як філер (препарат, що має консистенцію гелю й застосовується, зокрема, у косметичній хірургії)

Схема 5. Практичне значення полісахаридів

Дослідження складу та якості продуктів харчування (на наявність глюкози, крохмалю, білків і жирів)

Матеріали для дослідження: продукти харчування рослинного (наприклад, відварені рис чи картопля, хлібобулочні вироби, кетчуп, банан, сік виноградний) і тваринного походження (наприклад, йогурт, сирковий десерт, сире яйце).

1. Яка мета таких досліджень? Які завдання?
2. У яких продуктах ви очікуєте виявити крохмаль і білок? А які продукти, на вашу думку, не повинні містити крохмаль?

Обладнання: ступка з товчачиком, пробірки, штатив для пробірок, піпетки, пробіркотримач, спиртівка.

Хімічні речовини: вода, розчин йоду, 5 %-й розчин NaOH (засіб для очищення труб), 5 %-й розчин мідного купоросу.



Практичне
значення жирів
rnk.com.ua/113270



Відеодослідження
складу та якості
продуктів
харчування
rnk.com.ua/113452



Схема дослідження

- У двох серіях пронумерованих пробірок змішайте невеликі порції відвареного рису, кетчупу, пюре банана, білка яйця та сиркового десерту чи йогурту з водою до утворення суспензії або емульсії.
- До першої серії пробірок додайте по 1–2 краплі розчину йоду та перемішайте.
- До нової серії пробірок додайте 2 мл розчину натрій гідроксиду, перемішайте та внесіть 2–3 краплі розчину мідного купоросу. Ретельно перемішайте.
- На зрізи шматочків хлібобулочних виробів нанесіть 1 краплю розчину йоду, окремо нанесіть 3 краплі розчину лугу й до них додайте 1 краплю розчину мідного купоросу.
- У пробірку додайте 1 мл виноградного соку, 2 мл розчину лугу та 3 краплі розчину мідного купоросу. Обережно нагрівайте пробірку в полум'ї спиртівки, тримаючи її за допомогою пробіркотримача.



Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

Презентуйте значення внеску вчених у розуміння хімічних основ життя (наприклад, відкриття нуклеїнових кислот, структури білка, будови молекули ДНК та ін.).



Опорні точки

Нуклеїнові кислоти використовують для створення ГМО, вакцин і діагностики захворювань. Білки, зокрема ферменти, широко застосовують для виготовлення ліків і промислового виробництва різних речовин і харчових продуктів. Жири (олії) переробляють на біодизель, мастило, маргарин, мило, гліцерин та інші цінні речовини. Вуглеводи найчастіше використовують як згущувачі. Целюлоза має найширше застосування в ролі матеріалу для виготовлення тканин, плівок, пластику тощо.

Перед виконанням дослідження проведіть пошук інформації й дізнайтеся про біуретову реакцію та якісну реакцію на глюкозу з купрум(II) гідроксидом.

Обговорення дослідження

1. У яких продуктах ви виявили крохмаль і білок? Якщо крохмаль наявний у молочних продуктах, перевірте склад продукту на етикетці. З якою метою додають модифіковані крохмалі в ці продукти?
2. Якщо оцінити візуально, то в яких продуктах найбільша інтенсивність забарвлення, а відповідно, найбільший уміст крохмалю чи білка? Порівняйте вашу приблизну оцінку з довідниковими даними щодо вмісту цих речовин у досліджених продуктах.
3. Чи вдалося вам виконати поставлені завдання дослідження? Із чим ви впоралися, а що спричинило труднощі?
4. У яких продуктах, окрім виноградного соку, може бути наявна глюкоза? Як це можна перевірити експериментальним шляхом?
5. Чи вдалося вам досягти мети дослідження? Який загальний висновок про склад продуктів харчування та якості молочних продуктів можна зробити з вашого дослідження?



Запитання і завдання

1. Як склад і властивості органічних сполук пов'язані з їхньою роллю в біосистемах? Проілюструйте відповідь на питання на прикладі: білків (ферменти чи антитіла), молекул ДНК, фосфоліпідів або полісахаридів.
2. Поясніть економічну доцільність використання згущувачів у процесі виготовлення кисломолочних продуктів.

rnk.com.ua/
112146**§ 10****Клітина — елементарна
структурно-функціональна одиниця живого.
Клітинна теорія****Клітинний рівень —
фундаментальний рівень
організації життя****Поділіться своїми думками**

Згадайте рівні організації живого (див. таблицю під QR-кодом у параграфі 1, с. 8). З якого рівня починається життя? Які властивості живого мають клітини? Наведіть конкретні приклади.

Клітина — найменша структурна та функціональна одиниця живого.

Усі процеси, які ми називаємо «життям», відбуваються або в клітині, або за її участі. Саме з клітин починається життя: вони здатні до обміну речовин, росту, розмноження, реагування на подразники, руху та зберігання спадкової інформації. В одноклітинних організмів одна клітина виконує всі життєві функції. У багатоклітинних істотах клітини спеціалізуються й працюють у злагоджених системах (табл. 3, с. 52).

**Поміркуйте
й обговоріть ситуацію**

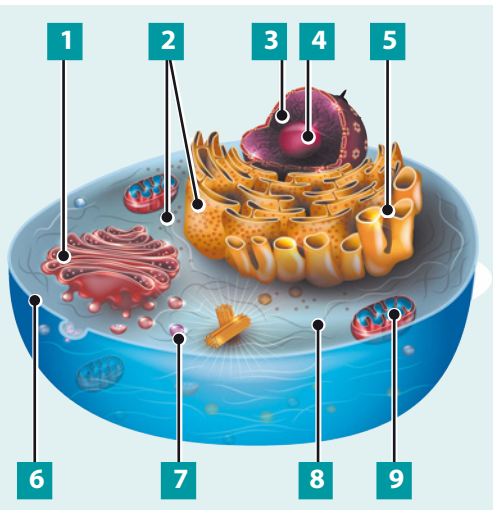
Англійський біолог Джон Нідгем 1745 року провів експеримент. Він прокип'ятив бульйон, охолодив його й потім герметично закоркував у колбах. Через кілька днів на бульйоні вирости колонії мікробів. Нідгем зробив висновок, що життя може самозароджуватися.

Чи згодні ви з ним? Як виникає нове життя?



Таблиця
«Властивості
живого»
rnk.com.ua/113271

Органели — спеціалізовані структури всередині клітини, які виконують певні функції.



- 1 — апарат Гольджі; 2 — рибосоми;
3 — ядро; 4 — ядерце;
5 — ендоплазматична сітка;
6 — плазматична мембрана;
7 — лізосома; 8 — цитоплазма;
9 — мітохондрія

Мал. 10.1. Будова тваринної клітини

Таблиця 3. Функції клітинних органел

Плазматична мембрана	Відокремлює клітину від зовнішнього середовища, регулює транспортування речовин, сприймає зовнішні сигнали
Цитозоль	Рідке середовище, у якому відбуваються хімічні реакції
Ядро	Містить ДНК — програму життя клітини
Ядерна оболонка	Відокремлює вміст ядра від цитоплазми
Мітохондрії	Утворюють АТФ (енергія) шляхом клітинного дихання
Рибосоми	Місце синтезу білків
Ендоплазматична сітка	Синтезує речовини (білки, ліпіди, вуглеводи) і транспортує їх
Апарат Гольджі	Хімічно модифікує, сортує та упаковує в пухирці речовини
Лізосоми (у тварин)	Розщеплюють речовини та ушкоджені структури
Цитоскелет	Забезпечує форму клітини і внутрішній транспорт речовин
Клітинна стінка (у рослин)	Механічний захист, підтримання форми
Хлоропласти (у рослин)	Фотосинтез — утворення органічних речовин завдяки енергії світла
Вакуоля (у рослин)	Накопичення води, іонів і запасних речовин, підтримання тургору

Розрізняють два основні типи клітин: прокаріотичні (без ядра — у бактерій і архей) та еукаріотичні (з ядром — у рослин, тварин, грибів і протистів). Розміри клітин варіюють у широкому діапазоні: у середньому від 1–5 мкм у бактерій до 10–50 мкм у тварин і 20–200 мкм у рослин. Найбільшою клітиною є яйцеклітина (жовток) страуса, її довжина сягає 12,5 см. Нейрони людини можуть бути завдовжки понад 1 м, але завтовшки вони мікроскопічні.

Попри різноманітність за розміром, формою та функціями, клітини мають однаковий план будови: у всіх клітин є клітинна мембрана, цитоплазма та генетичний матеріал. Така універсальність будови клітин свідчить про їхнє спільне походження.

Загальний план організації клітини як біологічної системи. Компоненти клітин

Клітина — це не просто частинка організму (мал. 10.1). Це автономна, жива й відкрита **мікросистема**, яка:

- має чіткі межі (оточена мембраною);
- обмінюється речовинами й енергією із зовнішнім середовищем;
- здатна саморегулюватись і відтворюватись.

Усі функції життя виконують структури всередині клітини — **органели**. Органели бувають двомембранні (мітохондрії, пластиди), одномембранні

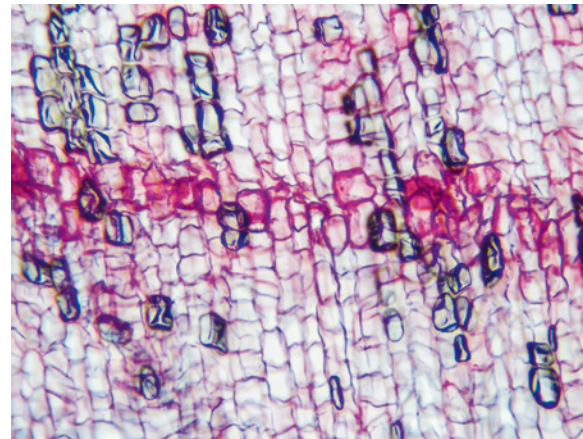
(ендоплазматична сітка, апарат Гольджі, лізосоми, вакуолі) та немембранні (рибосоми, клітинний центр, цитоскелет та ін.).

Клітинна теорія

Ще кілька століть тому ніхто не знав про існування клітин. І справді, як можна здогадатися про такі маленькі й небачені оком структури? Перші спостереження за клітинами було зроблено в середині XVII століття. Англійський натураліст і винахідник Роберт Гук 1665 р. вдосконалив мікроскоп і на зрізі корка побачив утворення, які назвав "cellulae" — клітини (мал. 10.2). Однак це були лише клітинні оболонки. Живі клітини першим побачив голландський винахідник Антоні ван Левенгук (1674 р.). За допомогою мікроскопа з полішеними лінзами він вивчав дрібні організми в краплині води (мал. 10.3). Так був відкритий мікросвіт, про існування якого раніше ніхто не здогадувався.

На початку XIX століття вчені помітили: хоча живі істоти дуже різноманітні, усі вони складаються з клітин, а всі клітини схожі за будовою. Спираючись на ці факти, 1838–1839 рр. німецькі науковці — ботанік Маттіас Шлейден і зоолог Теодор Шванн — незалежно один від одного сформулювали гіпотезу: «Усі живі істоти складаються з клітин, і клітина є основною одиницею будови та функціонування організму». Це був перший крок до формування **клітинної теорії** — ідеї про те, що в основі всіх живих організмів є клітинна будова.

1855 року німецький учений Рудольф Вірхов розвинув ці положення: «Кожна клітина походить від іншої клітини». Це спростувало старі уявлення про «самозародження» життя.



Мал. 10.2. Клітини корку під мікроскопом



Мал. 10.3. Дрібні організми в складі планктону води під мікроскопом

ПОЛОЖЕННЯ КЛІТИННОЇ ТЕОРІЇ

Усі живі організми складаються з клітин

Клітина — основна структурна та функціональна одиниця живого

Усі клітини виникають лише з інших клітин шляхом поділу

Клітини мають схожий хімічний склад і будову

Клітини містять спадкову інформацію й передають її під час поділу

Схема 6. Формулювання клітинної теорії

ЗНАЧЕННЯ КЛІТИННОЇ ТЕОРІЇ

Розуміння клітини як одиниці життя

Біологія

- Вивчення молекулярної біології, генетики, еволюції на клітинному рівні
- Пояснення росту, розвитку, розмноження та спадковості на рівні клітин

Біотехнологія

- Культивування клітин
- Клітинна інженерія
- Генна інженерія

Медицина

- Діагностика захворювань
- Трансплантація
- Імунологія
- Генна терапія

Схема 7. Значення клітинної теорії



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

У ХХІ столітті клітинна теорія знову видозмінюється. Синтетичні клітини, генно-редаговані організми, нові органели — усе це потребує формулювання нових питань. Насамперед, що таке «жива клітина» в добу штучного життя та як зміниться поняття життя через 100 років.

Поставте ці питання штучному інтелекту. Які позитивні речі для людства ви бачите? Які проблеми треба буде вирішувати?

У ХХ столітті клітину вивчили на молекулярному рівні. З'ясувалося, що обмін речовин в усіх клітинах схожий, а механізми клітинного поділу й передавання спадкової інформації універсальні.

Клітинна теорія надала підґрунтя для розуміння закономірностей живого світу. Вона стала фундаментом для біології, медицини, біотехнологій (схема 6, с. 53; схема 7). Завдяки новим відкриттям клітинна теорія й сьогодні розвивається і змінюється. Наприклад, установлюються межі між живим і неживим (віруси не мають клітинної будови, але функціонують, хоча й усередині живої клітини), що може суттєво розширити та поповнити теорію.



Запитання і завдання

1. Чим відрізняються клітини протистів (інфузорій, амеб) від клітин людини? Що в них є спільного?
2. Чим відрізняються клітини бактерій від клітин рослин і тварин?
3. Поясніть, чому клітинна теорія вважається дуже важливою для розвитку біології та суміжних галузей.
4. Як розуміння будови й функціонування клітини допомагає лікувати хвороби? Підготуйте про це інформаційне повідомлення (або зафільмуйте короткий відеоролик) і опублікуйте матеріали у своїх соціальних мережах чи на сайті класу / закладу освіти.
5. Користуючись табл. 3 на с. 52, пригадайте й поясніть, які з органел забезпечують такі життєві функції клітини:
 - а) обмін речовин із навколишнім середовищем;
 - б) регуляцію внутрішніх процесів;
 - в) перетворення енергії;
 - г) синтез і транспортування різних речовин;
 - д) самовідтворення.



Опорні точки

Життя починається з клітинного рівня. Клітина виконує всі основні функції життя: обмін речовин, ріст, подразливість, розмноження. Усі клітини мають загальний план будови і схожі обмінні процеси, що свідчить про їхнє спільне походження. Розуміння клітинної будови організмів (клітинна теорія) є фундаментом для біології, медицини й біотехнології.



rnk.com.ua/
112147

§ 11

Методи дослідження клітин. Наука цитологія

Цитологія — наука про клітину

Вивчення клітин є важливим як для розвитку біологічних наук, так і для практичного використання в біотехнології та медицині. Знання про те, як працює клітина, допомагає вченим створювати нові ліки й лікувати різні хвороби. Клітини використовують у біотехнологіях: наприклад, для виробництва гормонів, вітамінів, ферментів та інших корисних речовин. За допомогою клітинних технологій можна створювати штучні тканини, змінювати властивості організмів, вирощувати рослини з кращими якостями або допомагати людям із генетичними хворобами. Тому **цитологія** — наука про клітини — є дуже важливою для розвитку сучасної науки та поліпшення життя людей.

Цитологія — наука, що вивчає будову, функції та життєдіяльність клітин.

Цитологія має багато тем для вивчення: це і клітинний метаболізм, і клітинний поділ, і клітинна комунікація, і біохімія клітини. Дослідження в клітинній біології взаємопов'язані з іншими галузями, як-от: генетика, молекулярна біологія, медична мікробіологія, імунологія та цитохімія.

Мікроскопічні методи дослідження клітин

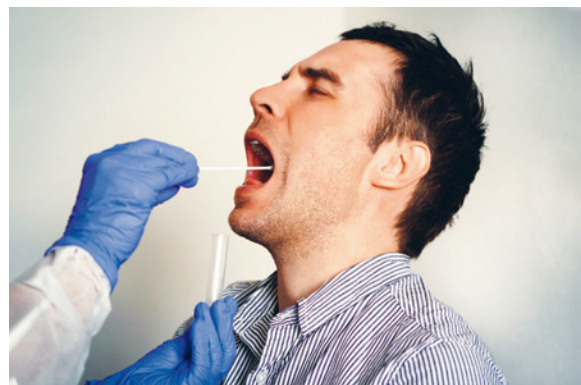
Класичним методом дослідження клітин є **світлова мікроскопія**. Вона базується на тому, що крізь прозорий або напівпрозорий об'єкт проходять промені світла, які потім потрапляють на лінзи об'єктива й окуляра. Ці лінзи збільшують зображення,



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Ви прийшли до лікаря з болем у горлі. Лікар каже: «Я візьму мазок і відправлю на бактеріальний посів. Через кілька днів буде результат».

Чому лікар не може відразу призначити антибіотик? Навіщо чекати кілька днів? Що саме досліджують, коли беруть мазок? І який це має стосунок до клітин?



Будова оптичного мікроскопа
rnk.com.ua/113272



Робота в групі

Пригадайте, як улаштований світловий мікроскоп. Поясніть послідовність дій, як на ньому працювати.



Анімація «Різні типи мікроскопів»
rnk.com.ua/112243

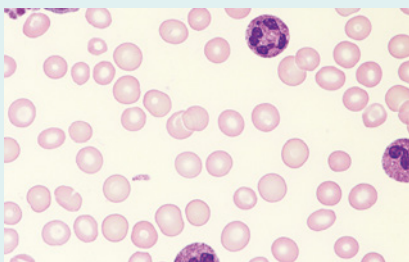
Мал. 11.1. Мікроскопічні зображення

і ми бачимо об'єкт дослідження (мал. 11.1). Звичайний світловий мікроскоп дає змогу вивчати об'єкти розміром від 200 нм, а максимальне збільшення може сягати 3500 разів. У такий мікроскоп можна побачити не лише клітини, а й деякі їхні структури: оболонку, ядро, пластиди, мітохондрії, вакуолі. Аби краще розрізняти окремі компоненти, застосовують барвники, і тоді прозорі структури набувають різних кольорів.

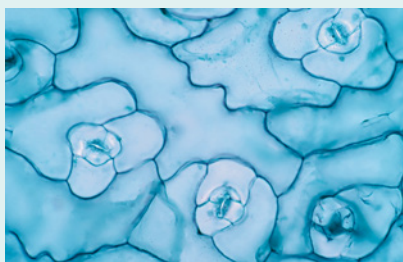
Флуоресцентна мікроскопія використовує флуоресцентні барвники (флуорофори). У флуоресцентному мікроскопі замість звичайної лампи використовують ультрафіолетові. Під дією ультрафіолету флуорофори випромінюють світло, яке й створює зображення (мал. 11.1).

Електронна мікроскопія замість променів світла використовує пучки електронів, здатних відбиватися від найдрібніших об'єктів. Електронний мікроскоп (мал. 11.2) збільшує зображення в мільйон разів і дає змогу побачити об'єкти розміром усього 0,1 нм. В електронному мікроскопі видно біологічні мембрани (7–10 нм завтовшки), рибосоми (діаметр 20–30 нм) та інші клітинні структури.

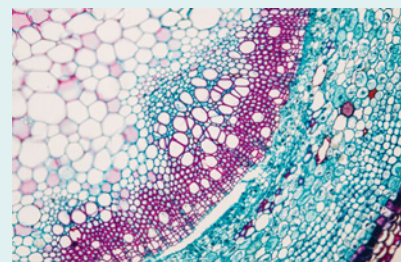
Світлова мікроскопія



Нейтрофіли людини

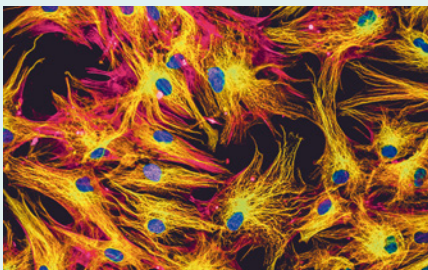


Епідерміс листка з продихами



Зріз стебла рослини

Флуоресцентна мікроскопія

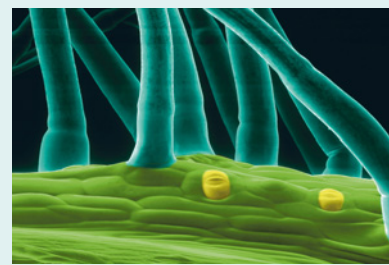


Клітини дерми шкіри людини

Електронна мікроскопія



Пилок



Поверхня листка рослини з волосками та продихами

Центрифугування — метод розділення компонентів клітин

Для виділення й вивчення окремих органел клітини використовується центрифугування. Центрифугування розділяє різні клітинні структури за їхніми масою та щільністю. Щоб це зробити, клітини спочатку подрібнюють (щоб зруйнувалися клітинні мембрани й органели опинилися в розчині) і поміщають у центрифугу (мал. 11.3). Ротор центрифуги швидко обертається навколо осі, створюючи велику відцентрову силу. Під дією цієї сили важчі частинки (наприклад, ядра клітин) осідають на дно пробірки, а легші (наприклад, мітохондрії чи рибосоми) — розміщуються вище.

Дослідження метаболізму клітини

Щоб зрозуміти, із чого складається клітина та як у ній відбуваються життєві процеси, використовують різноманітні фізичні й біохімічні методи дослідження.

Цитохімічний аналіз виявляє, де саме в клітині розташовані білки, ДНК, РНК, жири, вуглеводи та ферменти. На зрізи клітин наносять спеціальні барвники або реактиви, які реагують із певними речовинами. Характерне забарвлення, яке з'являється, можна побачити під мікроскопом. Наприклад, барвник, що з'єднується з ДНК, покаже ядро клітини. Барвники на глікоген покажуть, чи запасає клітина вуглеводи.

Метод мічених атомів (радіоавтографія) полягає в тому, що звичайні атоми в молекулах замінюють на радіоактивні — «мічені» — атоми. Мічені речовини вводять у клітини, де вони долучаються до природних процесів. Спеціальними методами можна виявити, куди саме потрапила ця речовина, як швидко вона переміщується та в яких процесах бере участь.



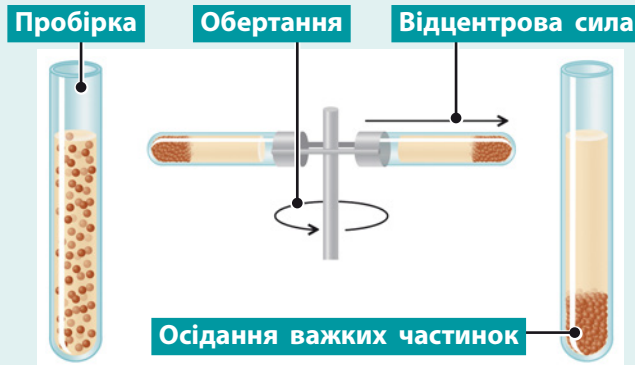
Мал. 11.2. Використання електронного мікроскопа в сучасних лабораторних дослідженнях. На відміну від світлового, цей прилад використовує пучок електронів замість світла, що дає змогу отримати збільшення в сотні тисяч разів і дослідити структуру клітинних органел, вірусів і молекул



Робота в парі

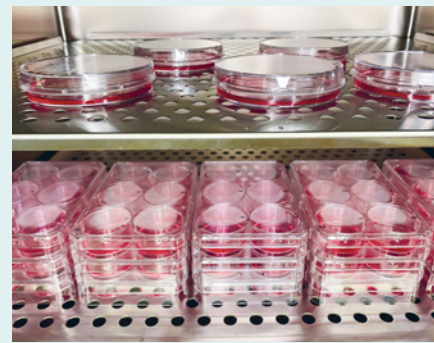
Оберіть один тип мічених атомів (^{32}P , ^{14}C , ^{35}S , ^3H), який ви б використали для вивчення:
а) нуклеїнових кислот;
б) білків.

Мал. 11.3. Центрифуга — це пристрій, який використовують у наукових і медичних лабораторіях для швидкого розділення сумішей (рідин або суспензій) на компоненти з різною щільністю. Основний принцип полягає в обертанні зразків із високою швидкістю, що змушує важчі частинки осідати на дні, а легші залишаються зверху





Мал. 11.4. Колонії бактеріальної культури в чашці Петрі



Мал. 11.5. Інкубатори клітинних культур для медичного використання



Відкритий мікрофон

Чому культивування клітин проводиться в стерильних умовах, а дослідники й дослідниці працюють у захисних костюмах і гумових рукавичках?



Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

Знайдіть і презентуйте інформацію про внесок вітчизняних учених у розвиток цитології.



Опорні точки

Цитологія вивчає будову, функції та життєдіяльність клітин. Дослідження клітин проводиться фізико-хімічними та біохімічними методами, як-от: світлова та електронна мікроскопія, цитохімія, радіоавтографія, метод клітинних культур.

Метод клітинних культур

Це спосіб вирощування клітин у спеціальному середовищі, наприклад, у чашках Петрі або культуральних флаконах (мал. 11.4, 11.5). Клітини поміщають у стерильний розчин, що містить поживні речовини (цукри, амінокислоти, солі, вітаміни). У клітинних інкубаторах підтримують необхідні температуру й вологість. Цей метод дає змогу проводити дослідження, не руйнуючи організми. На клітинних культурах тестують нові ліки й вакцини, вивчають ракові клітини й мутації, досліджують шляхи проникнення вірусів. Із рослинних клітин отримують корисні речовини. Клітини шкіри людини вирощують у лабораторії й використовують для лікування опіків.



Запитання і завдання

1. У науковій лабораторії розробляють наночастинки для цільової доставки ліків одразу в ракову пухлину. Як дослідити, чи справді ліки потрапляють, куди треба, і не вражають здорові тканини? Запропонуйте схему такого експерименту.
2. Уявіть, що до вашої лабораторії привезли зразки води з антарктичного озера. Ваше завдання: ідентифікувати бактерії та з'ясувати, які корисні речовини вони виробляють. Запропонуйте схему досліджень. Які методи дослідження клітин ви будете використовувати?
3. Уявіть, що ви досліджуєте ефективність і безпечність нового медичного препарату. Його можна тестувати на піддослідних тваринах або на культурі клітин людини. Який шлях ви б обрали? Поясніть чому.



rnk.com.ua/
112148

§ 12

Будова та функції немембранних компонентів клітин (цитоплазма, цитоскелет, клітинний центр, веретено поділу). Органели руху клітин

Цитоплазма

Цитоплазма — це внутрішнє середовище клітини, що об'єднує її структурні компоненти (схема 8). Компонентами цитоплазми є цитозоль, органели та клітинні включення за винятком ядра. Рідка частина цитоплазми — **цитозоль** — є безбарвною в'язкою речовиною, що на 70–90 % складається з води, містить різноманітні органічні молекули (білки, ліпіди, вуглеводи, амінокислоти, нуклеотиди), а також іони неорганічних сполук (табл. 4, с. 60).

Склад солей цитозолу суттєво відрізняється від складу солей навколишнього середовища (мал. 12.1, с. 60). У клітині переважають іони



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Ви розбили сире куряче яйце. Бачите білок і жовток. А тепер уявіть: увесь жовток яйця — одна-єдина клітина!

Як ви вважаєте, чому яйцеклітина така велика за розмірами?

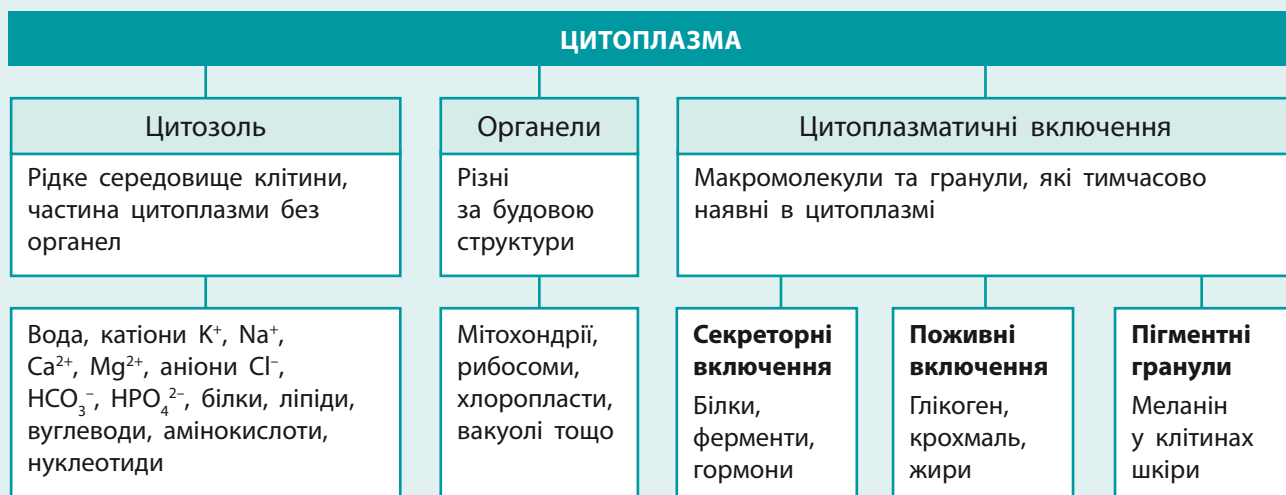
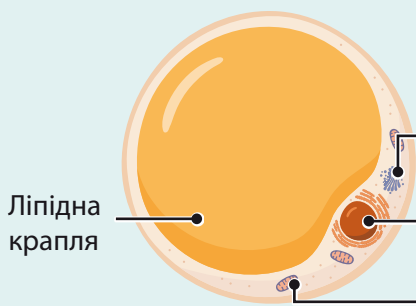


Схема 8. Компоненти цитоплазми

Адиipoцит (жирова клітина)



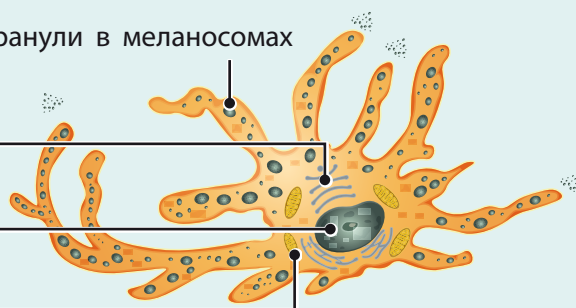
Меланоцит (клітина шкіри)

Пігментні гранули в меланосомах

Апарат Гольджі

Ядро

Мітохондрії



Мал. 12.1. Включення в цитоплазмі клітин

Калію, Магнію та фосфат-іони, а в міжклітинному середовищі — Натрію та Хлору. Наприклад, у цитозолі концентрація іонів Калію у 20–30 разів вища, ніж зовні, а концентрація іонів Натрію всередині клітини в 10 разів нижча (табл. 4).

Таблиця 4. Уміст іонів у крові людини

Іони	Концентрація в еритроцитах, ммоль/л	Концентрація в сироватці крові, ммоль/л
K ⁺	113,3	5,1
Na ⁺	26,3	151,1
Ca ²⁺	0,62	11,8
Mg ²⁺	14,4	3,6
Cl ⁻	96,6	115,6
HCO ₃ ⁻	42,5	31,1
HPO ₄ ²⁻	5,5	2,1

Хоча цитозоль здається безформним і безструктурним, насправді він високоорганізований. Усередині цитозолі розташований **цитоскелет** — мережа мікротрубочок і мікрофіламентів, які підтримують форму клітини (мал. 12.2). Цитозоль постійно переміщується через рух мікрофіламентів. Завдяки цитоплазматичному потоку всередині клітини циркулюють речовини й рухаються органели (схема 9). У такий спосіб, наприклад, транспортуються до більш освітлених місць хлоропласти в рослин, утворюються псевдоніжки в протистів.

Цитоскелет

Цитоскелет у клітині працює як опорно-рухова і транспортна система. Він представлений мережею

Поділіться своїми думками

Розгляньте табл. 4. Обчисліть співвідношення вмісту різних іонів усередині клітини й назовні. Які йони переважають у клітині порівняно з навколишнім середовищем?



Індивідуальна робота

Чому цитоплазма — це не лише «вода всередині клітини»?



Відкритий мікрофон

Якщо порівняти клітину з містом, яке місце в ньому займатиме цитоплазма? Це «майданчик», «магістраль» чи «фабрика»? Аргументуйте.



ФУНКЦІЇ ЦИТОЗОЛЮ

Забезпечує взаємозв'язок між частинами клітини

Цитозоль поєднує клітинні органели, здійснює транспорт речовин усередині клітини

Є середовищем, у якому відбуваються хімічні реакції обміну речовин

У цитозолі відбувається багато життєво важливих процесів: розщеплення глюкози, нуклеотидів ДНК та РНК, жирів, а також синтез і розпад глікогену

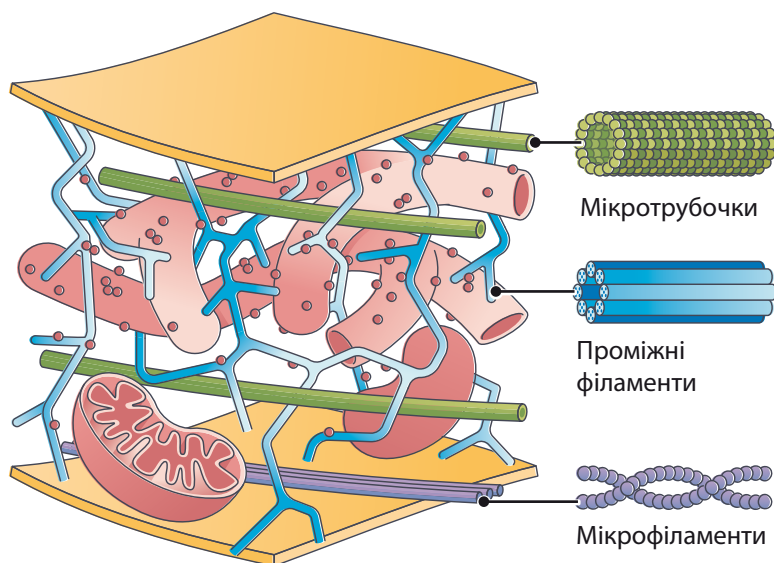
Підтримує тургор

Тиск розчину всередині клітини, завдяки якому зберігаються її форма й пружність

Запасає речовини

У цитозолі у вигляді клітинних включень запасаються молекули глікогену, краплі жирів

Схема 9. Функції цитозолю



Мал. 12.2. Структура цитоскелета

білкових мікрофіламентів, проміжних філаментів і мікротрубочок (мал. 12.2; табл. 5, с. 62). Це гнучка й динамічна структура, яка підтримує форму клітини й дає змогу їй змінюватися, ділитися, пересуватися.

Насамперед цитоскелет визначає форму клітини. Завдяки цитоскелету клітини можуть набувати найрізноманітніших конфігурацій: витягнутих, розгалужених, округлих, плоских тощо. Різна форма потрібна клітинам для виконання різних функцій, тобто завдяки цитоскелету в багатоклітинних організмів існують спеціалізовані клітини й утворюються тканини.



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Користуючись мал. 12.2, табл. 5 на с. 62 і текстом підручника, дайте відповіді на запитання.

1. Які елементи цитоскелета необхідні для підтримання форми клітини?
2. Які елементи цитоскелета і як забезпечують транспортування речовин усередині клітини?
3. Які структури цитоскелета забезпечують активний рух клітин?
4. Які елементи цитоскелета й чому були важливими для еволюції багатоклітинності?

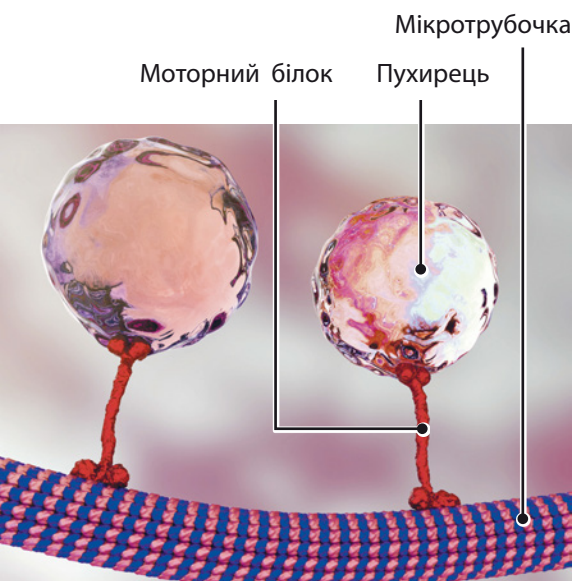


Поділіться своїми думками

Чи можна вважати цитоскелет «рушієм» еволюції клітинних форм? Обґрунтуйте.

Таблиця 5. Функції елементів цитоскелета

Елементи цитоскелета	Функції
Мікрофіламенти Побудовані з білка актину. Утворюють жорсткий шар під плазматичною мембраною	- Підтримують форму клітини, утворюють ворсинки - Забезпечують зміну форми клітини та її скорочення - Забезпечують амебоїдний рух, утворення псевдоніжок і процеси ендо- та екзоцитозу - Створюють цитоплазматичний потік - Здійснюють переміщення органел у клітині
Проміжні філаменти Утворюють тривимірну мережу в цитоплазмі	- Створюють внутрішній каркас клітини - Беруть участь в організації міжклітинних контактів
Мікротрубочки Побудовані з білка тубуліну. Пронизують цитоплазму	- Здійснюють внутрішньоклітинний транспортування пухирців - Утворюють веретено поділу - Є основою органел руху: війок і джгутиків



Мал. 12.3. Мікротрубочки є коліями для транспорту пухирців у клітині

Завдяки **мікрофіламентам** цитоскелета клітина може змінювати форму поверхні, захоплювати їжу (ендоцитоз) і навіть рухатися (амебоїдний рух). А ось завдяки **мікротрубочкам** відбувається внутрішньоклітинний транспорт пухирців. По мікротрубочках, як по коліях, переміщуються спеціальні моторні білки, які транспортують пухирці з речовинами до різних частин клітини (мал. 12.3).

Таким чином, цитоскелет не просто підтримує форму, він робить можливим виникнення руху, клітинної спеціалізації та взаємодії.

Клітинний центр і веретено поділу

Клітинний центр, або **центросома**, є центром збирання мікротрубочок. Ця органела наявна в більшості клітин тварин, але її немає в клітинах рослин.

Клітинний центр складається з двох **центріолей** і мікротрубочок, що відростають від нього (мал. 12.4).

На початку поділу клітини від клітинного центру формуються мікротрубочки **веретена поділу**. До них прикріплюються хромосоми, які рухаються завдяки укороченню мікротрубочок, і порівну розподіляються між дочірніми клітинами. Це дуже відповідальний процес! Якщо він порушується, хромосоми можуть загубитися й не потрапити в ядра нових клітин. Неправильна кількість хромосом призводить до мутацій або загибелі клітини.

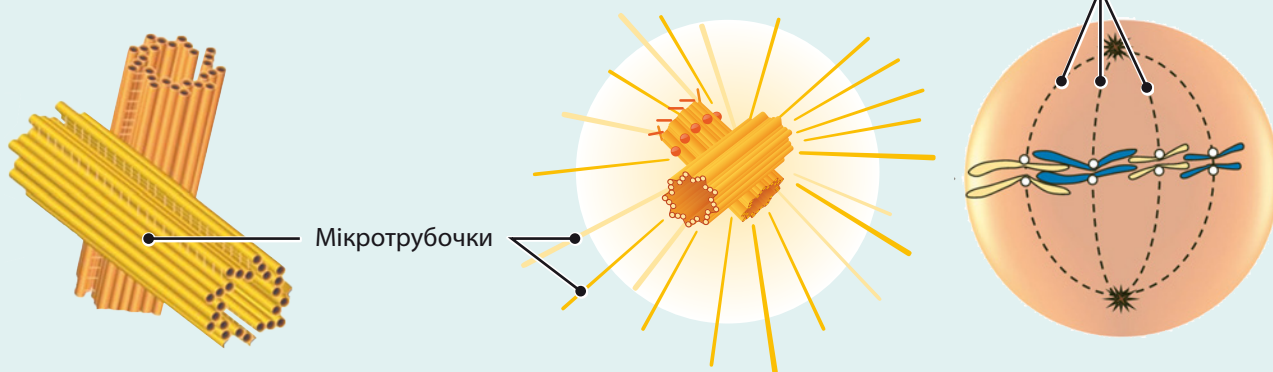
Органели руху клітин

Органами руху клітин є псевдоподії, джгутики та війки (мал. 12.5).

Центріолі

Клітинний центр

Веретено поділу



Мал. 12.4. Клітинний центр і веретено поділу

Псевдоподії (псевдоніжки) є тимчасовими виростами клітини, що забезпечують амебоїдний тип руху. Клітина утворює виріст, перебудовуючи мережі мікрофіламентів під клітинною мембраною. У виріст перетікає цитоплазма. Псевдоніжки є в амеб і лейкоцитів крові людини.

Війки й джгутики — це тонкі вирости мембрани, усередині яких розташовуються пучки мікротрубочок (мал. 12.6, с. 64).

Рух війок нагадує веслування. У людини, наприклад, численні війки покривають клітини миготливого епітелію дихальних шляхів. Постійні односпрямовані коливання війок просувають по дихальних шляхах слиз з осілими частинками пилу.

Джгутики довші за війки, їхня кількість на клітину зазвичай від 1 до 8, тоді як війок може бути 100 й більше. Джгутиками забезпечені клітини багатьох одноклітинних еукаріот і гамети більшості організмів. У людини є лише один тип клітин із джгутиками: сперматозоїди.

Довідка. Клітинний центр постійно синтезує нові мікротрубочки замість старих, які поступово розбираються. Середній час життя цитоплазматичних мікротрубочок становить усього 10 хвилин. Це дуже динамічна система, яка постійно оновлюється.



Робота в групі

Уявіть, що ви — інженери / інженерки, які працюють над майбутніми технологіями. Якщо ви розробляли б нанороботів, то які елементи цитоскелета застосували б? Які завдання вони могли б виконувати? Де їх можна було б застосувати?



Псевдоподії амеби



Війки інфузорії



Джгутики сперматозоїдів

Мал. 12.5. Органели руху клітини



Українські жінки в сучасній науці

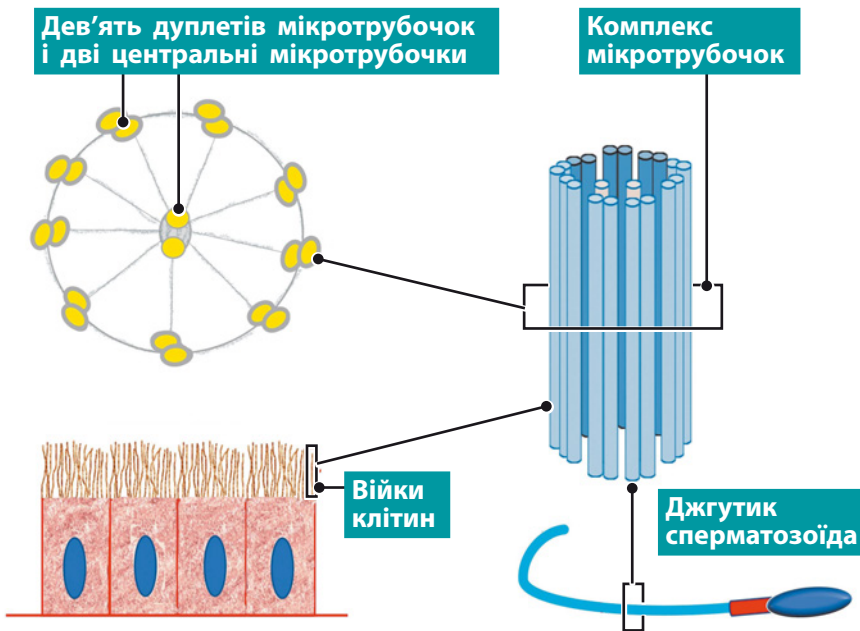


Любов Леонідівна Лукаш — українська науковиця, біологиня, генетикиня, цитологиня, заступниця директора з наукової роботи Інституту молекулярної біології і генетики Національної академії наук України, докторка біологічних наук, професорка. Основними напрямками її наукової діяльності є розроблення біотехнологій із використанням стовбурових клітин людини й вивчення біологічного мутагенезу.



Опорні точки

Цитоплазма є внутрішнім середовищем клітини, у якому відбуваються процеси клітинного метаболізму й відкладаються запасні речовини. Цитоплазма транспортує речовини, підтримує гомеостаз і тургор клітини. Цитоскелет визначає форму клітини, забезпечує ендот- та екзоцитоз, рух, клітинну взаємодію, бере участь у внутрішньоклітинному транспорті речовин. Клітинний центр — це місце збирання мікротрубочок цитоскелета, він формує веретено поділу й бере участь у формуванні джгутиків і війок.



Мал. 12.6. Мікротрубочки в складі джгутиків і війок



Запитання і завдання

1. Наукова спільнота вважає, що склад солей цитоплазми клітин подібний до складу стародавнього середовища, де виникли перші в історії Землі клітини. Якщо це так, то чи був цим середовищем океан? Прісна водойма? Гейзер? Підводний вулкан?
2. Чому морські водорості холодних морів мають більше ліпідів, амінокислот і цукрів у складі цитоплазми, ніж ті, що живуть у теплих водах? Знайдіть інформацію та поясніть цю різницю.
3. Чому цитоскелет називають «внутрішнім скелетом» клітини? У чому він схожий на скелет багатоклітинного організму і чим відрізняється від нього?
4. Якби клітини не мали цитоскелета, які структури або функції цих клітин були б неможливими?
5. Побудуйте схему «Життєвий шлях мікротрубочки». Зазначте, де і з чого вона утворюється та як використовується. Скільки альтернативних «життєвих шляхів» є в мікротрубочки? Чи є в неї супутники або помічники?
6. Деякі ліки, наприклад рослинний алкалоїд колхіцин, блокують утворення мікротрубочок. Що станеться, якщо мікротрубочки не будуть утворюватися? Які клітинні процеси порушаться першими?



rnk.com.ua/
112149

§ 13

Будова й функції клітинних мембран. Плазматична мембрана. Надмембранні структури (клітинна стінка, глікокалікс)

Ліпідний бішар — основа клітинних мембран

До складу всіх клітин входять мембрани, які відокремлюють уміст клітини від навколишнього середовища (цитоплазматична мембрана), а також поділяють внутрішній простір клітини на відділи (ендоплазматична сітка, ядерна оболонка).

Основою всіх клітинних мембран є **ліпідний бішар** — подвійний шар із молекул фосфоліпідів. У водному середовищі фосфоліпіди утворюють подвійні шари, у яких їхні гідрофільні головки розташовані зовні й контактують із водним середовищем, тоді як гідрофобні хвости занурені всередину шару (мал. 13.1, с. 66). У клітинних мембранах у ліпідний бішар вбудовані молекули білків, які можуть бути ферментами, рецепторами, транспортними каналами тощо.

Цитоплазматична мембрана

Зовні всі клітини оточені **цитоплазматичною мембраною**, або **плазмалемою**. Структуру мембрани називають рідинно-мозаїчною. Молекули фосфоліпідів в її шарах постійно переміщуються, а іноді перестрибують з одного ліпідного шару в інший. У ліпідні шари вбудовані молекули білків. Периферичні білки розташовані з одного боку мембрани, інтегральні білки занурені в неї. До білків і ліпідів можуть бути приєднані вуглеводні залишки.

Цитоплазматична мембрана є напівпроникною — вона вибірково пропускає речовини крізь



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Кожна клітина має оболонку. Вона працює, мов стіна навколо фортеці: захищає «місто» всередині та пропускає вантажі крізь «ворота».

Які властивості мають бути в клітинній оболонки? Що вона повинна вміти робити?



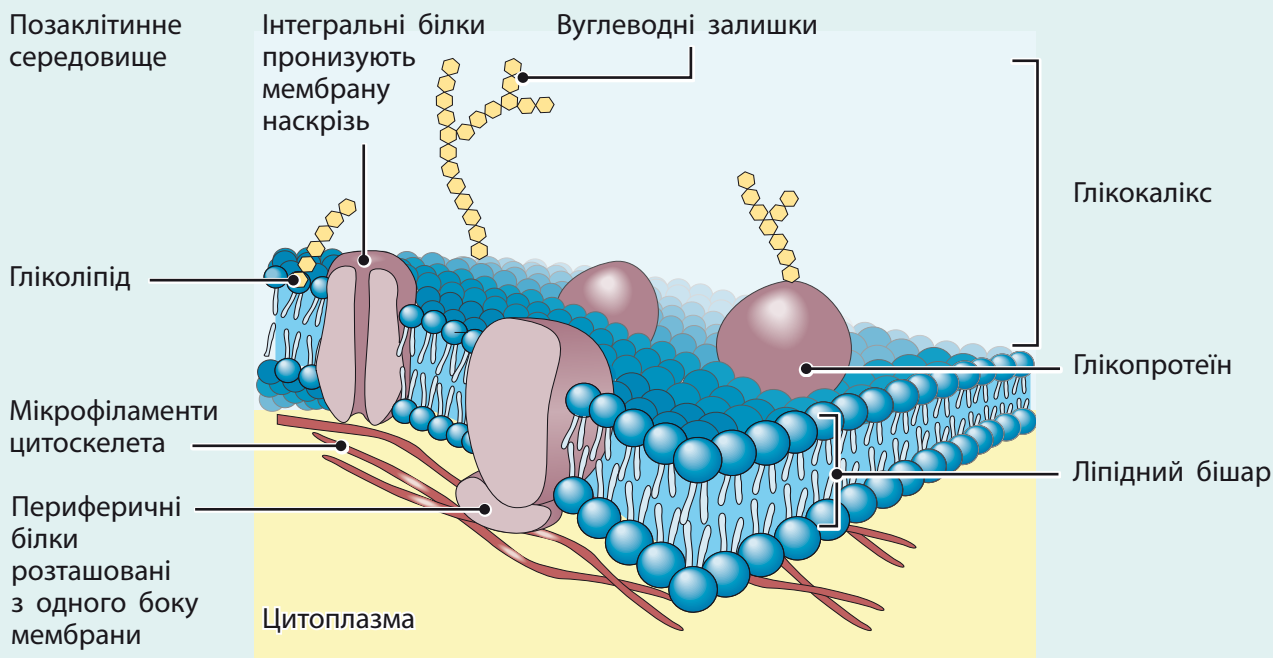
Відкритий мікрофон

Пригадайте будову молекул фосфоліпідів і поясніть, завдяки чому у водному середовищі вони утворюють бішари та інші структури (мал. 13.1, с. 66; мал. 4.2, с. 23).



Поділіться своїми думками

Мембрани клітин тварин містять холестерол, який стабілізує їхню структуру. У якому місці клітинної мембрани він буде розташований?



Мал. 13.1. Будова цитоплазматичної мембрани

себе. Невеликі молекули проникають шляхом дифузії або за допомогою транспортних білків. Великі молекули й харчові частинки проходять крізь мембрану шляхом ендо- та екзоцитозу (схема 10).

На поверхні клітинної мембрани багато **рецепторів**. Зазвичай це глікопротеїни — білки з різноманітними вуглеводними залишками. Вони сприймають сигнальні молекули: гормони, фактори росту, нейромедіатори. Наприклад, інсуліновий рецептор сприймає молекули інсуліну як сигнал до посилення всмоктування глюкози (мал. 13.2). До рецепторів також можуть приєднуватися патогенні віруси (мал. 13.3).



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Певні ліки проти вірусу імунодефіциту людини (ВІЛ) містять речовини, які приєднуються до рецепторів CCR-5 на поверхні В-лімфоцитів. У чому механізм ефективності таких ліків проти СНІДу?

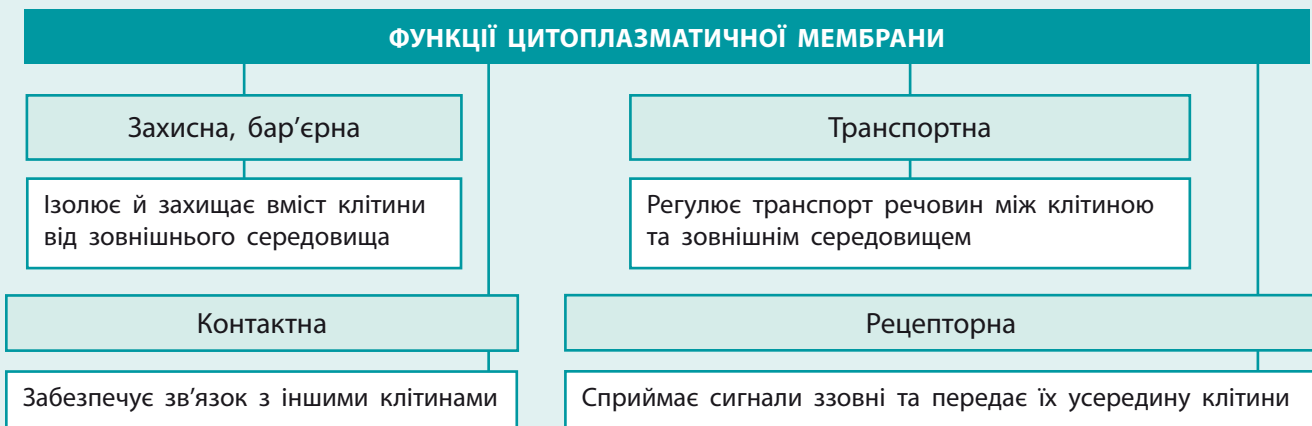
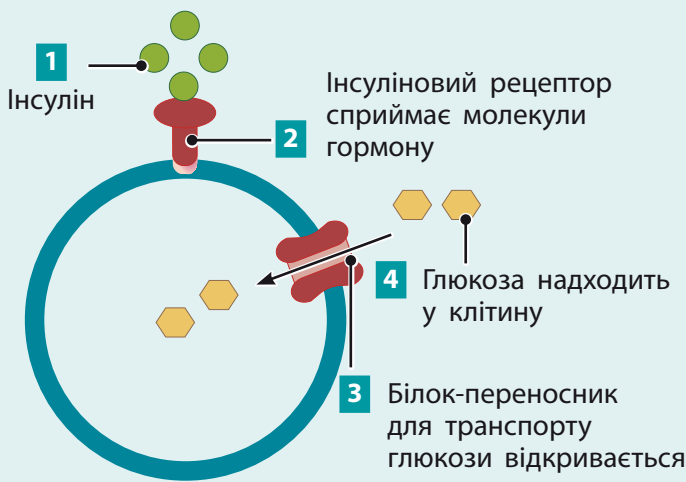


Схема 10. Функції цитоплазматичної мембрани



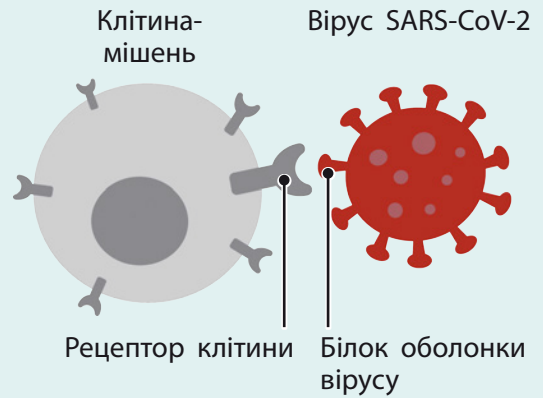
Мал. 13.2. Приклад роботи рецептора

Надмембранні структури

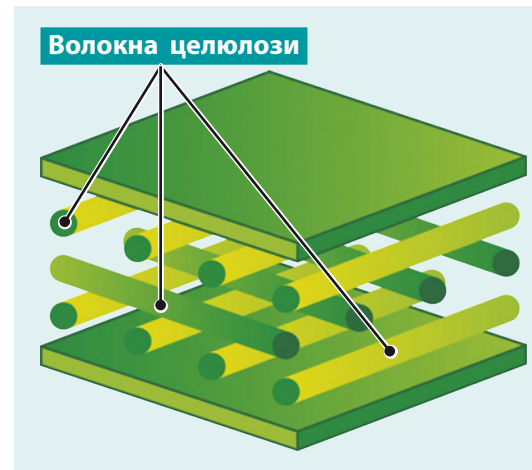
На поверхні клітин тварин розміщений **глікокалікс** (мал. 13.1). Це шар глікопротеїнів і гліколіпідів, розташований на поверхні плазматичних мембран. Глікокалікс містить рецептори й відповідає за міжклітинні контакти. За його ознаками лейкоцити відрізняють власні здорові клітини від чужорідних і здорові клітини від ушкоджених.

Клітини рослин, а також грибів і бактерій, мають додаткову оболонку: **клітинну стінку**. Це жорстка й міцна структура, що захищає клітину та підтримує її форму. У рослин основним компонентом клітинної стінки є **целюлоза**, у грибів — **хітин**. Молекули целюлози в клітинних стінках рослин утворюють волокна, які лежать кількома шарами під кутом один до одного (мал. 13.4). Клітинні стінки можуть містити речовину лігнін, який скріплює целюлозні волокна і ще більше їх зміцнює. Завдяки цьому рослини підтримують вертикальне положення стебел і можуть рости у висоту.

Людина з давніх-давен використовує целюлозні волокна рослин для виготовлення паперу, тканин, вати, мотузок, канатів тощо (мал. 13.5). У людини, як і в усіх ссавців, немає ферментів, здатних



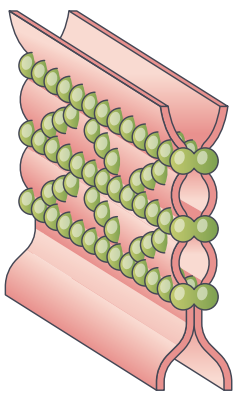
Мал. 13.3. Вірус SARS-CoV-2 прикріплюється до рецепторів клітин



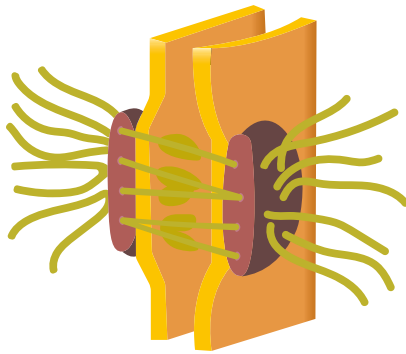
Мал. 13.4. Будова клітинної стінки рослинних клітин



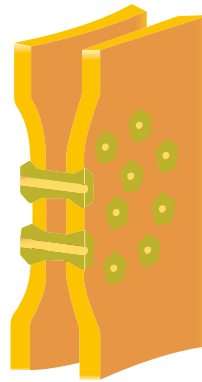
Мал. 13.5. Льон, папірус, бавовник — рослини, целюлозні волокна яких використовує людина



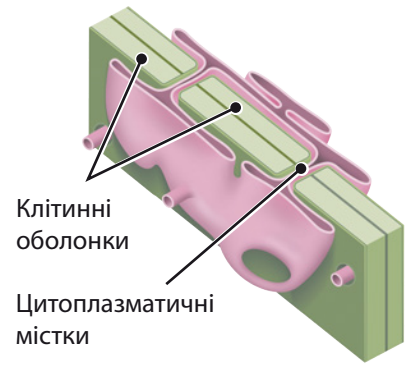
Щільні контакти



Десмосома



Щілинні контакти



Плазмодесми

Мал. 13.6. Міжклітинні контакти

розщеплювати целюлозу (якщо йдеться про склад їжі, харчові волокна рослин називають клітковиною), тому ми її не перетравлюємо. Водночас багато травоядних тварин мають у травному тракті бактерій-симбіонтів, які її розщеплюють.

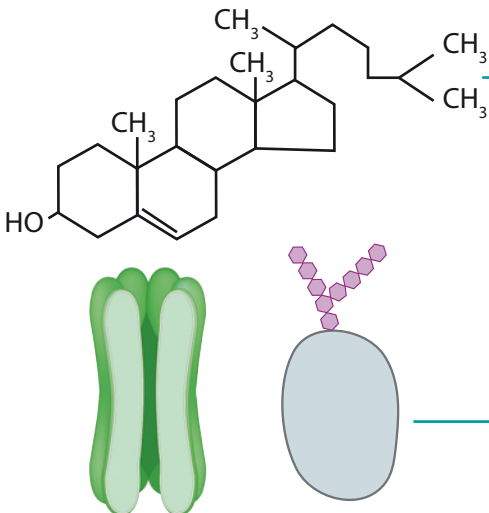
Міжклітинні контакти

Клітини контактують одна з одною, утворюючи тканини й органи. **Міжклітинні контакти** (мал. 13.6) допомагають клітинам триматися разом, обмінюватися речовинами й передавати сигнали.

Десмосоми міцно з'єднують клітини, і цей зв'язок не розривається під час розтягнення (епітелій шкіри, серцевий м'яз). Завдяки **щільним контактам** клітини дуже густо прилягають одна до одної, створюючи бар'єр: між ними не проходять вода та інші речовини (клітини епітелію кишки, сечового міхура). Крізь **щілинні контакти** клітини обмінюються іонами та маленькими молекулами — швидко передають міжклітинні сигнали (серцевий м'яз, нервова тканина). У рослинних клітин цитопlasма з'єднана через **плазмодесми** — цитоплазматичні містки, які дають змогу речовинам переміщуватися з однієї клітини в іншу.

Запитання і завдання

1. Яку позицію в мембрані займають структури, позначені на малюнку? Чим вони є за хімічною природою? Які функції можуть виконувати?
2. Якщо взяти морську губку й протерти її крізь сито у воду, то через деякий час її частинки знову зберуться в єдиний організм. Поміркуйте, завдяки чому відбуваються клітинне розпізнавання й об'єднання клітин.
3. Чим різняться зовнішні покриви тваринних і рослинних клітин? Який це має для них сенс?





rnk.com.ua/
112150

§ 14 Транспорт речовин крізь клітинну мембрану

Транспорт речовин крізь клітинні мембрани

Цитоплазматична мембрана клітини є бар'єром для переміщення речовин. Крізь неї не можуть переміщуватися великі молекули. Ба більше! Якщо молекули є полярними, то гідрофобний ліпідний бішар для них непроникний. Однак клітинам потрібно отримувати ззовні поживні речовини, виводити продукти обміну, секретувати речовини. Тому існує кілька механізмів транспорту крізь мембрану: це дифузія, осмос, активний транспорт і екзо- або ендоцитоз (схема 11). Перші два процеси є пасивними, тобто не потребують витрат енергії. Для здійснення інших необхідна енергія АТФ.



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Як працюють креми для обличчя? Які їхні компоненти всмоктуються, а які — ні? Як це відбувається на тканинному та клітинному рівнях?

ТРАНСМЕМБРАННИЙ ТРАНСПОРТ РЕЧОВИН

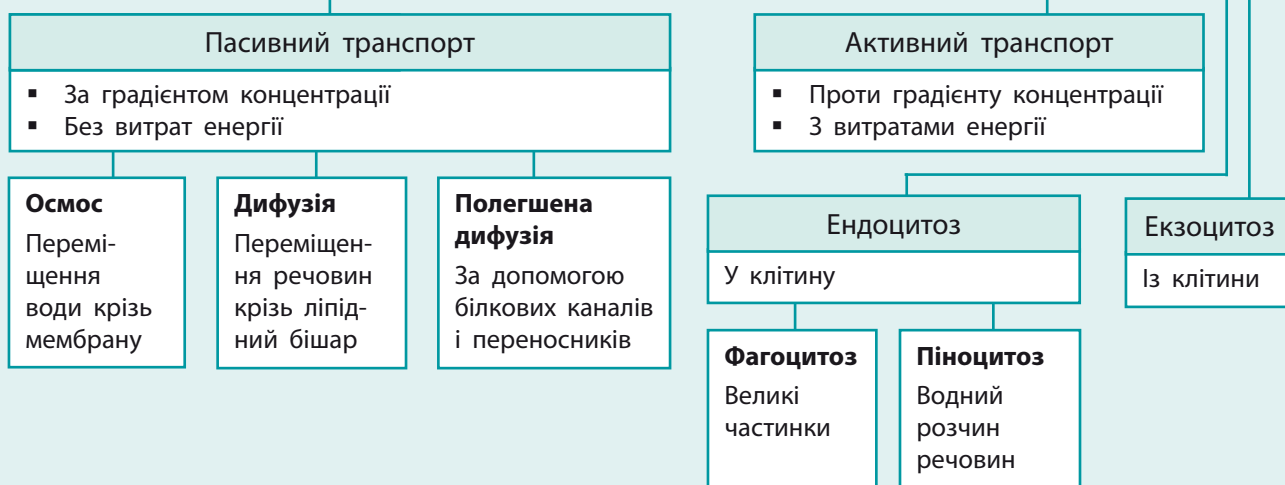
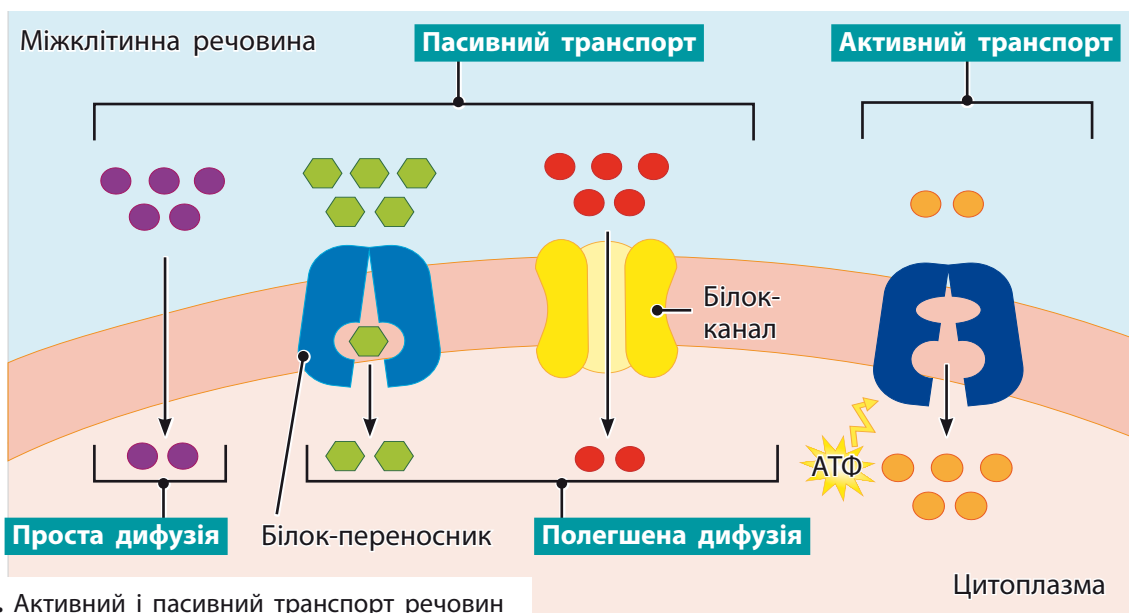


Схема 11. Транспорт речовин крізь цитоплазматичну мембрану

Дифузія за градієнтом — це довільне переміщення речовин із зони з високою концентрацією в зону з низькою концентрацією речовини.

Пасивний і активний транспорт

Пасивний транспорт речовин крізь клітинну мембрану відбувається шляхом дифузії та не потребує енергетичних витрат. Так переміщуються невеликі молекули та іони (мал. 14.1).

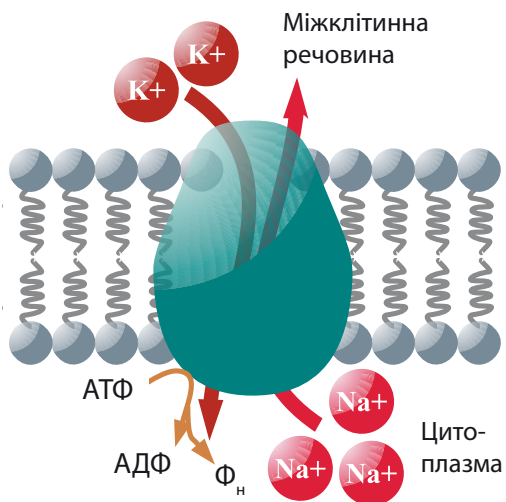


Мал. 14.1. Активний і пасивний транспорт речовин

Як саме це відбувається?

- Маленькі та / або неполярні молекули (O_2 , CO_2 , N_2 , ліпіди) проникають крізь ліпідний бішар. Таким шляхом, наприклад, кисень дифундує з легенів у кров, а карбон діоксид — у зворотному напрямку.
- Невеликі полярні молекули (вода, гліцерин, сечовина) та іони переміщуються крізь канали, утворені інтегральними білками. Наприклад, у мембранах клітин є аквапорини — канали для транспорту молекул води.
- Амінокислоти, цукри, багато іонів транспортуються білками-переносниками. Наприклад, білки-переносники глюкози забезпечують її поглинання всіма клітинами організму.

Активний транспорт речовин у клітину відрізняється від пасивного тим, що речовина переноситься проти градієнта концентрації, тобто із зони низької концентрації в зону вищої концентрації речовини. Цей процес складніший, ніж дифузія. Він потребує витрат енергії та здійснюється транспортними білками. Джерелом енергії є молекули АТФ. Найпоширенішим із транспортних білків є калій-натрієвий насос, який закачує в клітину іони K^+ і видаляє іони Na^+ (мал. 14.2).



Мал. 14.2. Калій-натрієвий насос



Анімація
«Калій-натрієвий
насос»
rnk.com.ua/112261

Ендо- та екзоцитоз

Ендо- та екзоцитоз — це способи транспортування речовин з утворенням мембранних пухирців (**везикул**). Так переносяться молекули великого розміру, частинки їжі, розчини речовин (мал. 14.3).

Ендоцитоз — це процес поглинання клітиною речовин іззовні. Плазматична мембрана вгинається й захоплює речовину, утворюючи везикулу. Везикула занурюється вглиб клітини, зливається з лізосоною, і її вміст перетравлюється. Крім поживних речовин, завдяки ендоцитозу клітина отримує сигнали з навколишнього середовища, коли поглинає гормони та інші молекули, що «вказують» їй, як діяти. Багато вірусів і бактерій використовують ендоцитоз, щоб проникати в клітини.

Ендоцитоз буває двох типів: **фагоцитоз** — поглинання великих частинок, і **піноцитоз** — поглинання рідини з розчиненими речовинами. Фагоцитоз доволі поширений в одноклітинних організмів. В організмі людини його здійснюють спеціалізовані клітини — **фагоцити** (багато лейкоцитів). Піноцитоз є основним шляхом для потрапляння всередину клітини великих молекул.

Екзоцитоз — це процес виведення речовин із клітини назовні. Везикули з речовинами рухаються до плазматичної мембрани й зливаються з нею, вивільняючи вміст у зовнішнє середовище або міжклітинний простір. Шляхом екзоцитозу клітини виводять неперетравлені залишки з травних вакуолей. Багато клітин шляхом екзоцитозу секретують слиз, гормони, ферменти. Наприклад, клітини підшлункової залози виділяють травні ферменти в протоки та гормони в кров, нейрони виділяють нейромедіатори в синаптичну щілину.



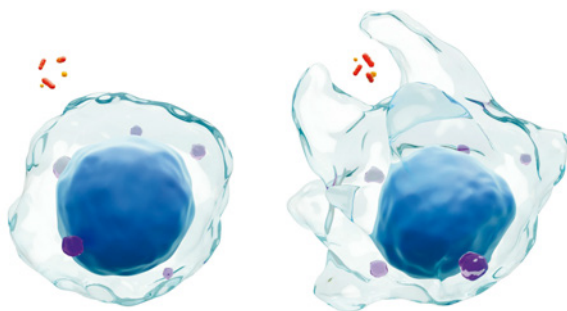
Робота в парі

1. Поясніть, яку роль відіграє екзоцитоз у передаванні нервового імпульсу.
2. Яке значення має ендоцитоз для імунного захисту організму?



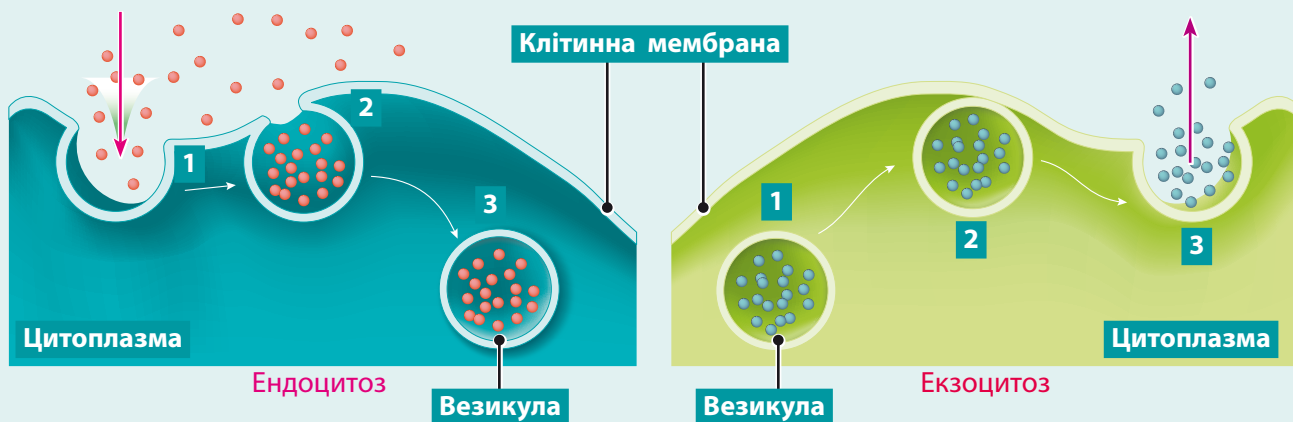
Поділіться своїми думками

Яке значення має ендоцитоз для імунного захисту організму?



Завдання

На роботу калій-натрієвого насоса клітина витрачає до 30 % своєї енергії! Чому ж калій-натрієвий насос такий важливий? Проаналізуйте табл. 4 на с. 60 і дайте відповідь на це запитання.



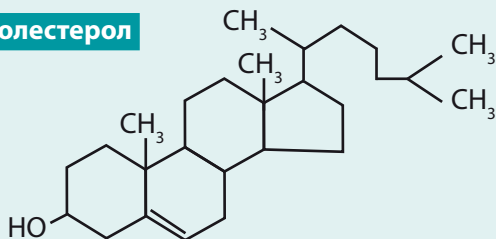
Мал. 14.3. Зображення ендоцитозу й екзоцитозу



Робота в групі

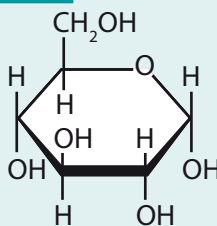
Розгляньте речовини. Визначте, за яким механізмом вони транспортуються крізь клітинні мембрани. Поясніть вашу відповідь.

Холестерол



а

Глюкоза



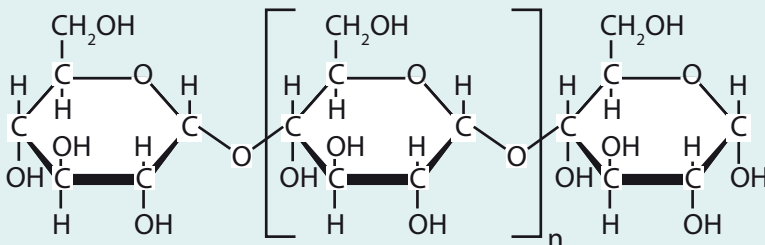
б

Серотонін



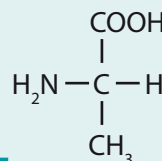
в

Крахмаль



г

Аланін



д

е Na^+

ж CO_2

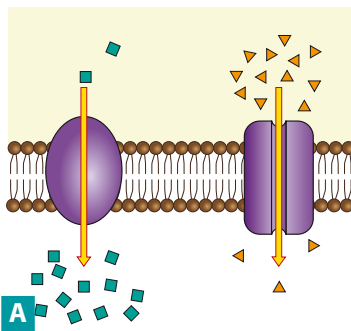
з H_2O



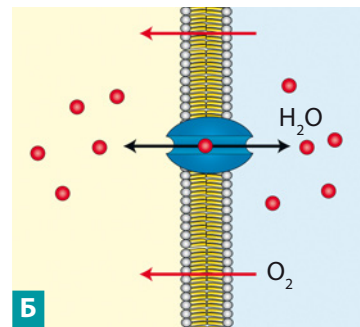
Запитання і завдання

- Які процеси зображені на кожному з малюнків? Чим вони принципово різняться?

Liposomes are used in modern cosmetics to help useful substances go deeper into the skin. They are made of phospholipids, like cell membranes. Because of this, liposomes can easily merge with skin cells. They deliver vitamins, hyaluronic acid, and antioxidants. It helps to moisturize the skin, slow down aging, and improves how the skin looks and feels.



А



Б

- Прочитайте й перекладіть текст. Пригадайте, що таке ліпосоми (див. параграф 4, мал. 4.3). Виконайте завдання.

- Чим ліпосома відрізняється від звичайної краплі води або олії?
- Чому шкіра краще вбирає креми з ліпосомами?
- Поміркуйте, що ще можна доправляти в клітини за допомогою ліпосом.
- Уявіть, що ви працюєте у сфері маркетингу. Придумайте короткий рекламний слоган для крему з ліпосомами, який пояснює, чому він такий ефективний.

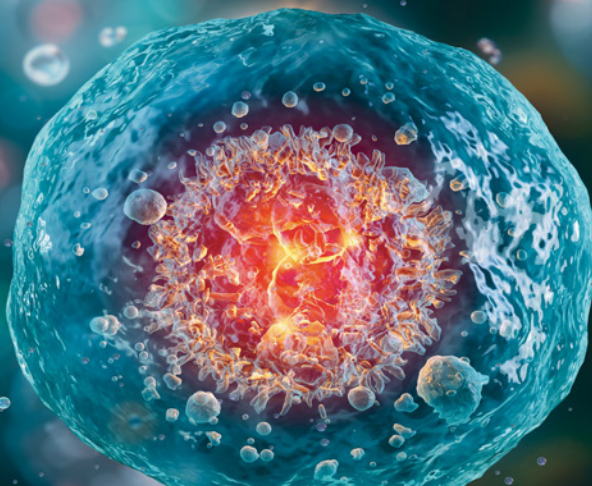


Опорні точки

Клітини мають кілька механізмів транспорту крізь мембрану: це дифузія, осмос, активний транспорт і екзо- або ендоцитоз.



rnk.com.ua/
112151



§ 15

Будова й функції ядра та одномембранних органел (ендоплазматична сітка, апарат Гольджі, лізосоми). Транспорт і виділення

Ядро, хромосоми, рибосоми

Ядро є центральною структурою клітини, її «командним центром» (мал. 15.1). Воно містить спадкову інформацію, контролює й регулює всі процеси в клітині. Ядро оточене двома мембранами, що утворюють **ядерну оболонку**. Ця оболонка з'єднується з ендоплазматичною сіткою. В ядерній оболонці є **ядерні пори** для проходження різних речовин.

Усередині ядра, у **нуклеоплазмі**, розташовані молекули ДНК, що містять інформацію про спадковість і функціонування клітини. Молекули ДНК утворюють комплекси з різними білками, які її «упаковують», захищають і регулюють її роботу. У звичайному стані ДНК з пов'язаними білками під мікроскопом на вигляд схожа на довгі



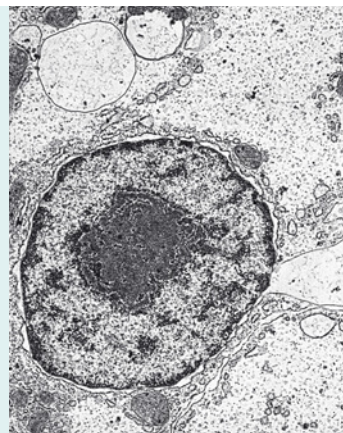
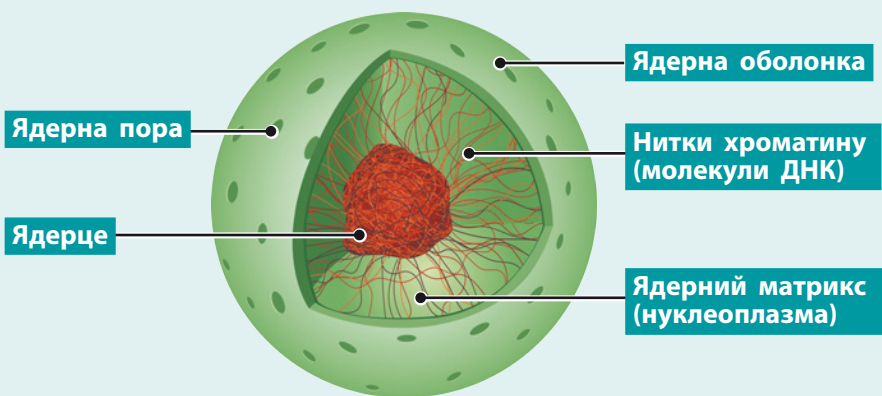
Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Мембрани всередині клітини формують ядерну оболонку, ендоплазматичну сітку, апарат Гольджі, лізосоми й вакуолі. Загальна площа внутрішніх мембран клітини може бути значно більшою, ніж площа її поверхні. Навіщо клітині так багато внутрішніх мембран?



Відкритий мікрофон

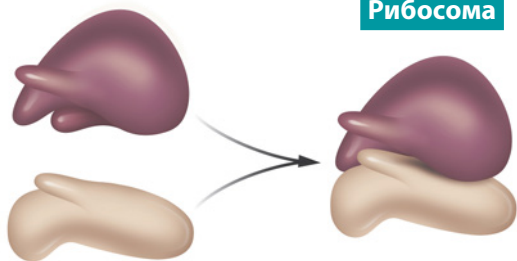
Як ви вважаєте, навіщо ядру потрібна власна оболонка?



Мал. 15.1. Клітинне ядро

Велика субодинаця

Рибосома



Мала субодинаця

Мал. 15.2. Кожна рибосома складається з великої й малої субодинаць

заплутані нитки, що називаються **хроматином**. Перед клітинним поділом ДНК упаковується в щільні паличкоподібні структури — **хромосоми**.

Під час розгляду в мікроскоп у ядрі помітна темніша ділянка, ніж решта хроматину. Це — **ядерце**, структура, де утворюються молекули рибосомної РНК, які з'єднуються з білками й формують субодинаці **рибосом**. Сформовані рибосомні субодинаці потім транспортуються крізь ядерні пори в цитоплазму.

Рибосоми відіграють ключову роль під час синтезу білків. Кожна рибосома складається з двох **субодинаць**: **великої** та **малої**. Субодинаці існують поодинокі, але під час синтезу білка вони об'єднуються разом (мал. 15.2). Рибосомні субодинаці утворені молекулами **рибосомної РНК**, у які вбудовані молекули **рибосомних білків**. Збираються рибосомні субодинаці в ядерці, а потім транспортуються в цитоплазму, де вони й працюють.

ФУНКЦІЇ ЕПС

Поділяє цитоплазму на окремі відсіки (компарменти, від англ. "compartment"), що просторово розділяє різні процеси в клітині

Синтезує білки, ліпіди, стероїди та інші речовини

Транспортує синтезовані речовини по клітині та до апарату Гольджі

Утворює мембрани для інших компонентів клітини: плазматичної мембрани, апарату Гольджі, лізосом, секреторних везикул і вакуолей

Схема 12. Функції ендоплазматичної сітки

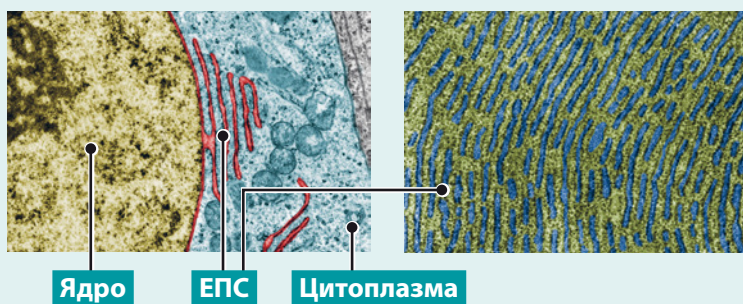
Ендоплазматична сітка

Ендоплазматична сітка (ЕПС) утворює в цитоплазмі складну мережу мембранних каналців, вакуолей і цистерн (мал. 15.3). Мембрани ЕПС пов'язані з ядерною та плазматичною мембранами. Порожнина ЕПС відокремлена від цитоплазми (схема 12).

Розрізняють два види ЕПС: **зернисту, або гранулярну**, до зовнішньої поверхні якої прикріплені рибосоми, і **гладку, або агранулярну**, без рибосом. На рибосомах зернистої ЕПС синтезуються мембранні й секреторні білки. Зерниста ЕПС особливо розвинена в клітинах, спеціалізованих для білкового синтезу, наприклад, у залозистих клітинах слинних і травних залоз.

Найважливішою функцією гладкої ЕПС є утворення клітинних мембран. Тут збирається ліпідний бішар, у який убудовуються мембранні білки. У мембрани гладкої ЕПС вбудовані ферменти

Мал. 15.3. Ендоплазматична сітка на мікрофотографіях



синтезу ліпідів і метаболізму вуглеводів. Гладка ЕПС добре розвинена в клітинах сальних залоз і в клітинах, що секретують стероїдні гормони. У клітинах печінки ферменти гладкої ЕПС виконують дуже важливу для всього організму роботу: розщеплюють і дезактивують токсичні речовини, які потрапили з їжею або є продуктами обміну речовин.

Апарат Гольджі

Апарат Гольджі — одномембранна органела, що накопичує, модифікує та секретує синтезовані в клітині речовини. Він складається зі стопок плоских мембранних цистерн, із якими асоційовані транспортні та секреторні везикули (мал. 15.4; схема 13). В апарат Гольджі потрапляють **транспортні везикули**, що відокремлюються від каналців ЕПС, які містять синтезовані білки та ліпіди. У цистернах апарату Гольджі до білків і ліпідів прикріплюються ланцюжки вуглеводів. Наприклад, так утворюються глікопротеїни і гліколіпіди глікокаліксу. Продукти, призначені для секреції, апарат Гольджі упаковує в **секреторні везикули**. Гідролітичні ферменти сортуються у везикули, що стають **лізосомами**.

ФУНКЦІЇ АПАРАТУ ГОЛЬДЖІ

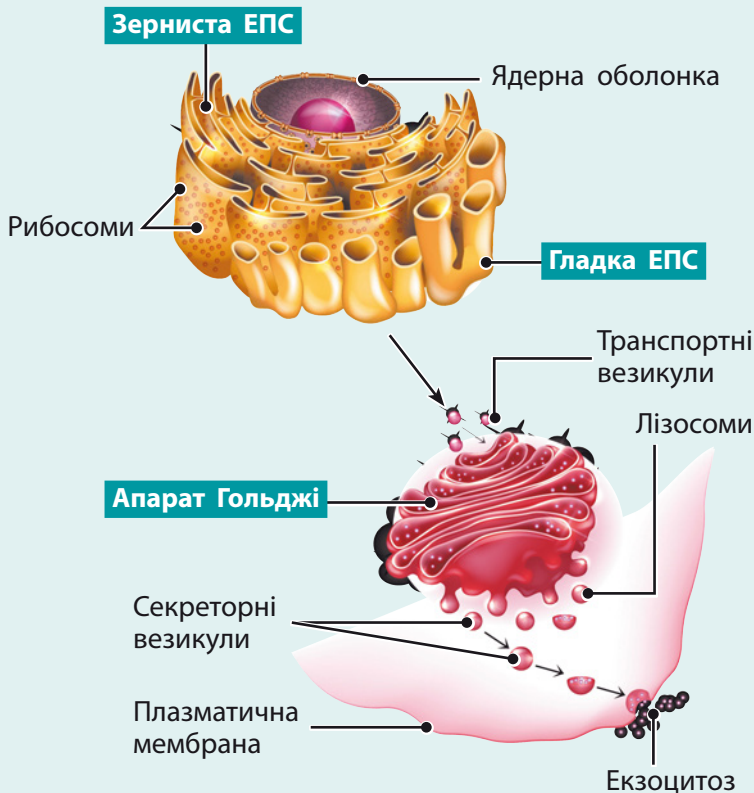
Накопичення та хімічна модифікація речовин, синтезованих в ЕПС

Синтез полісахаридів та утворення глікопротеїнів і гліколіпідів

Оновлення зовнішньої мембрани клітини — утворення везикул, що вбудовуються та стають частиною цитоплазматичної мембрани

Утворення первинних лізосом, секреторних везикул, виведення речовин із клітини

Схема 13. Функції апарату Гольджі



Робота в парі

Чи є в людини клітини без ядра? А клітини з кількома ядрами? Як це пов'язано з їхніми функціями?

Мал. 15.4. Мембранно-везикулярний транспорт речовин у клітині



Відкритий мікрофон

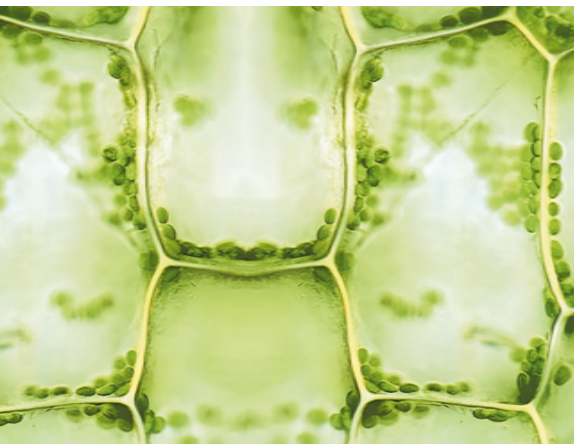
Якби ви побачили клітину з безліччю рибосом, що б ви припустили стосовно її функції?

■ **Довідка.** Площа мембран ЕПС у клітинах печінки (гепатоцитах) становить приблизно $60\,000\text{ мкм}^2$, що більш ніж у 35 разів перевищує площу плазматичної мембрани. Це дуже ефективно збільшує робочу поверхню ферментних систем.



Індивідуальна робота

Зернистої ЕПС немає в сперматозоїдах і зрілих еритроцитах. Поясніть, чому вона не обов'язкова для цих клітин. За потреби здійсніть пошукову роботу й знайдіть додаткову інформацію в науковій літературі.



Мал. 15.5. Хлоропласти, перенесені цитоплазматичним потоком у більш освітлені місця клітин

Транспорт і виділення речовин у клітині

Переміщення речовин або органел по цитозолу може відбуватися завдяки дифузії, але здебільшого речовини й органели рухаються разом із **цитоплазматичним потоком** (мал. 15.5).

Каналами ЕПС транспортуються синтезовані в ЕПС речовини. Це білки та ліпіди, призначені для секреції, побудови мембран або лізосом. Від ЕПС ці речовини потрапляють в апарат Гольджі в транспортних везикулах (мал. 15.4, с. 75).

Із цистерн апарату Гольджі утворюються **везикули**, наповнені речовинами. Апарат Гольджі прикріплює до синтезованих речовин вуглеводні «мітки», які показують, куди слід транспортувати продукти: у клітинні мембрани й органели чи секретувати назовні.

Везикули з речовинами переміщуються за участю спеціальних **моторних білків**. Вони рухають везикули в призначені місця, крокуючи мікротрубочками цитоскелета (мал. 12.3, с. 62).

Лізосоми. Внутрішньоклітинне травлення

Лізосоми є органелами, призначеними для внутрішньоклітинного травлення поживних речовин та продуктів обміну. Ці утворені апаратом Гольджі сферичні везикули наповнені **гідролітичними ферментами**, здатними розщеплювати біологічні макромолекули (мал. 15.6, 15.7).

Лізосоми зливаються з ендосомами (фагосомами, піносомами) і перетравлюють:

- частинки поживних речовин, захоплені клітиною;
- чужорідні частинки, наприклад, бактерії (фагоцитоз);
- старі й ушкоджені клітинні структури (аутофагія).

До того ж лізосоми ізолюють і видаляють неперетравлені речовини з клітини шляхом екзоцитозу.



Робота в групі

Користуючись мал. 15.6, опишіть, як відбуваються:

- засвоєння поживних речовин;
- захист від бактерій;
- аутофагія.

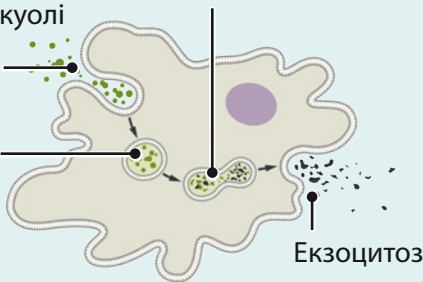
Злиття з лізосомою та утворення травної вакуолі

Піноцитоз

Ендосома

Екзоцитоз

а



Травна вакуоля

Екзоцитоз

Лізосома

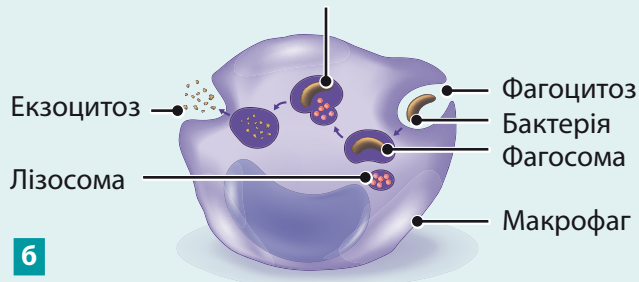
Фагоцитоз

Бактерія

Фагосома

Макрофаг

б



Мембрана

Аутофагосома

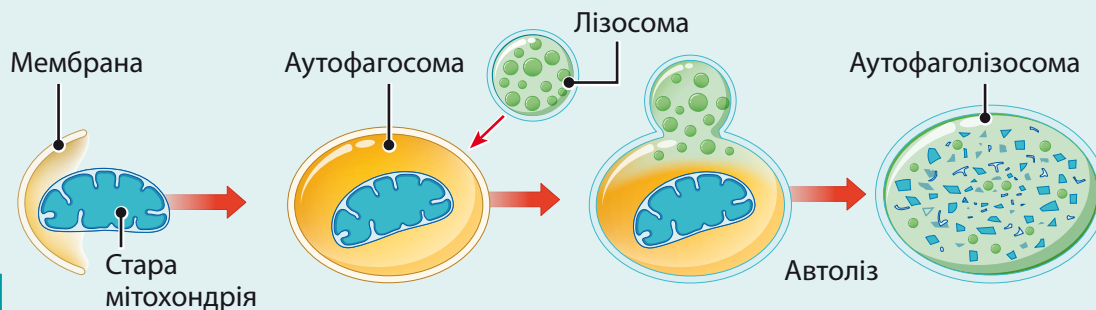
Лізосома

Аутофаголізосома

Стара мітохондрія

Автолиз

в



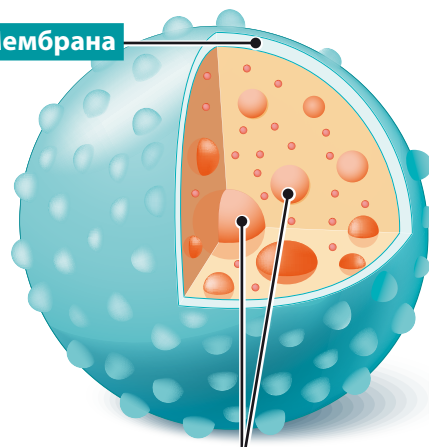
Мал. 15.6. Процеси, що відбуваються за участю лізосом:

- а) внутрішньоклітинне травлення (перетравлення поживних речовин, захоплених шляхом ендочитозу);
- б) фагоцитоз (поглинання й руйнування фагоцитами великих частинок, включно з бактеріями і старими клітинами, які необхідно видалити з організму);
- в) аутофагія (руйнування власних компонентів клітини: знищення застарілих або ушкоджених органел, реакція на голодування)

Лізосоми — це компоненти тваринних клітин. У рослин лізосом немає, але подібні до них функції виконують вакуолі.

Мембрана

Гідролітичні ферменти



Мал. 15.7. Будова лізосоми

Запитання і завдання

1. Чому червоні кров'яні тільця людини не містять ядра, а яйцеклітина має одне з найбільших ядер в організмі?
2. Опишіть шлях утворення в клітині глікопротеїдів і гліколіпідів глікокаліксу. Де і як у клітині відбуваються їхній синтез і транспортування? Намалюйте «біохімічний маршрут».
3. Логістика — це про те, як швидко, зручно й правильно щось доставити. Наприклад, товар від складу до клієнта. Клітина — це теж логістична система. У ній речовини створюються, сортуються, транспортуються. Опишіть, як у клітині відбувається «доставка» речовин. Що є виробництвом, логістичним хабом, кур'єрами, магістралями, пакунками й адресами?
4. Поясніть, чому лізосом особливо багато в клітинах імунної системи (макрофагах, нейтрофілах).

Опорні точки

Ядро містить спадкову інформацію й регулює всі процеси. Ендоплазматична сітка поділяє цитоплазму на компартменти, синтезує білки, ліпіди й мембрани, транспортує речовини. Апарат Гольджі накопичує, модифікує та секретує клітинні продукти. Лізосоми здійснюють внутрішньоклітинне травлення.



rnk.com.ua/
112152

§ 16

Осмос. Плазмоліз і деплазмоліз. Вакуолі



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Чому посолена їжа смачніша за несолену? Чому, якщо тонкі зрізи картоплі фрі занурити в розчин солі, вони стають меншими за довжиною?

Осмос

Уявімо мембрану, обабіч якої — розчини з різною концентрацією розчиненої речовини. Якби не було мембрани, молекули речовини переміщувалися б дифузією в зону нижчої концентрації (мал. 16.1а). Але мембрана є, і вона напівпроникна — пропускає молекули води, але не пропускає молекули речовини. За таких умов молекули води будуть рухатися в зону вищої концентрації речовини, щоб її розбавити (мал. 16.1б). Такий процес називається осмосом. Чим більша концентрація речовини, тим вищим є **осмотичний тиск**.

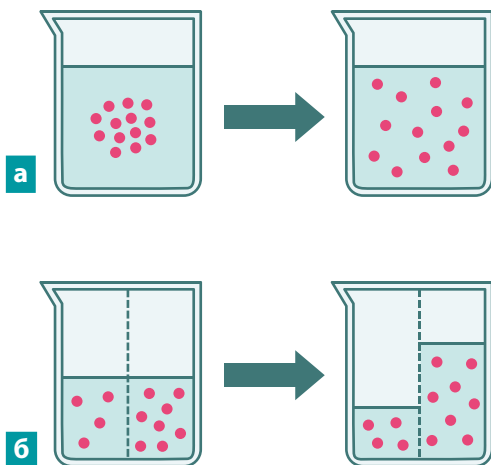
Осмос — це дифузія розчинника крізь напівпроникну мембрану в більш концентрований розчин.

Явище осмосу можна спостерігати в нашому щоденному житті.

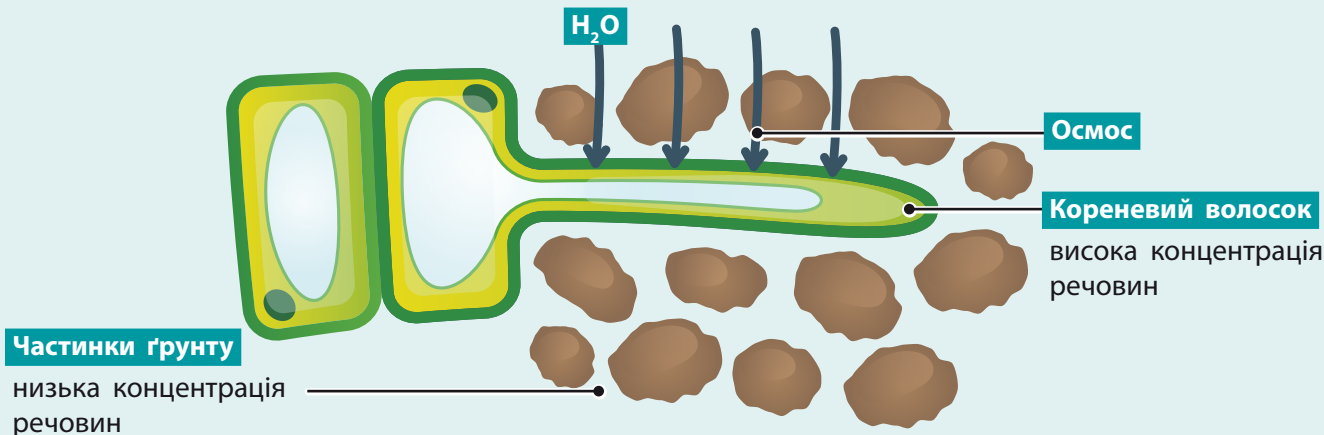
- Якщо покласти родзинки у воду, через деякий час вони набухнуть. Те саме відбувається, коли вариться компот із сухофруктів без додавання цукру.
- Якщо покласти шматочки картоплі в цукровий або солоний розчин, вони згодом стиснуться. Концентрація речовин у клітинах картоплі нижча, тож вода буде виходити з них у розчин.

Осмос є життєво важливим процесом, оскільки він регулює надходження води до клітин. Тиск, який виникає у внутрішньоклітинних структурах унаслідок осмосу, дістав назву **тургор**. Цей тиск надає клітинам пружності.

У рослин тургор визначає форму органів, стійкість і гнучкість стебел. Коли клітини випаровують



Мал. 16.1. Дифузія (а) і осмос (б)



Мал. 16.2. Клітини кореневої системи мають більш високу концентрацію речовин, ніж вода в ґрунті, тому вода з ґрунту надходить у корінь

багато води, вони втрачають пружність, тому рослина в'яне. Завдяки осмосу рослини поглинають воду з ґрунту (мал. 16.2). Осмос використовується для відкривання-закривання продихів (мал. 16.3).

У людини й хребетних тварин осмотичний тиск важливий для підтримання водно-сольового балансу в крові та тканинах. Осмос допомагає поглинати воду в травній системі: вода рухається з просвіту кишки в ентероцити пасивно, за осмотичним градієнтом. Нирки використовують осмотичні процеси для реабсорбції води під час утворення вторинної сечі.

Плазмоліз і деплазмоліз

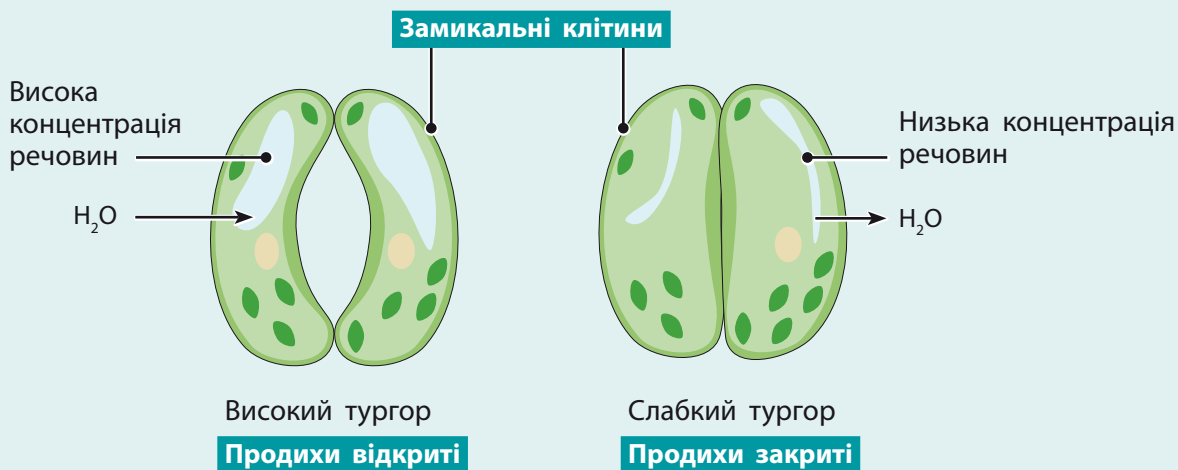
Що відбудеться, якщо живу клітину занурити в **гіпертонічний розчин** — концентрований розчин, осмотичний тиск якого більший, ніж у клітині?



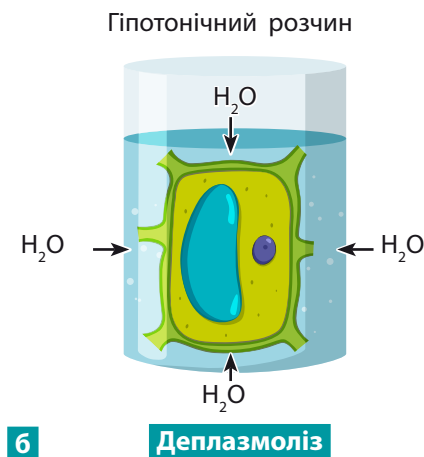
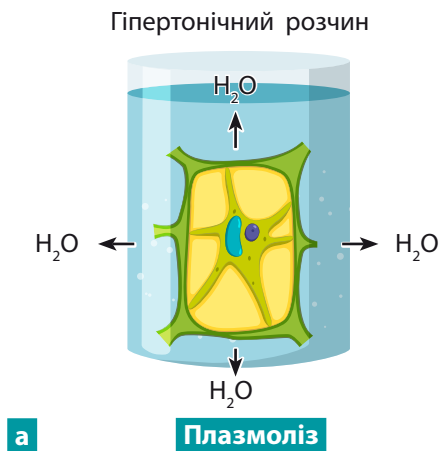
Робота в групі

Чому більшість рослин не можуть рости на засолених ґрунтах? Як ви вважаєте, як рослини-галофіти (рослини, пристосовані до зростання на ґрунтах із високим умістом легкорозчинних солей) пристосувались до життя на дуже засолених ґрунтах?

Розчини, що мають однаковий осмотичний тиск, називають **ізотонічними**, з меншим осмотичним тиском — **гіпотонічними**, а з більшим — **гіпертонічними**.



Мал. 16.3. Робота продихів регулюється осмотичним тиском у замикальних клітинах



Мал. 16.4. Плазмоліз (а)
і деплазмоліз (б)

Вода буде виходити з клітини, а сама клітина стискатиметься. У рослинних клітин **протопласт** відокремитися від клітинної стінки — такий процес називається **плазмолізом** (мал. 16.4а).

! **Плазмоліз** — відшарування протопласту клітини від оболонки під впливом гіпертонічного розчину.

Деплазмоліз — зворотний плазмолізу процес: повернення протопласту клітини у вихідний стан унаслідок надходження води.

Плазмоліз може бути оборотним. Якщо клітину помістити у воду або **гіпотонічний розчин**, вона повернеться у вихідний стан. Такий процес називається **деплазмолізом** (мал. 16.4б). Деплазмоліз дає змогу клітинам рослин повертатися до нормальної життєдіяльності після несприятливих умов.

А ось клітини тварин у гіпотонічних розчинах набрякають і руйнуються, бо в них немає жорсткої клітинної стінки. Тому тварини, які мешкають у прісних водоймах, мають механізми видалення зайвої води. А в мешканців морських водойм, навпаки, є пристосування, які перешкоджають утраті води клітиною.

Дослідження «Спостереження плазмолізу та деплазмолізу в клітинах рослин»

Вам знадобляться: червона салатна цибуля, лупа або мікроскоп, предметне та покривне скло, піпетка, 5–10 %-й розчин NaCl, дистильована або кип'ячена вода, ніж, пінцет, серветка.

1. Обережно зніміть тонкий шар шкірки з внутрішнього боку луски цибулі. Розмістіть його на предметному склі, накрийте покривним склом. Додайте краплину води. Розгляньте клітини під мікроскопом: цитопlasma щільно прилягає до стінки, мембрана не відшарована. Замалюйте, які на вигляд клітини в початковому стані.
2. **Плазмоліз.** Видаліть воду з препарату, промокнувши серветкою. Додайте 5–10 %-й сольовий розчин під покривне скло. Зачекайте 5–10 хвилин. Розгляньте в мікроскоп та замалюйте зміни.
3. **Деплазмоліз.** Видаліть сольовий розчин, промокнувши серветкою. Додайте краплину дистильованої води. За кілька хвилин знову погляньте в мікроскоп.
4. Дайте відповіді на запитання.
 - Чому в сольовому розчині цитопlasma відокремилася від стінки клітини?
 - Що сталося після додавання води? Чому?
 - Який вид транспорту речовин є основою цих змін?



Робота в групі

Чому овочі (наприклад, огірки) стають м'якими, якщо їх посипати сіллю? Куди подінеться вода з клітин огірка? Чому засолювання та зацукровування — способи консервування продуктів?



Відеодослідження
«Спостереження
плазмолізу
та деплазмолізу
в клітинах рослин»
rnk.com.ua/115149

- Чому форма клітини збереглася навіть після виходу води?
5. Сформулюйте стисло, що ви дізналися та зрозуміли із цього експерименту.
 6. Поділіться своїми висновками з однокласниками / однокласницями. Що у вас є спільного й відмінного стосовно висновків?

Вакуолі

Вакуолі — це мембранні органели, які є «універсальним складом» і осморегулятором клітини. Хоча вакуолі наявні в клітинах грибів, деяких протистів і тварин, найбільше значення вони мають у клітинах рослин, де можуть займати до 80–90 % об'єму цитоплазми (мал. 16.5).

Вакуоля рослинної клітини оточена **тонопластом** і наповнена **клітинним соком** — водним розчином з іонами, органічними кислотами, цукрами, амінокислотами, ферментами, пігментами та іншими речовинами (табл. 6, с. 82; схема 14).

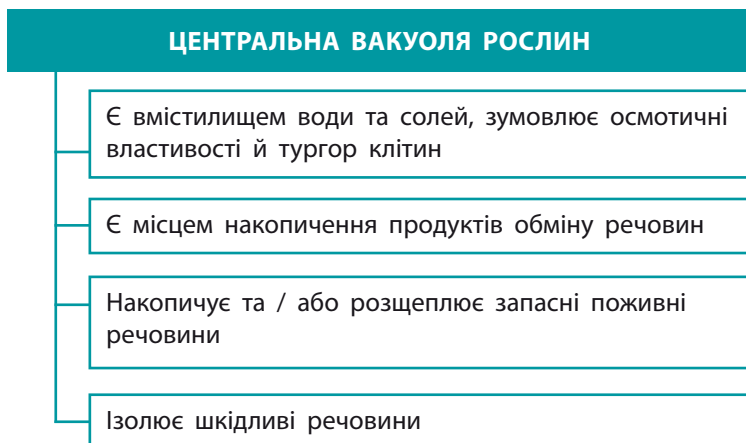
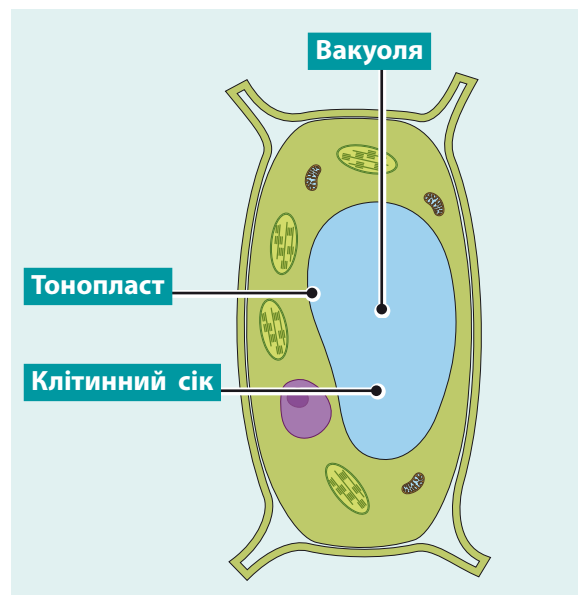
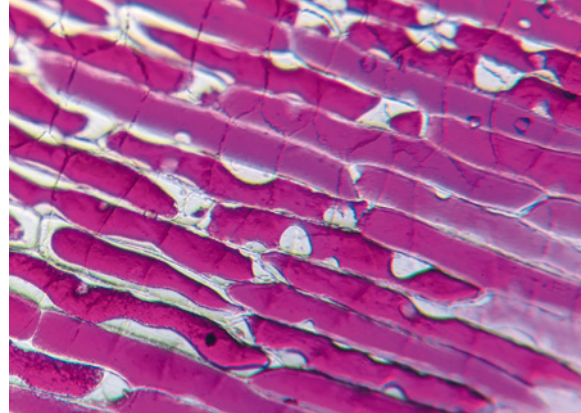


Схема 14. Центральна вакуоля рослин

Завдяки накопиченню йонів і осмотично активних речовин, у вакуолю надходить вода за принципом осмосу, створюючи в клітині **тургорний тиск**.

У вакуолях накопичуються запасні **поживні речовини**. Наприклад, сахароза у великій кількості накопичується в коренеплодах цукрового буряка й серцевині цукрової тростини. Глюкоза й фруктоза переважають у плодах. Вуглеводи, білки та ліпіди, накопичені у вакуолях, використовуються під час **проростання насіння**. Швидке розщеплення запасних речовин забезпечується **гідролітичними ферментами** вакуолей, подібними до тих, що є в лізосомах тваринних клітин.



Мал. 16.5. Центральна вакуоля рослинної клітини



Відкритий мікрофон

Розгляньте табл. 6 на с. 82. Які з речовин, що містяться в клітинній вакуолі, використовує людина? Наведіть конкретні приклади.



Робота в парі

Проведіть мінідослідження. Дізнайтеся, які речовини є у вакуолях кавових зерен і листків чаю.

Таблиця 6. Уміст клітинного соку

Компоненти	Процеси, які забезпечуються
Вода, іони Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , NO_3^- , SO_4^{2-}	Водно-сольовий баланс, осмос, тургор
Поживні речовини: вуглеводи, ліпіди, білки, органічні кислоти тощо	Проростання насіння, ріст і розвиток
Гідролітичні ферменти	Розщеплення поживних речовин
Пігменти-антоціани (червоні та сині), флавоноли та флавоноли (жовті)	Забарвлення пелюсток, листків і плодів, приваблення запилювачів і розповсюджувачів плодів, захист від ультрафіолету
Алкалоїди, глікозиди, фенольні сполуки, які є отруйними чи неприємними на смак (гіркі, в'язкі)	Захист від патогенів або травоядних тварин
Токсичні побічні продукти метаболізму, важкі метали, гербіциди тощо	Ізоляція токсичних речовин, запобігання їхньому впливу на клітину



Опорні точки

Осмос забезпечує надходження води до клітин. Вода заходить у клітину, що занурена в гіпотонічний розчин, і виходить із клітини, що перебуває в гіпертонічному розчині. Вакуолі рослинних клітин зумовлюють осмотичні властивості й тургор клітин, а також накопичують продукти обміну речовин і перетравлюють запасні поживні речовини.



Окрім поживних речовин, у клітинному соку вакуолей рослин можуть накопичуватися **пігменти** та інші речовини, зокрема, й токсичні.

У тварин вакуолі представлені травними вакуолями. У деяких найпростіших є скоротливі вакуолі, які видаляють надлишок води. У грибів вакуолі виконують функції, подібні до рослинних: осморегуляцію, зберігання й детоксикацію.

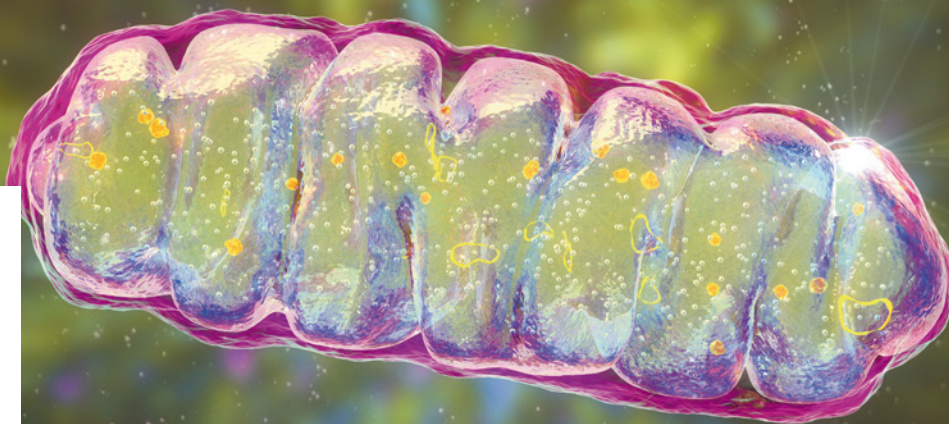


Запитання і завдання

1. Поясніть, що станеться з клітиною, якщо її помістити в розчин із концентрацією NaCl 10 %.
2. Чому, коли ставлять крапельниці в лікарнях, ліки для введення розчиняють не у воді, а у фізіологічному розчині?
3. Запропонуйте біотехнологічне використання вакуолей рослин у фармацевтичній або харчовій промисловості. Доберіть рослини, визначте їхні корисні речовини, створіть схему виробництва.
4. У рослинних клітинах центральна вакуоля є аналогом тваринних лізосом. Порівняйте лізосоми й вакуолі за будовою та функціями, створивши діаграму Венна.
5. У клітинному соку часто трапляються дубильні речовини — таніни. Вони надають в'язкого смаку. Особливо багаті на дубильні речовини клітини кори дуба, листків чаю, кавові боби. Дізнайтеся, навіщо ці речовини потрібні рослинам і як їх використовує людина.



rnk.com.ua/
112153



§ 17

Будова й функції двомембранних органел (мітохондрії та пластиди)

Мітохондрії

Мітохондрії називають «енергетичними станціями» клітини. У цих органелах синтезується більша частина необхідної АТФ. Зазвичай у клітинах людини містяться від 100 до 2000 мітохондрій, але їх може бути й більше залежно від енергетичних потреб клітини (табл. 7).

Таблиця 7. Кількість мітохондрій у деяких клітинах людини

Клітина	Кількість мітохондрій
Гепатоцит	1000–2000
Кардіоміоцит	До 5000
Яйцеклітина	300 000 – 1 500 000
Еритроцит	0

Мітохондрії виконують функції клітинного дихання, й для цього їм потрібен кисень. **Клітинне дихання** — це послідовність реакцій, за допомогою яких клітина використовує енергію від окиснення органічних молекул для синтезу АТФ.

Мітохондрія оточена двома мембранами: **зовнішньою** (пронизана порами, крізь які всередину потрапляють речовини) і **внутрішньою** (утворює глибокі складки — **кристи**, що суттєво збільшують площу її поверхні) (мал. 17.1, с. 84). Рідкий уміст мітохондрії називається **матриксом**.

У матриксі та на внутрішній мембрані розташовані ферменти, що забезпечують **синтез АТФ у реакціях клітинного дихання**. АТФ у мітохондріях синтезується під час повного окиснення органічних речовин за участю кисню.



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Уявіть, що в майбутньому люди почали створювати автономні мікророботи для подорожей тілом людини. Ці мікророботи мають самі виробляти собі енергію й навіть поживні речовини. Які «органи» їм знадобляться для цього?

Як ці функції забезпечує клітина, що існує вже мільярди років? Чи існують у самій клітині «електростанції» або «виробництва речовин»?



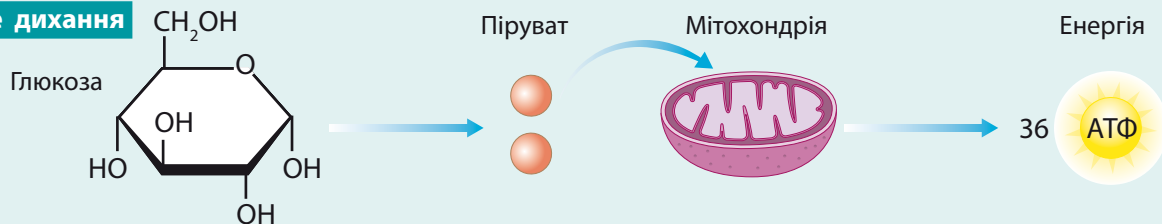
Анімація
«Мітохондрія»
rnk.com.ua/112262



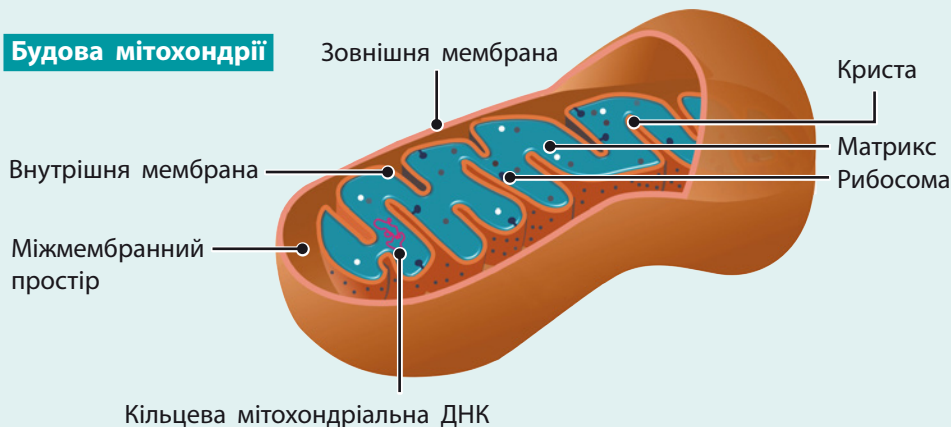
Індивідуальна робота

Проаналізуйте табл. 7 і поясніть, чим зумовлена кількість мітохондрій у різних клітинах.

Клітинне дихання



Будова мітохондрії



Мікрофотографія



Мал. 17.1. Будова і функції мітохондрії

Довідка. Уважається, що 1,8 млрд років тому, на початку ендосимбіотичних взаємодій, предки мітохондрій не постачали клітині-хазяїну АТФ, як сучасні мітохондрії, а знешкоджували кисень. Тоді кисень лишень починав з'являтися в давній атмосфері й був дуже сильним токсином.

У мітохондріальному матриксі є **рибосоми** і власні **мітохондріальні молекули ДНК** — маленькі й замкнені в кільце, як у бактерій. Тобто мітохондрії мають власний генетичний матеріал і синтезують свої білки! Ба більше, мітохондрії діляться всередині клітини подібно до того, як це роблять бактерії. Ріст і поділ мітохондрій відбуваються, коли клітина потребує багато енергії.

Мітохондрія синтезує приблизно 1 % власних білків, а решту білків імпортує із цитоплазми. Тому мітохондрію називають **напівавтономною** органелою — вона частково себе забезпечує, але все ж є залежною від клітини.

Ендосимбіотичне походження мітохондрій

Те, що мітохондрії мають власні ДНК й рибосоми, діляться й нагадують бактерій, дало змогу вченим зрозуміти, що ці органели колись були окремими організмами. Вільноживучих предків мітохондрій поглинула більш велика еукаріотична клітина, однак чомусь їх не перетравила, а використала для власних потреб. Водночас клітина-хазяїн постачала поживні речовини й надавала захист. Згодом симбіотичні взаємодії ставали тіснішими, мітохондрії поступово втрачали свою автономність і зрештою перетворилися на органели сучасних клітин. Ця теорія називається **ендосимбіотичною теорією** (від «ендо» — «внутрішній») походження мітохондрій.

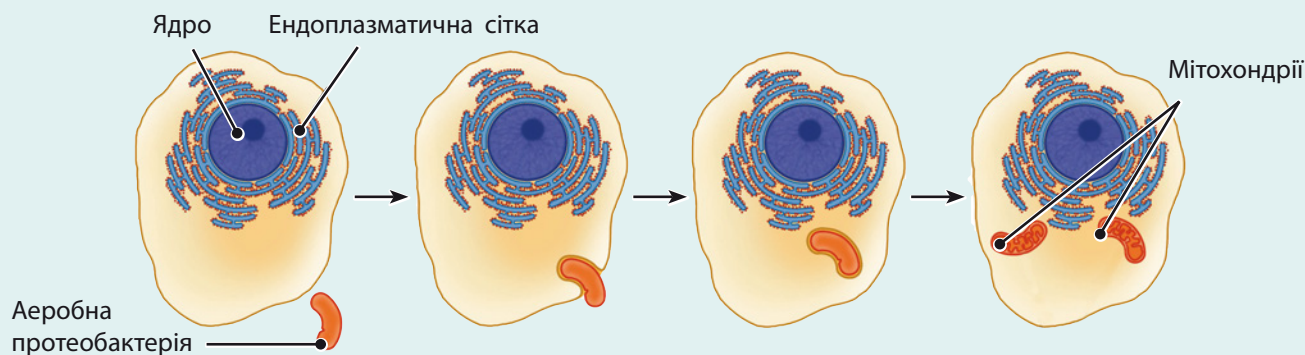


Робота в парі

Уявіть, що ви — дослідниці / дослідники, які вивчають клітину. Ви маєте протилежні погляди щодо теорії ендосимбіогенезу (мал. 17.2). Наведіть свої аргументи за й проти ендосимбіотичного походження мітохондрій.

Рання анаеробна евкаріотична клітина

Аеробна евкаріотична клітина



Мал. 17.2. Ендосимбіотичне походження мітохондрій

Які саме організми були предками мітохондрій? Чи існують вони досі? Щоб з'ясувати це, вчені порівняли ДНК мітохондрій із ДНК різних організмів. І з'ясувалося, що в мітохондрій є багато «родичів» із-поміж сучасних альфа-протеобактерій. Із них найближчими до мітохондрій виявилися рикетсії — внутрішньоклітинні паразити. Вони живуть лише всередині клітин і є причиною тяжких інфекційних хвороб, як-от: висипний тиф і плямиста лихоманка.

Пластиди

Пластиди є лише в клітинах рослин і деяких водоростей. Ці органели беруть участь у важливих функціях: фотосинтезі, синтезі різних речовин і наданні кольору окремим частинам рослин.

Існує три основні типи пластид: хлоропласти, хромопласти і лейкопласти (схема 15). Вони здатні перетворюватися одна на одну.



Відкритий мікрофон

Зважаючи на сучасних рикетсій, на вашу думку, які властивості були притаманні предкам мітохондрій? Що зробило ендосимбіоз можливим?

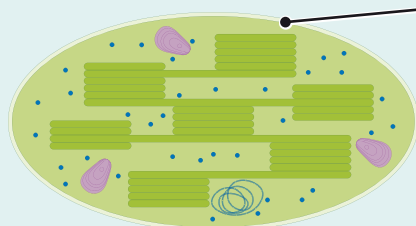


Робота в парі

Як змінюються пластиди під час дозрівання плодів (наприклад, у томатів)?

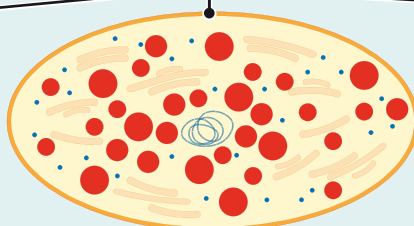
Пропластиди

Попередники пластид



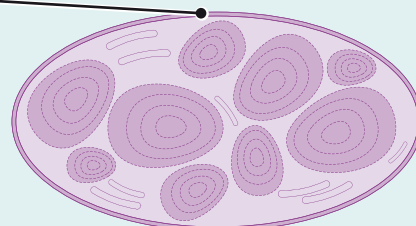
Хлоропласти

Зелені пластиди, що містять хлорофіл. Здійснюють фотосинтез



Хромопласти

Містять каротиноїди та інші пігменти, що надають рослинам жовтого, оранжевого або червоного кольорів



Лейкопласти

Безбарвні пластиди. Зберігають запасні речовини: крохмаль, жири та білки. Містяться в коренях, бульбах і насінні

Схема 15. Коротко про пластиди



Відеодослідження
«Вивчення
мікроскопічної
будови
зеленого перцю
(хлоропласти),
червоного перцю
чи помідорів
(хромопласти)»
rnk.com.ua/
115150

Дослідження «Вивчення мікроскопічної будови зеленого перцю (хлоропласти), червоного перцю чи томатів (хромопласти) та картоплі (забарвлення йодом крохмальних зерен)»

Вам знадобляться: мікроскоп, предметні та покривні скельця, лупа, лезо або скальпель, пінцет, піпетка, серветки, вода, розчин йоду, шматочки зеленого перцю, червоного перцю або помідора, картоплі.

Вивчення хлоропластів. Відріжте тоненьку прозору шкірку з внутрішнього боку зеленого перцю. Покладіть її на предметне скло, додайте краплю води, накрийте покривним скельцем. Розгляньте під мікроскопом, зверніть увагу на зелені овальні тільця в цитоплазмі — це хлоропласти.

Вивчення хромопластів. Аналогічно приготуйте препарат із червоного перцю або томата. Під мікроскопом розгляньте червоні або жовто-оранжеві зерна — це хромопласти, які містять каротиноїди.

Виявлення крохмалю в картоплі. Зробіть дуже тонкий зріз (або шкребок) сирої картоплі та покладіть його на предметне скло. Додайте краплю розчину йоду, накрийте покривним скельцем. Розгляньте під мікроскопом сині крохмальні зерна в лейкопластах.

Зробіть висновок. Про що ви дізналися? Які типи пластид побачили? Як їх розрізнити?

Хлоропласти

Хлоропласти є пластидами рослин і водоростей, які здійснюють фотосинтез (мал. 17.3) за участю **хлорофілу**. Ці органели оточені двома мембранами: зовнішньою і внутрішньою, між якими є **міжмембранний простір**. Внутрішній рідкий уміст хлоропласта — **строма** — містить молекули власної ДНК хлоропластів, РНК і рибосоми.

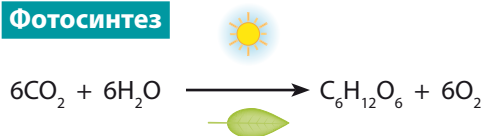
Внутрішня мембрана утворює в стромі мембранні структури — **тилакоїди**, згруповані в стопки — **грані**. Грані поєднуються за допомогою **ламел**. На мембранах тилакоїдів розташовані **фотосистеми I і II** — білкові комплекси, які вловлюють сонячну енергію й перетворюють її на енергію



Робота в парі

Розгляньте малюнок 17.1 на с. 84. Чому внутрішня мембрана мітохондрії утворює складки? Що це може дати клітині з точки зору ефективності?

Фотосинтез

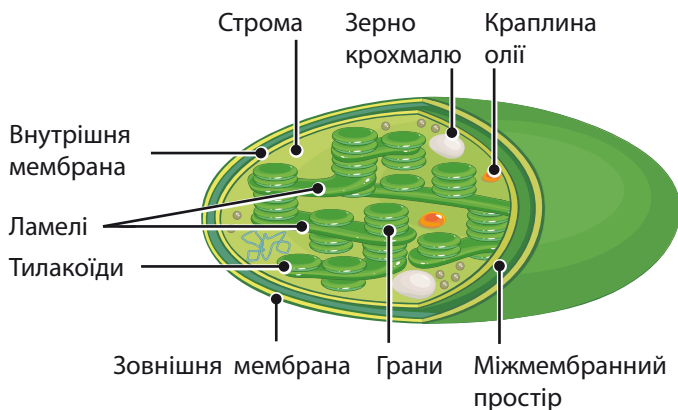


Мікрофотографія хлоропласта



Мал. 17.3. Будова і функції хлоропласта

Будова хлоропласта





Українські жінки в сучасній науці



Світлана Борисівна Арбузова — українська дослідниця в галузі медичної генетики, член-кореспондентка Національної академії медичних наук України, професорка, заслужена лікарка України. Вивчає проблеми медичної генетики, спадкових захворювань і їхньої пренатальної діагностики; дослідила роль мітохондріальної ДНК в етіології хромосомних анеупloidій, зокрема, синдрому Дауна; описала нові мутації в мітохондріальному геномі людини.

АТФ. У стромі є ферменти, що використовують енергію АТФ для синтезу вуглеводів. Надлишок вуглеводів, які утворюються в процесі фотосинтезу, запасується у вигляді **крохмальних зерен**.

Ендосимбіотичне походження хлоропластів

Як і мітохондрії, хлоропласти мають власну ДНК і білоксинтезувальний апарат, діляться всередині клітини і є залежними від ядра, де кодується більшість їхніх білків. Як і мітохондрії, хлоропласти мають ендосимбіотичне походження. Порівняння ДНК хлоропластів з іншими видами продемонструвало, що вони походять від давніх ціанобактерій, які були здатні до кисневого фотосинтезу. Приблизно 1,3–1,5 млрд років тому вони оселились в еукаріотичних клітинах, де вже були мітохондрії.



Робота в парі

Що є спільного в будові, функціях, походженні мітохондрій і хлоропластів?



Запитання і завдання

1. Поясніть, навіщо клітині потрібні мітохондрії. Чому мітохондрії називають напівавтономними органелами?
2. Розгляньте малюнок будови хлоропласта (мал. 17.3). Чому його внутрішня мембрана утворює складні структури? Чи сприяє це ефективності фотосинтезу?
3. Що й чому відбулось із бульбою картоплі? Поясніть на клітинному рівні.
4. Що навело дослідників на думку, що хлоропласти — це колишні бактерії, поглинені великою клітиною?
5. Поміркуйте, якого типу симбіотичні взаємодії могли б виникнути між попередниками хлоропластів і клітиною-хазяїном. Яку користь міг мати кожен із симбіонтів?



Опорні точки

Мітохондрії й пластиди мають ендосимбіотичне походження. Мітохондрії синтезують більшість клітинної АТФ. Хлоропласти здійснюють фотосинтез. Хромопласти надають забарвлення частинам рослин. Лейкопласти синтезують і зберігають різні речовини.



rnk.com.ua/
112154

§ 18

Прокаріоти й еукаріоти. Порівняння рослинної і тваринної клітин



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Життя на Землі почалося з дуже простих організмів. Багато з них живуть поруч із нами й сьогодні: у ґрунті, воді, повітрі та навіть у нас самих.

Як ви вважаєте, чи можуть такі прості істоти, як бактерії, здійснювати життєві процеси так само, як складні клітини організму людини? Чому примітивні бактерії досі існують, хоча є клітини набагато складніші й прогресивніші?



Завдання

Діаметр прокаріотичної клітини становить 0,5–5 мкм, еукаріотичної — 10–100 мкм. Обчисліть приблизні об'єми клітин прокаріотів і еукаріотів, припускаючи, що вони мають сферичну форму (використайте формулу $V = 4/3 \pi r^3$). З'ясуйте, у скільки разів об'єм клітини еукаріотів більший, ніж у прокаріотів.

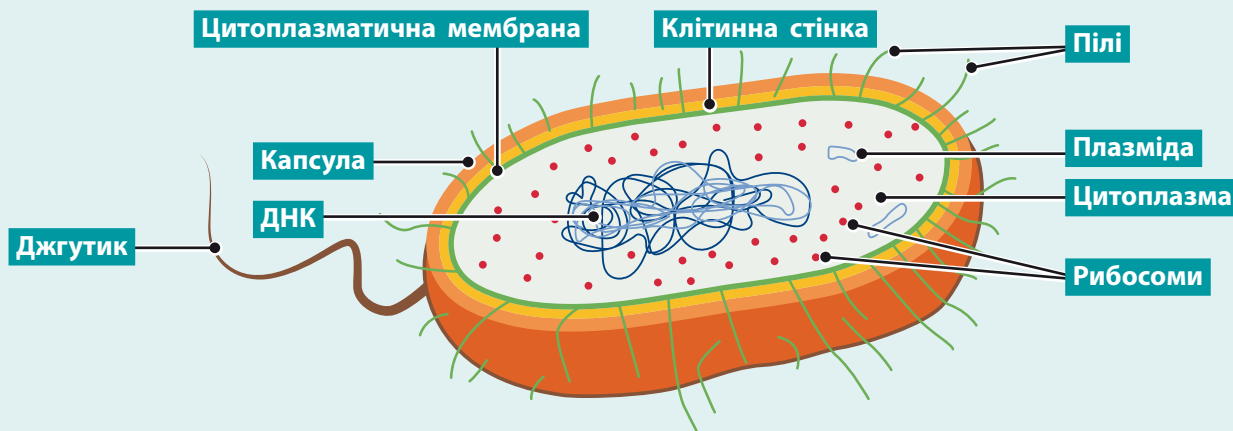
Прокаріоти й еукаріоти. Порівняння будови клітин прокаріотів і еукаріотів

Ми вже знаємо особливості клітин тварин і рослин. Але від них обох суттєво відрізняються клітини бактерій, і головна відмінність полягає в наявності ядра. За цією ознакою клітини поділяють на **прокаріотичні** — без'ядерні, й **еукаріотичні** — з ядром. До прокаріотів належать бактерії та археї, до еукаріотів — тварини, рослини, гриби і протисти.

- ! **Прокаріоти** — організми, клітини яких не мають ядра.
- **Еукаріоти** — організми, у клітинах яких є ядро.

Прокаріотичні клітини є однією з перших форм життя на Землі (мал. 18.1, 18.2). Вони менші за розміром і простіші за будовою, ніж клітини еукаріотів. У прокаріотів є лише одна «хромосома» — невелика молекула ДНК, замкнена в кільце. **Кільцева ДНК** бактерій розташовується просто в цитоплазмі й не оточена ядерною мембраною. Ділянка цитоплазми, де вона міститься, називається **нуклеоїдом**.

У прокаріотів немає мембранних органел: ЕПС, апарату Гольджі, лізосом. У прокаріотичних клітин немає мітохондрій і пластид, які з'явилися в еукаріотів шляхом ендосимбіозу. Усі процеси, що забезпечуються мембранними ферментами, відбуваються на плазматичній мембрані. У ціанобактерій, на відміну від інших бактерій, є мембранні структури (тилакоїди), де відбувається фотосинтез.



Мал. 18.1. Будова бактеріальної клітини

У бактерій є рибосоми, які працюють за тим самим принципом, що й рибосоми еукаріотів, але менші від них за розміром. Клітини бактерій мають клітинну стінку з **муреїну**, а не із целюлози, як у рослин. У частини бактерій є додатковий захисний шар слизу — капсула. Бактерії здебільшого живуть у вологому середовищі, тож переміщуються вони за допомогою джгутиків. Але джгутики бактерій улаштовані інакше, ніж джгутики еукаріотів.

Еукаріотичні клітини набагато більші за прокаріотичні. Зазвичай вони містять одне ядро, але є і багатоядерні (наприклад, інфузорії, клітини печінки й посмугованих м'язів людини).

Еукаріотичні клітини мають набагато більше ДНК. По-перше, їхня будова й функції складніші, і це потребує більше генетичного матеріалу, де закодовані робочі «інструкції». По-друге, багатоклітинний організм — це комплекс різних спеціалізованих клітин (міоцитів, остеоцитів, нейронів тощо), й «інструкції» для всіх спеціалізацій містяться в кожній із клітин.



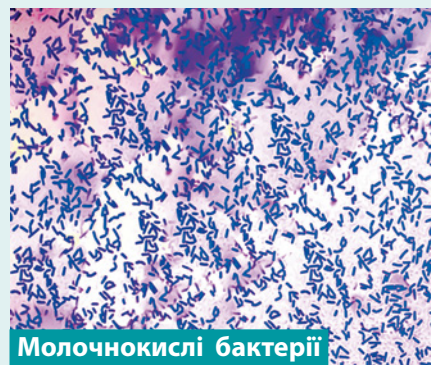
Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Порівняйте будову прокаріотичної та еукаріотичної клітин. Складіть діаграму Венна. Спробуйте визначити, які структури прокаріотичної клітини виконують функції кожної з органел клітини еукаріотів (там, де це можливо).



Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

Про що свідчить подібність клітин прокаріотів та еукаріотів?



Мал. 18.2. Приклади бактерій



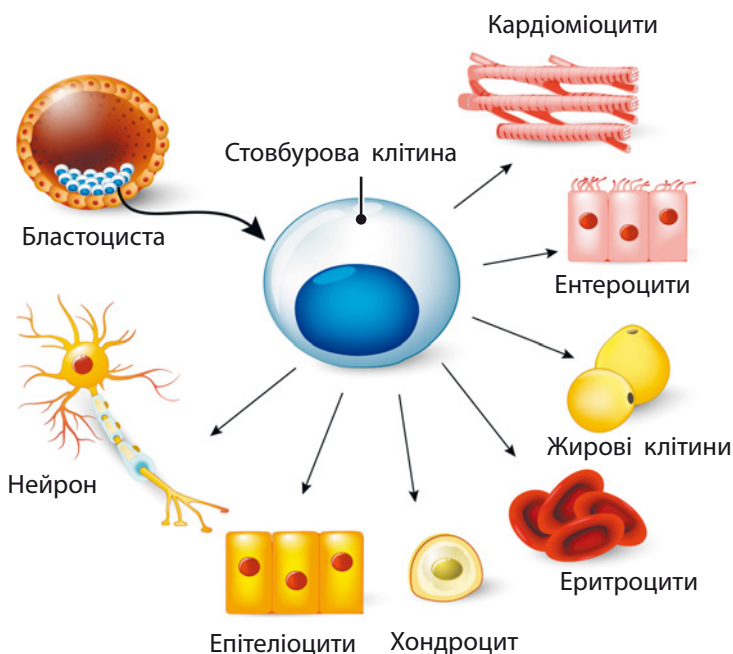
Відкритий мікрофон

Прокаріотичні клітини виникли приблизно 3,5 млрд років тому, орієнтовно 1,2 млрд років тому з'явилися еукаріотичні клітини. В еволюції еукаріотів важливу роль відіграв ендосимбіогенез.

Які структури еукаріотичної клітини виникли таким шляхом?

Клітини здебільшого спеціалізуються ще в ембріогенезі, у дорослому організмі вони не можуть змінити своєї форми та функцій. Але є клітини, здатні ділитися й перетворюватися на різні типи клітин, це **стовбурові клітини** (мал. 18.3). Наприклад, зі стовбурових клітин червоного кісткового мозку утворюються всі клітини крові.

Стовбурові клітини можна культивувати й використовувати в медицині, наприклад, для вирощування шкіри, загоювання ран та регенерації тканин і органів. Такий підхід називається клітинною терапією.



Мал. 18.3. Шляхи спеціалізації (диференціації) стовбурових клітин у різні клітини організму



Поділіться своїми думками

Поміркуйте, як стовбурові клітини можуть використовуватися в медицині. Наведіть приклади.



Анімація
«Прокаріоти»
rnk.com.ua/112429

Проектна робота

Створіть коротку презентацію або постер з ілюстраціями, схемами та прикладами за темою (на вибір).

1. «Штучні клітини та їхнє використання».

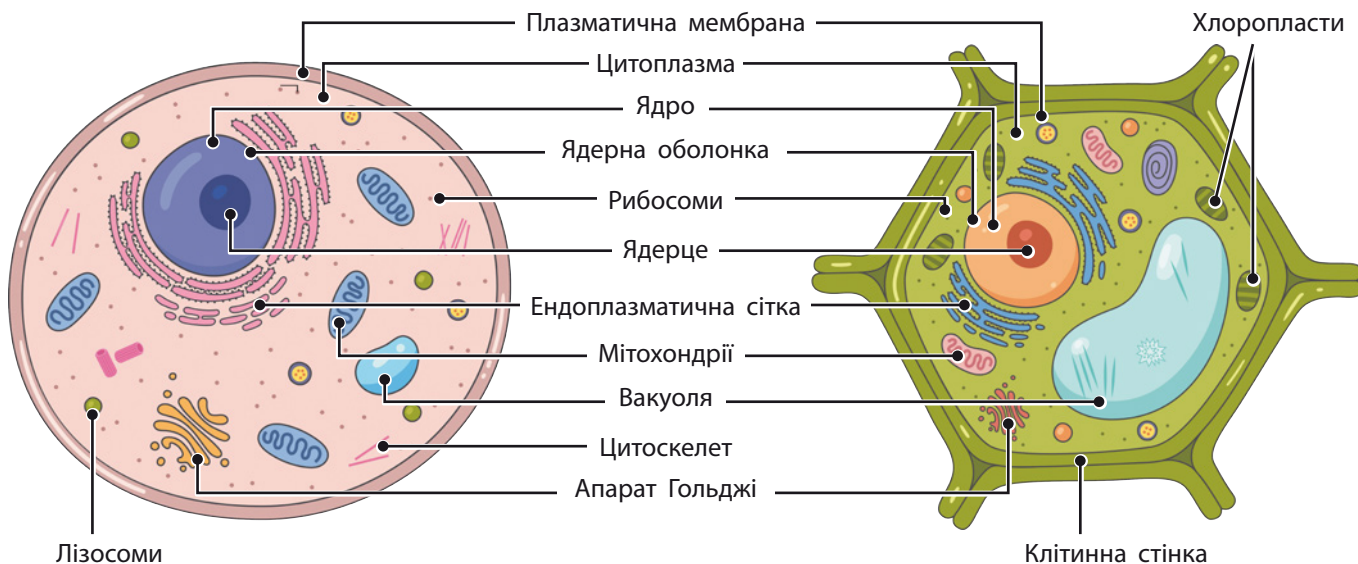
Акценти. Що таке штучні клітини? Як їх створюють і як застосовують у медицині й біотехнології (наприклад, транспортування ліків, сенсори, синтез вітамінів, гормонів)? Які переваги й обмеження має використання штучних клітин?

2. «Стовбурові клітини та клітинна терапія».

Акценти. Що таке стовбурові клітини? Які їхні основні типи (ембріональні, дорослого організму, індуковані), як їх культивують? Практичні приклади клітинної терапії в медицині (наприклад, лікування лейкемії, опіків; відновлення тканин). Етичні питання, пов'язані з використанням стовбурових клітин. Перспективи для медицини майбутнього.

Тваринна клітина

Рослинна клітина



Мал. 18.4. Порівняння будови рослинної й тваринної клітин

Порівняння рослинної й тваринної клітин

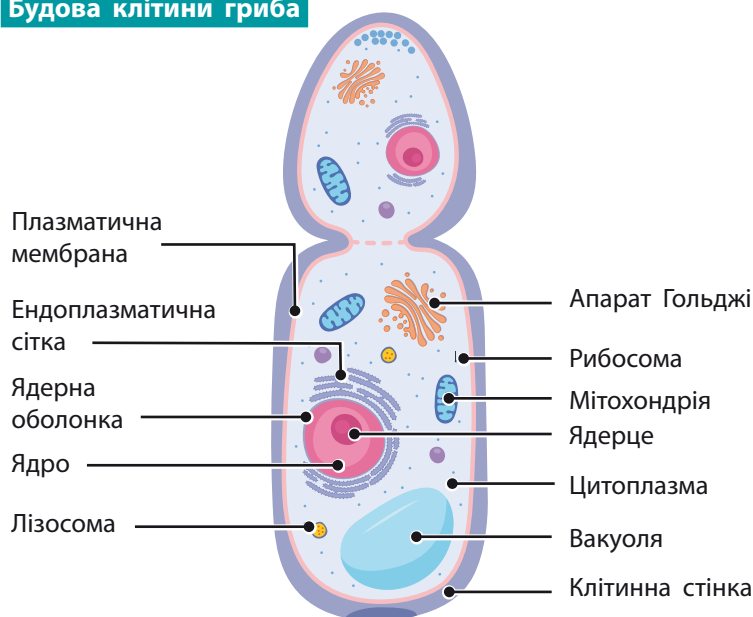
Евкаріотичні клітини рослин і тварин мають низку відмінностей, і ви вже знаєте, що набір органел у них не однаковий (мал. 18.4). Головною й принциповою різницею між ними є те, що рослинні клітини мають пластиди, а тваринні — ні. Власне, саме наявність пластид робить клітину рослинною. Рослинні клітини є фототрофами,



Робота в групі

Порівняйте будову тваринної та рослинної клітин (мал. 18.4), склавши діаграму Венна.

Будова клітини гриба



Робота в парі

Раніше гриби належали до царства Рослини, ґрунтуючись на їхньому способі життя. Потім з'ясувалося, що в них багато рис царства Тварини. А зараз виділяють окреме царство — Гриби.

Проаналізуйте будову клітини гриба й висловіться стосовно того, як усе-таки їх слід класифікувати. Обґрунтуйте свій висновок.



Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

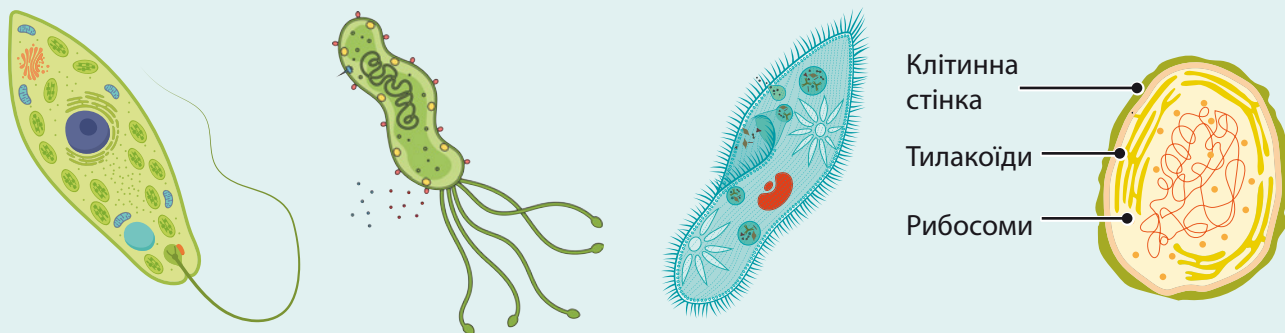
Про що свідчить подібність клітин усіх еукаріотів?

а тваринні клітини — гетеротрофи, тому їхня будова має певні особливості. Рослинні клітини відрізняються наявністю великої центральної вакуолі й клітинної стінки. А в більшості тваринних клітин є лізосоми, глікокалікс і клітинний центр.

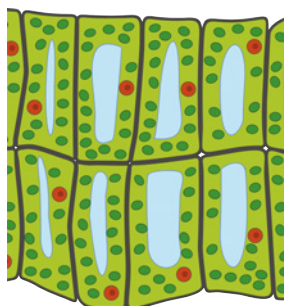
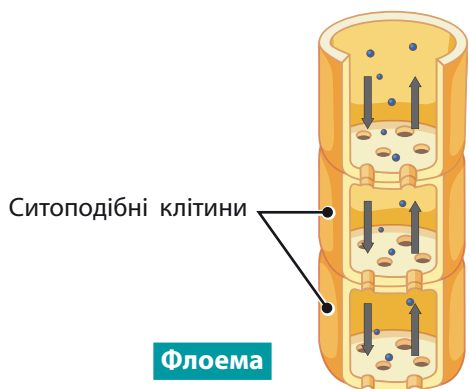


Запитання і завдання

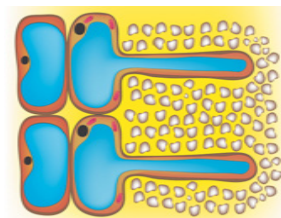
1. Визначте, прокаріотичними чи еукаріотичними є ці клітини. Зважаючи на будову клітини, що ви можете сказати про спосіб життя кожного організму? Поясніть ваші відповіді.



2. На малюнку зображено клітини рослин. Як особливості їхньої будови пов'язані з виконанням їхніх функцій?



Стовпчаста паренхіма



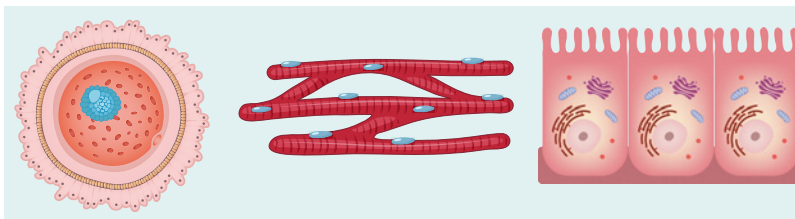
Кореневі волоски



Опорні точки

Клітини поділяють на прокаріотичні (без'ядерні) та еукаріотичні (з ядром). Прокаріотичні клітини мають менший розмір, у них відсутні мембранні органели. Еукаріотичні рослинні клітини відрізняються пластидами, великими вакуолями й клітинною стінкою, у тваринних клітин є лізосоми, глікокалікс і клітинний центр.

3. На малюнку зображено клітини організму людини. Як особливості їхньої будови пов'язані з виконанням їхніх функцій?



4. Знайдіть інформацію й підготуйте коротке повідомлення про те, як і де здійснюється лікування стовбуровими клітинами в Україні.



rnk.com.ua/
112155



§ 19

Обмін речовин. Типи живлення. Клітинне дихання в мітохондріях. Фотосинтез у хлоропластах

Обмін речовин і енергії. Автотрофний, гетеротрофний і міксотрофний типи живлення

У кожній клітині постійно відбуваються різноманітні хімічні реакції, разом вони утворюють клітинний обмін речовин, або **метаболізм**. Метаболізм поділяють на два тісно пов'язані процеси: катаболізм і анаболізм.

Метаболізм — це сукупність процесів перетворення речовин і енергії в живих організмах.

Катаболізм (енергетичний обмін) — розщеплення складних речовин (наприклад, глюкози) з виділенням енергії. У результаті катаболізму утворюються прості сполуки (приміром, вода й вуглекислий газ). Енергія, що вивільняється, запасається в молекулах **АТФ** (див. матеріал параграфа 8). Катаболізм може відбуватися за умов, коли кисень є і коли його немає. Стосовно використання кисню всі організми поділяють на **аеробів** і **анаеробів** (схема 16).

Анаболізм (пластичний обмін) — це побудова складних органічних речовин (білків, ліпідів, нуклеїнових кислот) із простіших. Для цього клітина використовує енергію АТФ (схема 17, с. 94). А ще для анаболізму потрібен «будівельний матеріал» — поживні речовини, і різні організми здобувають їх по-різному. За способом отримання поживних речовин організми поділяють на **гетеротрофів**, **автотрофів** і **міксотрофів** (схема 18, с. 94).



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

У фітнес-центрах дуже популярне аеробне тренування. (Дізнайтеся більше про цей вид тренування.)

А що таке аеробне тренування на клітинному рівні? І чому після надмірних фізичних навантажень болять м'язи?

ОРГАНІЗМИ ЗА ПОТРЕБОЮ В КИСНІ

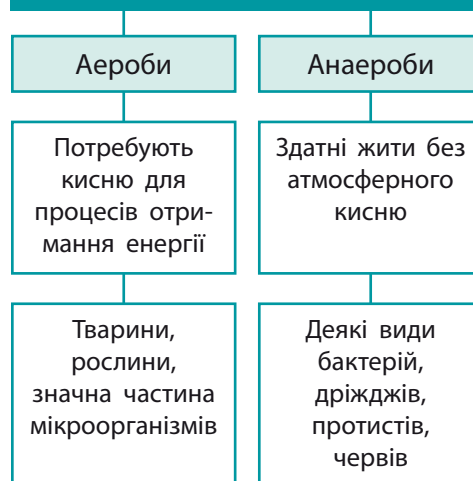


Схема 16. Характеристика аеробів і анаеробів щодо потреб у кисні

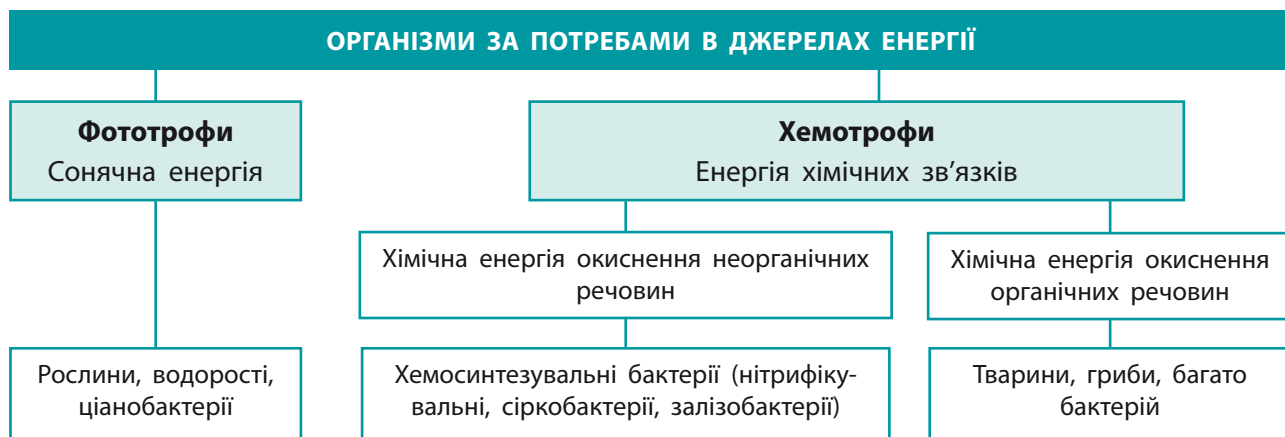


Схема 17. Організми за потребою в джерелах енергії

■ **Довідка.** За недостатності кисню піруват, що утворився в гліколізі, перетворюється на лактат (молочну кислоту). Коли м'язи зазнають сильного навантаження, ми відчуваємо біль через підвищення кислотності, зокрема, через накопичення молочної кислоти.



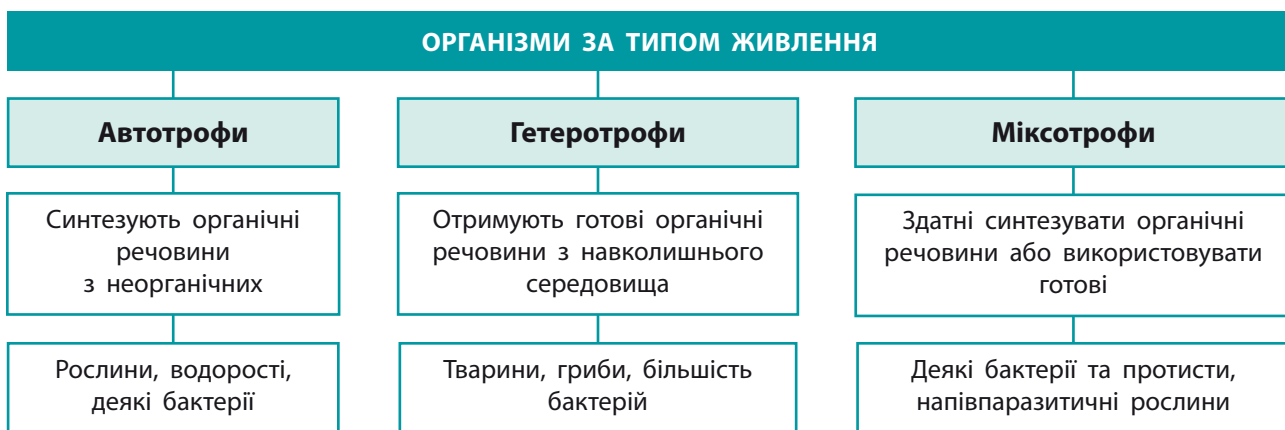
Схема 18. Характеристика автотрофів, гетеротрофів і міксотрофів щодо типів живлення

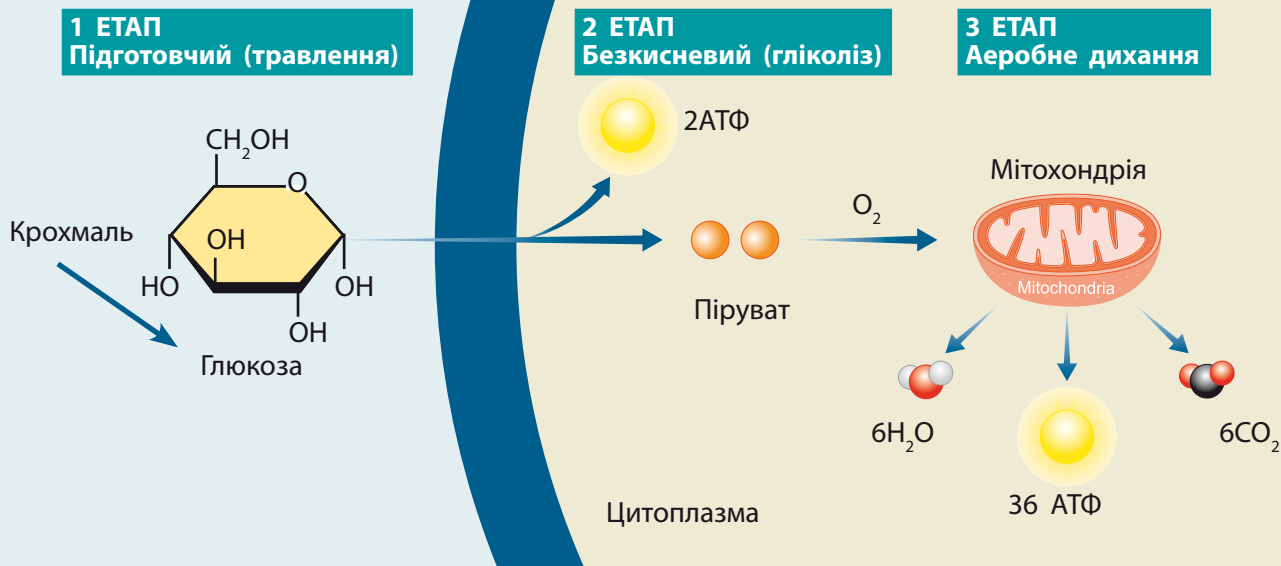
Розщеплення речовин в організмі. Клітинне дихання в мітохондріях

Енергетичний обмін аеробних гетеротрофів відбувається поетапно (мал. 19.1).

1-й етап — підготовчий. Складні органічні речовини розщеплюються на простіші сполуки в травному тракті. Білки розпадаються на амінокислоти, жири — на гліцерин і жирні кислоти, полісахариди — на моносахариди, а нуклеїнові кислоти — на нуклеотиди. Енергія, яка виділяється, розсіюється у вигляді теплоти.

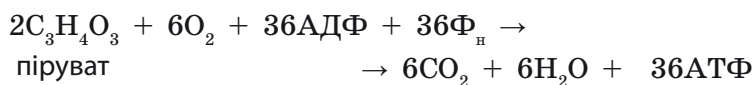
2-й етап — безкисневий, або гліколіз. Гліколіз є універсальним шляхом катаболізму глюкози майже для всіх клітинних організмів. Це розщеплення глюкози — універсального клітинного «палива». Гліколіз відбувається в цитоплазмі клітини без участі кисню. Молекула глюкози ($C_6H_{12}O_6$) розщеплюється на дві молекули піровиноградної кислоти (піруват, $C_3H_4O_3$), водночас утворюються дві молекули АТФ:



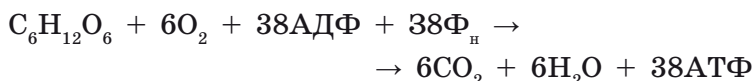


Мал. 19.1. Етапи енергетичного обміну

3-й етап — аеробне дихання. За наявності кисню піруват надходить у мітохондрії, де за участю кисню він окиснюється до води й вуглекислого газу. У результаті окиснення двох молекул пірувату утворюються 36 молекул АТФ. Сумарне рівняння аеробного клітинного дихання:

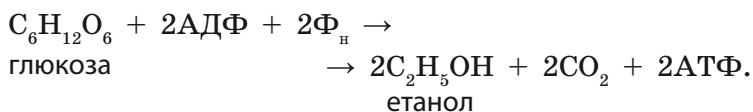


Сумарне рівняння анаеробного й аеробного етапів розщеплення глюкози:



Тобто на етапі аеробного дихання утворюється у 18 разів більше молекул АТФ, ніж під час гліколізу. Але ж гліколіз забезпечує організм енергією, коли не вистачає кисню, наприклад, під час короткої інтенсивної роботи м'язів.

Ще одним способом енергетичного обміну без участі кисню є **бродіння** — анаеробне розщеплення цукрів. Наприклад, у дріжджів піруват перетворюється на етанол, це спиртове бродіння:



Молочнокислі бактерії зброджують цукри до молочної кислоти — це молочнокисле бродіння. Існують маслянокисле, пропіоновокисле та інші види бродіння.



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Розгляньте мал. 19.1. Визначте, у яких місцях клітини відбуваються гліколіз і аеробне дихання, що утворюється в результаті цих процесів. Порівняйте їхню ефективність.



Анімація
«Як підходить тісто»
rnk.com.ua/113486

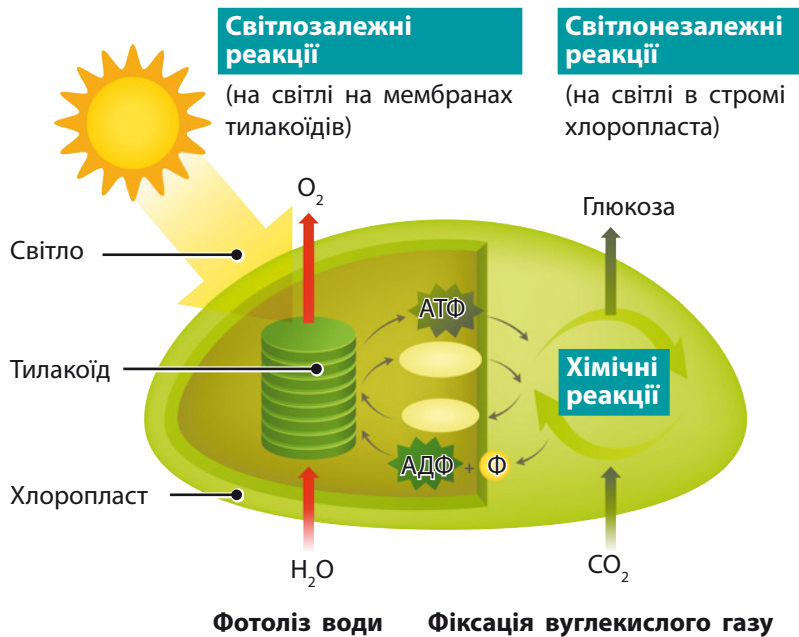




Робота в парі

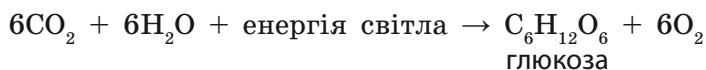
Розгляньте спектри поглинання хлорофілу та каротиноїдів (мал. 19.2). Яка причина наявності різних пігментів у хлоропластах?

Мал. 19.2. Процес фотосинтезу



Фотосинтез у хлоропластах

Найважливішим процесом пластичного обміну є **фотосинтез** — утворення органічних речовин із вуглекислого газу та води за допомогою сонячного світла. Цей процес відбувається в хлоропластах рослин за участю пігменту хлорофілу (мал. 19.3). Загальне рівняння фотосинтезу:



Фотосинтез складається з двох етапів: світлозалежних і світлoneзалежних реакцій (стадій) фотосинтезу. **Світлозалежні реакції фотосинтезу** здійснюються на мембранах тилакоїдів лише на світлі. Молекула хлорофілу вловлює сонячну енергію, відбувається фотоліз води, під час якого утворюється кисень, який вивільняється назовні й не бере участі в подальших процесах фотосинтезу. У світлозалежних реакціях синтезуються молекули АТФ.

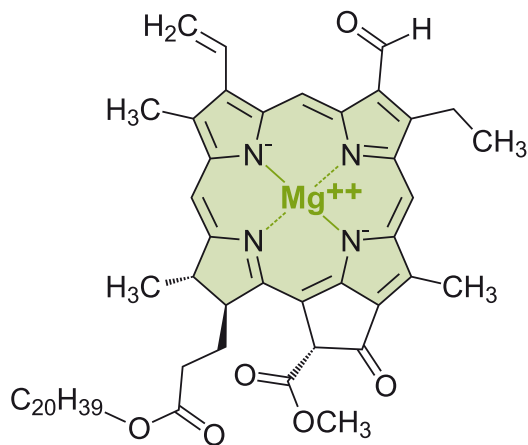
Світлoneзалежні реакції фотосинтезу здійснюються в стромі хлоропласта. Для них світло не потрібне. Енергію для реакцій дають молекули АТФ, створені у світлозалежній фазі. Ця енергія витрачається на синтез глюкози.

Хлорофіл є ключовою молекулою для вловлювання сонячного світла (мал. 19.3). Він поглинає промені в синьо-блакитній і червоній частинах спектра (мал. 19.4), не поглинаючи зелене світло.



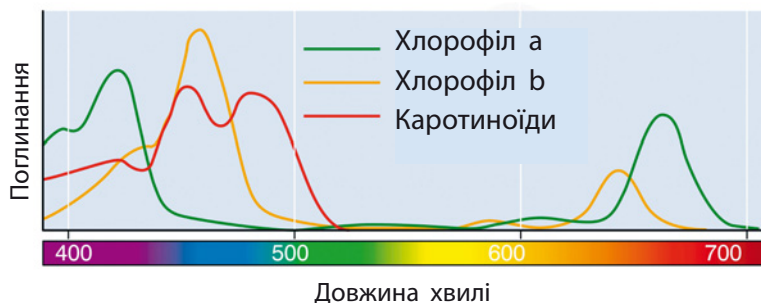
Робота в групі

Розгляньте мал. 19.2. Що відбувається під час світлозалежної стадії фотосинтезу? Які продукти утворюються й куди вони надходять? Що відбувається під час світлoneзалежної стадії? Звідки береться енергія для її реакцій?



Мал. 19.3. Молекула хлорофілу

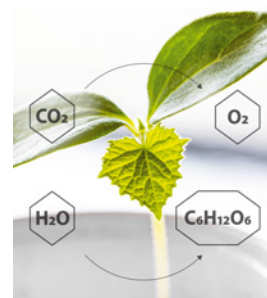
Тому ми й бачимо його зеленим. Інтенсивність фотосинтезу залежить від концентрації вуглекислого газу, наявності води, інтенсивності освітлення й температури.



Мал. 19.4. Спектри поглинання основних пігментів хлоропластів. На графіку зображено інтенсивність поглинання світла різної довжини хвилі для хлорофілів а, b та каротиноїдів. Найбільше поглинання світла хлорофілами а і b спостерігається в синьо-фіолетовій (400–500 нм) та червоній (650–700 нм) частинах спектра. Мінімальне ж поглинання світла — у зеленій частині спектра (500–600 нм). Тому рослини мають зелений колір

Віртуальне дослідження фотосинтезу

- Дослідімо, як різні фактори впливають на інтенсивність фотосинтезу. Знайдіть в інтернет-мережі онлайн-симулятор фотосинтезу. Зайдіть і ознайомтеся зі змінними: освітленість, температура, концентрація CO_2 .
- Оберіть один фактор, який ви будете змінювати (наприклад, освітленість), інші залишайте незмінними.
- Проведіть серію дослідів, поступово змінюючи обраний фактор.
- Зафіксуйте результати в таблиці.



Варіант досліді	Освітленість (люкс)	Температура ($^{\circ}\text{C}$)	CO_2 (%)	Об'єм кисню (ум. од.)
1	200	25	0.04	
2	400	25	0.04	
...				

- Побудуйте графік залежності утворення кисню від обраного фактора. Позначте осі: X — змінюваний фактор (наприклад, освітленість), Y — об'єм кисню.
- За графіком визначте, за яких умов фотосинтез є найінтенсивнішим.
- Зробіть висновок, як цей фактор впливає на фотосинтез.



Запитання і завдання

- Поясніть, чому мітохондрії називають енергетичними станціями клітини; органелами внутрішньоклітинного дихання.
- Як змінюється дихання в людини, яка починає бігти або швидко йти вгору? Як це пов'язано з енергетичними процесами в клітині?
- Як можна застосувати знання про фактори, які впливають на інтенсивність фотосинтезу, у сільському господарстві, фермерстві або тепличному виробництві?



Опорні точки

Метаболізм поділяють на два тісно пов'язані процеси: катаболізм (енергетичний обмін) і анаболізм (пластичний обмін). На етапах енергетичного обміну (гліколізу та аеробного дихання) синтезується АТФ. Найважливішим процесом пластичного обміну є фотосинтез.



rnk.com.ua/
112156



§ 20

Генетика — наука, яка вивчає спадковість і мінливість



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Діти зазвичай схожі на своїх батьків, але вони ніколи не є їхніми точними копіями. Чому так? Яке значення мають спадковість і мінливість для адаптації організмів до умов навколишнього середовища, що швидко змінюється?



Генетика як наука

Слово «генетика» бере початок від грецького «генезис» — походження. Наука генетика вивчає такі надважливі властивості живого, як спадковість і мінливість.

Спадковість — це можливість організмів передавати власні ознаки й особливості наступному поколінню, а **мінливість** є здатністю організмів набувати нових ознак або змінювати ознаки під впливом різних факторів. Саме мінливість дає змогу організмам існувати в різних формах і варіаціях, бути різноманітними.

Генетика вивчає матеріальну основу й особливості утворення, збереження, передачі й реалізації спадкової інформації. Закони спадковості й мінливості виявляються на всіх рівнях організації живого: від молекулярного до біосферного. Тому сформувалися такі напрями розвитку генетичної науки, як-от: молекулярна генетика, цитогенетика, генетика індивідуального розвитку, популяційна генетика, еволюційна генетика.

Генетики вивчають спадковість і мінливість усіх живих організмів, тож є такі науки, як генетика тварин, генетика рослин, генетика грибів, генетика мікроорганізмів, генетика людини тощо. Генетика вірусів вивчає неклітинні форми життя.

Об'єктами генетики є всі живі організми: людина, тварини, рослини, гриби, дріжджі, бактерії та неклітинні форми життя — віруси. **Предметом генетики** є спадковість і мінливість.

Сучасна генетика є комплексною та диференційованою наукою, яка використовує новітні технології й методи, співпрацює з біохіміками, молекулярними біологами, цитологами, зоологами, ботаніками, мікологами, бактеріологами, вірусологами, біоінформатиками, еволюціоністами та представниками й представницями інших наукових галузей.

З'явилися й активно розвиваються такі сучасні напрями генетики: фізіологічна генетика, імуногенетика, генетика вищої нервової діяльності, епігенетика, медична генетика, фармакогенетика, геноміка, протеоміка (схема 19).

Сучасна генетична лабораторія має обладнання, необхідне для наукових досліджень, і забезпечує надійність результатів аналізів. У ній створені відповідні умови для зберігання біоматеріалів і безпечний простір для роботи експериментаторів / експериментаторок. Окрім того, у генетичній лабораторії є системи контролю якості та автоматизовані системи для обробки отриманих даних (мал. 20.1).

Методи генетики

Генетичний аналіз — сукупність методів дослідження спадкових властивостей організму (генотипу) та його ознак (фенотипу). Він є комплексним і охоплює як класичні, так і сучасні методи. Класичними методами генетики є гібридологічний і генеалогічний методи. До базових методів належать також цитогенетичний, популяційно-статистичний, біохімічний та близнюковий методи.

■ **Довідка.** Термін «генетика» ввів у науковий обіг 1906 р. Вільям Бетсон, англійський біолог, який займався питаннями порівняльної анатомії та спадковості.



Мал. 20.1. Завантаження пробірок із ДНК в ампліфікатор для проведення полімеразної ланцюгової реакції в генетичній лабораторії

Схема 19. Сучасні напрями генетики

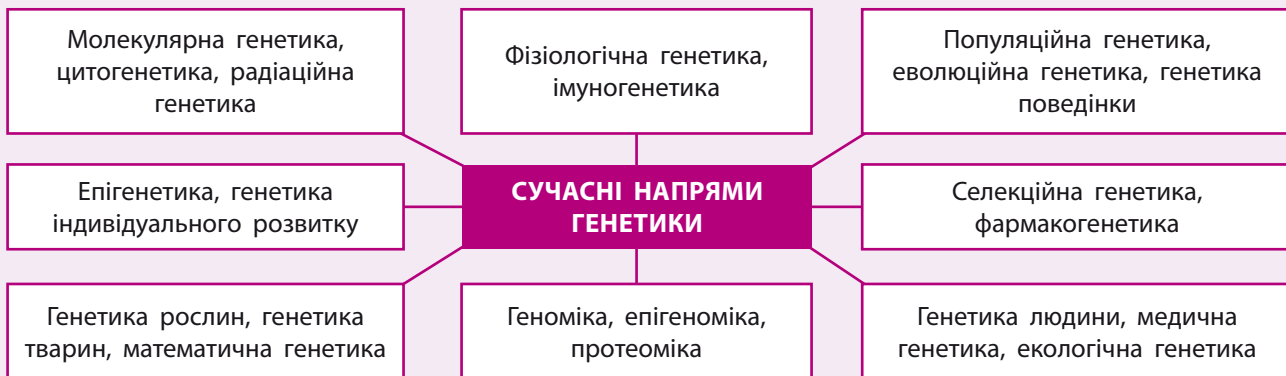


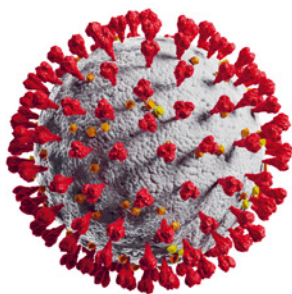


Схема 20. Розвиток сучасної генетики: передові напрями



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Розгляньте схему 19 на с. 99 і з'ясуйте, що саме вивчають зазначені галузі науки генетики. Оберіть ті, які вас найбільше зацікавили, і підготуйте про них коротке інформаційне повідомлення.



Віріон SARS-CoV-2



Запитання і завдання

1. Які напрями сучасної генетики ви знаєте?
2. Здійсніть пошукову роботу й знайдіть інформацію про те, які молекулярно-генетичні методи використовувалися для виявлення вірусу SARS-CoV-2. Створіть про це короткий конспект із застосуванням різних зразків інфографіки. Презентуйте свою роботу в класі / закладі освіти.
3. Організуйте в класі науковий клуб і обговоріть тему «Яке значення сучасної генетики для життя людства?». Після завершення роботи клубу підсумуйте важливе. Чия позиція та чиї висловлювання вам здалися найбільш цікавими й корисними? Чим?
4. Розгляньте схему 20 і з'ясуйте, яке значення має сучасна генетика для людства. Оберіть ті можливості генетики, які ви вважаєте найбільш цікавими для себе, і підготуйте про них коротку презентацію. Опублікуйте результати своєї роботи на власній сторінці соцмереж чи на сторінці сайту класу / закладу освіти.



Опорні точки

Генетика — це наука про особливості утворення, збереження, передачі й реалізації спадкової інформації.



rnk.com.ua/
112158

§ 21

Метод гібридологічного аналізу. Закони Менделя

Метод гібридологічного аналізу

Першим із методів генетики був гібридологічний аналіз, запропонований чеським монахом Грегором Менделем (мал. 21.1), який першим відкрив закономірності успадкування ознак. Він експериментував із горохом та іншими рослинами.

Мендель поставив перед собою просте питання: «Як успадковуються ознаки в ряді поколінь?». Він застосував математичний підхід для пошуку відповіді й припустив, що існує матеріальна спадкова частинка (зараз ми називаємо її «ген»), яка зумовлює певну ознаку організму. Ген, на думку Менделя, має цілісну структуру й успадковується за принципом «усе або нічого». Тобто Мендель передбачив існування **гена** як матеріальної структури, що зумовлює ознаку, поняття **генотипу** як сукупності генів конкретного організму й поняття **фенотипу** як сукупності всіх ознак цього організму.

Мендель також уважав, що кожна ознака визначається двома варіантами гена в генотипі, бо один із варіантів гена дістався від материнського організму, а другий — від батьківського.

Перед тим, як проводити власні експерименти, учений розробив **метод гібридологічного аналізу**.

1. Батьківські форми мають належати до одного виду й розмножуватися статевим способом.
2. Для експерименту слід обирати спочатку одну ознаку, тобто проводити моногібридне схрещування.
3. Ознака, обрана для експерименту, повинна бути у двох альтернативних станах. Наприклад, ознака «забарвлення насіння» має два альтернативні стани: «жовте забарвлення» й «зелене



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Грегор Мендель, попри те, що був монахом, здобув університетську освіту. Він навчався у Віденському університеті й прослухав курси експериментальної фізики, вищої математики, хімії, зоології, ентомології, ботаніки, фізіології, фітопатології, загальної палеонтології. Мендель захоплювався математикою й фізикою і називав себе фізиком!

Як ви вважаєте, чому саме Мендель став засновником науки генетики?



Мал. 21.1. Грегор Мендель



Мал. 21.2. Горох посівний був дуже вдалим зразком для експериментів Г. Менделя

забарвлення»; ознака «структура зрілого насіння» має два альтернативні стани: «зморшкувата» й «гладка».

4. Батьківські форми повинні бути «чистими лініями», тобто такими, у яких під час близько-споріднених схрещувань виявляється лише один з альтернативних варіантів ознаки. Тобто в однієї лінії виявляється, наприклад, лише зелене забарвлення насіння, а в іншій — лише жовте.
5. Аналіз успадкування ознак у потомстві проводиться окремо щодо кожної пари батьків, водночас здійснюється точний кількісний підрахунок одержаного потомства.

Моногібриде схрещування: перше покоління гібридів

Мендель обрав дуже вдалий об'єкт для експериментів — горох посівний (мал. 21.2). Чому вдалий? Горох має короткий термін вегетації, легко культивується, є самозапильною рослиною, дає значну кількість насіння і представлений великим переліком сортів із добре помітними ознаками.

Мендель визначив для схрещування сорти гороху, які мають альтернативні стани однієї ознаки. Наприклад, сорт із зеленим насінням і сорт із жовтим насінням. Він проаналізував кілька таких ознак: форму насінин, забарвлення насіння, форму бобів, забарвлення незрілих насінин, розташування квіток, довжину стебла (табл. 8). Науковець використовував лише чисті лінії гороху й чітко виконував решту правил гібридологічного аналізу.

Таблиця 8. Ознаки рослин гороху, досліджувані Г. Менделем

Ознаки гороху	Альтернативні вияви ознак	
	Домінантні	Рецесивні
Структура покриву дозрілих насінин	Гладенькі	Зморшкуваті
Забарвлення сім'ядоль	Жовте	Зелене
Забарвлення насінної шкірки	Сіре	Біле
Забарвлення квіток	Пурпурове	Біле
Форма дозрілих бобів	Гладка	Перетягнута
Забарвлення стиглих насінин	Жовте	Зелене
Розташування квіток	Пазушне	Верхівкове
Висота рослини	Висока	Низька

Перший експеримент, проведений Менделем, був дуже простим. Він узяв лінію гороху посівного, що мав жовте насіння, і схрестив її з лінією, у якої насіння було зеленого кольору. У першому поколінні Мендель щоразу одержував рослини винятково із жовтим насінням. Це дало змогу вченому сформулювати **закон одноманітності гібридів першого покоління**: «У разі схрещування чистих ліній батьківських форм, які різняться за однією парою альтернативних ознак, усі гібриди першого покоління будуть одноманітними як за генотипом, так і за фенотипом».

Ознаку, яка проявилася, Мендель назвав **домінантною ознакою**, а ту, що не проявилася, — **рецесивною ознакою**.

Розберімося, що відбулося в експерименті Менделя.

1. Запишемо експеримент у фенотипах, використовуючи умовні позначення.

P: ♀ жовте насіння × ♂ зелене насіння
F₁: усі жовті

2. Запишемо експеримент у генах і генотипах.

А) Позначимо ген, який спричиняє появу жовтого кольору в насіння, літерою «А». Велика літера свідчить про те, що алель є домінантною. Ген, який спричиняє появу зеленого забарвлення насіння, позначимо літерою «а». Маленька літера свідчить про те, що алель є рецесивною.

Алелі А і а є різними формами одного й того самого гена. **Алельні гени, алелі** (від лат. "allellos" — «протилежний») визначають різні стани одного й того самого гену.

Б) Запишемо **генотипи рослин**. У генотипі обов'язково має бути дві алелі, бо кожна ознака визначається двома варіантами гена: один успадкований від материнського організму, а другий — від батьківського.

В) Зробимо запис експерименту Менделя, використовуючи введені позначення.

P: AA × aa
Гамети: A a
F₁: Aa (усі жовті)

Завдяки запису експерименту з'ясувалося, що існують три варіанти генотипів: AA, aa, Aa.

Закріплюємо знання генетичних понять

Ген — це ділянка молекули ДНК, яка несе інформацію про певну ознаку або властивість організму. Кожен ген посідає в хромосомі певне місце — **локус**.

Оскільки в соматичних клітинах більшості еукаріотичних організмів хромосоми є парними (гомологічними), у кожній із парних хромосом міститься по одному варіанту гена, що відповідає за розвиток певної ознаки. Такі варіанти генів називаються **алелями** (від лат. «allellos» — «протилежний»).

Умовні позначення

P — батьківські організми
♀ — жіноча особина
♂ — чоловіча особина
× — позначка схрещування
F₁ — перше покоління гібридів

Алельні гени (алелі)

A — домінантна алель, що визначає жовте забарвлення насіння;
a — рецесивна алель, що визначає зелене забарвлення насіння.

Генотипи (чисті лінії)

AA — генотип рослин із жовтим насінням;
aa — генотип рослин із зеленим насінням.

Закріплюємо знання генетичних понять

Організм, у якого в обох гомологічних хромосомах містяться однакові алелі, називається **гомозиготним** за цим геном, або **гомозиготою** (AA , aa). Організм, у якого в обох гомологічних хромосомах містяться різні алелі, називається **гетерозиготним** за цим геном, або **гетерозиготою** (Aa).

Домінантною називають алель, яка проявляється в гетерозиготі. Вона кодує ознаку, що проявляється незалежно від того, яка алель міститься в іншій хромосомі. **Рецесивні алелі** здатні проявляти свої ознаки лише в тому разі, якщо в обох парних хромосомах містяться рецесивні алелі, тобто в гомозиготі.

Домінантні алелі позначаються, як правило, великими літерами латинського алфавіту (A , B , C тощо), тоді як рецесивні — малими (a , b , c та ін.).

Мендель уважав, що дві алелі одного гена, наявні в одній особині, не впливають одна на одну, тому залишаються, як висловлювався вчений, «незабрудненими», або «чистими». Під час утворення статевих клітин (гамет) кожна з них отримує лише одну «чисту» алель гена з двох наявних у соматичних клітинах. Цей принцип називають **правилом чистоти гамет**: «Кожна гамета несе лише один алельний ген і не може одночасно містити обидва».

Якщо в зиготі зустрілися два однакові алельні гени, то цю зиготу називають **гомозиготою**, а організм, що з неї сформувався, зветься гомозиготним. Генотипи AA і aa — це гомозиготи.

Якщо в зиготі зустрілися два різні алельні гени, то цю зиготу називають **гетерозиготою**, а організм, що з неї сформувався, — гетерозиготним. Генотип Aa — це гетерозигота.

Домінантна алель A проявляється в гетерозиготі. Рецесивна алель a не проявляється в гетерозиготі.

Подивімося, скільки нових слів ми використали, щоб пояснити результат достатньо простого експерименту: **ген, алель, алельні гени, генотип, фен, фенотип, домінантна ознака, рецесивна ознака, гомозигота, гетерозигота, домінантна алель, рецесивна алель**.

Схрещування, яке ми записали, є **моногібридним**, бо в експерименті аналізується успадкування однієї ознаки. Схрещування, за якого розглядається успадкування за двома парами ознак, називається **дигібридним**, а за більшою кількістю ознак — **полігібридним**.

Моногібридне схрещування: друге покоління гібридів

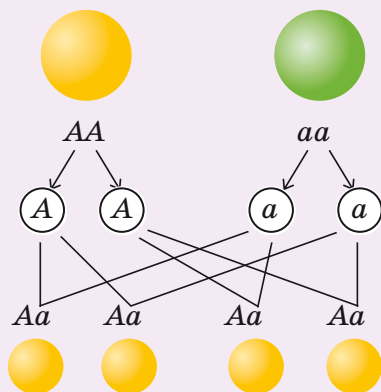
Оскільки в першому поколінні не було організмів, що мали б рецесивну ознаку, Менделю було цікаво дістати відповідь на запитання: «Коли поділася рецесивна ознака?».

Для пошуку відповіді він висадив насіння кожної рослини F_1 після самозапилення й отримав гібридів другого покоління: F_2 . Цього разу з-поміж рослин з'явилися й такі, що мали зелене насіння. Мендель порахував їхню кількість, і з'ясувалося, що рослин, які мали жовте насіння, було 6022, а рослин із зеленим насінням — 2001.



Відкритий мікрофон

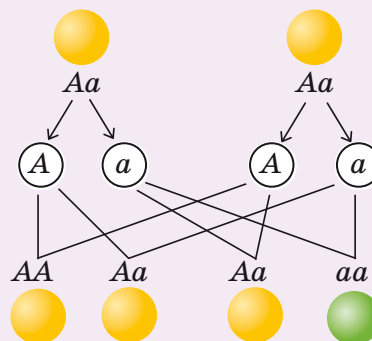
У першому поколінні в процесі схрещування чистих ліній рецесивна ознака не проявляється. Як ви вважаєте, за яких умов вона могла б проявитися? Які схрещування слід було б здійснити, щоб про це дізнатися?



Перше покоління

P: ♀ AA × ♂ aa

F₁: Aa (усі жовті)



Друге покоління

P: ♀ Aa × ♂ Aa

F₂: 25 % AA; 50 % Aa; 25 % aa (75 % жовті, 25 % зелені)

Розщеплення за фенотипом 3 : 1

Мал. 21.3. Результати моногібридного схрещування для першого і другого поколінь

Результат можна пояснити, записавши дослідження в генотипах із використанням ґратки Пеннета.

P: Aa × Aa

F₂:

♀ \ ♂	A	a
A	AA (жовті за фенотипом)	Aa (жовті за фенотипом)
a	Aa (жовті за фенотипом)	aa (зелені за фенотипом)

В експериментах з іншими ознаками результати були схожими: у другому поколінні приблизно 75 % відсотків нащадків мали домінуючу ознаку, а приблизно 25 % — рецесивну. Тобто завжди спостерігалось співвідношення приблизно 3 : 1 (мал. 21.3). Це може бути, наприклад, 290 : 94, або 312 : 93, або 303 : 108 тощо.

Розщеплення за фенотипом і генотипом у співвідношенні різнилися, тому що генотипічних класів три (AA, Aa, aa), а фенотипічних класів — два (жовті, зелені). Генотипи AA і Aa мають однаковий фенотипічний прояв — у них жовте насіння. Тому й розщеплення за фенотипом у співвідношенні 3 : 1, а за генотипом — 1 : 2 : 1.

Довідка. Генетик Реджинальд Пеннет запропонував зручну форму запису експерименту в генотипах, яка дістала назву «ґратка Пеннета». За горизонталлю записують гамети жіночого організму (A), за вертикаллю — гамети чоловічого організму (a). У середині ґратки записується їхня комбінація, тобто генотип нащадків (Aa).



Завдання

Порахуйте, у якому співвідношенні перебувають домінуючі й рецесивні ознаки, якщо рослин із жовтим насінням було 339, а рослин із зеленим насінням — 113?



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Аналіз експерименту засвідчив, що розщеплення за фенотипом у співвідношенні: 3/4 (жовті) : 1/4 (зелені). Таким чином, розщеплення за фенотипом у співвідношенні: 3 : 1.

Розщеплення за генотипом у співвідношенні:

1/4 AA : 2/4 Aa : 1/4 aa .

Якщо записати спрощено:

1 AA : 2 Aa : 1 aa .

Чому розщеплення за фенотипом і генотипом у співвідношенні різнилися?

Мендель виявив чудову річ: його експеримент засвідчив, що однакові фенотипи (жовте насіння) можуть визначатися різними генотипами (AA , Aa).

У генотипі Aa «ховається» рецесивна алель, але вона не проявляється у фенотипі!

Мендель дістав відповідь на запитання: «Коли проявиться рецесивна ознака?». Рецесивна ознака проявляється лише в гомозиготному стані. Така закономірність дістала назву «закон розщеплення»: «У разі схрещування гетерозиготних гібридів першого покоління в потомстві спостерігається перевага однієї з ознак (домінантної) у співвідношенні 3 : 1 за фенотипом».

Дигібридне схрещування

Для дигібридного схрещування Г. Мендель обрав дві ознаки: забарвлення насіння (жовте й зелене) і структуру насіння (гладеньку й зморшкувату). Одна чиста лінія мала жовте гладеньке насіння, друга — зелене зморшкувате. У першому поколінні всі гібриди мали жовте зморшкувате насіння.

Розгляньмо, чому так вийшло.

Зробимо позначення:

A — алель, що визначає жовте забарвлення насіння;

a — алель, що визначає зелене забарвлення насіння;

B — алель, що визначає гладеньке насіння;

b — алель, що визначає зморшкувате насіння.

♀	AB
♂	ab
	$AaBb$

1. Запишемо перше схрещування:

$P:$ ♀ $AABB$ × ♂ $aabb$
жовті гладенькі зелені зморшкуваті

Гамети: AB ab

$F_1:$ $AaBb$
жовті гладенькі

Ми бачимо, що кожна особина формує по одному типу гамет — AB або ab . Усі нащадки мають один генотип $AaBb$ і домінантні знаки: жовте гладеньке насіння.

2. Далі Мендель схрестив гібридів першого покоління між собою. У другому поколінні на 315 жовтих гладеньких насінин припадало 108 зелених гладеньких, 101 жовта зморшкувата та 32 зелені зморшкуваті. Тобто з'явилися нові комбінації фенотипів, яких не було в батьків, водночас чотири класи фенотипів розщепилися в співвідношенні 9 : 3 : 3 : 1.

Запишемо друге схрещування:

P: ♀ *AaBb* × ♂ *AaBb*
 жовті гладенькі жовті гладенькі
 Гамети: *AB, Ab, aB, ab*

За цього схрещування кожна з батьківських особин формує чотири типи гамет: *AB, Ab, aB, ab*.

F₂:

♀ \ ♂	<i>AB</i>	<i>Ab</i>	<i>aB</i>	<i>ab</i>
<i>AB</i>	<i>AABB</i> <i>ж/г</i>	<i>AABb</i> <i>ж/г</i>	<i>AaBB</i> <i>ж/г</i>	<i>AaBb</i> <i>ж/г</i>
<i>Ab</i>	<i>AABb</i> <i>ж/г</i>	<i>AAbb</i> <i>ж/зм</i>	<i>AaBb</i> <i>ж/г</i>	<i>Aabb</i> <i>ж/зм</i>
<i>aB</i>	<i>AaBB</i> <i>ж/г</i>	<i>AaBb</i> <i>ж/г</i>	<i>aaBB</i> <i>з/г</i>	<i>aaBb</i> <i>з/г</i>
<i>ab</i>	<i>AaBb</i> <i>ж/г</i>	<i>Aabb</i> <i>ж/зм</i>	<i>aaBb</i> <i>з/г</i>	<i>aabb</i> <i>з/зм</i>

Примітка: *ж/г* — жовті гладенькі, *ж/зм* — жовті зморшкуваті, *з/г* — зелені гладенькі, *з/зм* — зелені зморшкуваті.

Підрахуємо результат за таблицею:

<i>ж/г</i>	<i>ж/зм</i>	<i>з/г</i>	<i>з/зм</i>
9/16	3/16	3/16	1/16

Це і є розщеплення в співвідношенні 9 : 3 : 3 : 1 за фенотипом.

Якщо ми порахуємо по кожній з ознак окремо, то отримаємо такі співвідношення:

жовті : зелені = 3 : 1

гладенькі : зморшкуваті = 3 : 1.

Тобто кожна ознака розщеплюється незалежно від іншої в співвідношенні 3 : 1.

За результатами цього експерименту Грегор Мендель сформулював **правило незалежного розходження ознак**: під час схрещування дигетерозиготних батьківських форм, які різняться за двома парами альтернативних ознак, у другому поколінні відбувається незалежне розходження ознак: кожна з них розщеплюється незалежно від іншої в співвідношенні 3 : 1.



Завдання

Порахуйте, у якому співвідношенні розщепилася кожна ознака окремо, якщо в процесі схрещування дигетерозиготних рослин, що мають жовте гладеньке насіння, виявилось 315 жовтих гладеньких насінин, 108 зелених гладеньких, 101 жовта зморшкувата та 32 зелені зморшкуваті.

Довідка. На початку XX століття класичні генетичні дослідження провів **Сергій Навашин**. Саме він відкрив подвійне запліднення в рослин і показав видову специфічність числа і морфології хромосом у рослин. Учень С. Навашина **Григорій Левицький** удосконалив техніку фіксації й забарвлення хромосом, вивчав каріотиби споріднених видів рослин, визначив їхню роль в еволюції. 1956 року в місті Харкові було створено Український науково-дослідний інститут рослинництва, селекції і генетики, наукова діяльність якого пов'язана з відомим науковцем, селекціонером-рослинником, академіком НАН України **Василем Юр'євим**. Завдяки йому було зібрано колекції видів рослин, необхідних для схрещування. Науковець брав участь у розробленні методів випробовування ліній, гібридів і сортів. Разом із колегами В. Юр'єв вивів багато цінних високоврожайних сортів озимої та ярої пшениці, жита, ячменю, проса, кукурудзи.



Розв'язування
задач та вправ
із моногібридного
і дигібридного
схрещування
rnk.com.ua/112412



Експеримент із дигібридного схрещування за-
свідчив, що в разі статевого розмноження з'явля-
ється комбінативна мінливість! Виникає різнома-
ніття фенотипів, яке є важливим для еволюційного
процесу.



Запитання і завдання

- Плоди томатів бувають круглими і грушоподібними. Ген круглої форми домінує. Якими є генотипи батьківських рослин, якщо з-поміж нащадків виявилось круглих і грушоподібних плодів порівну?
А AA; aa **Б** AA; aa **В** Aa; Aa **Г** Aa; AA
- Від схрещування собаки чорного кольору з породистим самцем коричневого кольору отримали потомство чорного кольору. Молоду самицю чорного кольору із цього потомства схрестили з тим самим самцем. Яке потомство щодо фенотипу варто очікувати внаслідок такого схрещування?
А 75 % чорні й 25 % коричневі
Б усі чорні
В 50 % чорні й 50 % коричневі
Г 25 % чорні й 75 % коричневі
- У морських свинок гладка шерсть визначається рецесивним геном, скуювджена — домінантним. Дев'ятикласник купив морську свинку зі скуювдженою шерстю і хоче переконаватися, що вона не несе генів гладкої шерсті. Якого партнера за фенотипом і генотипом треба дібрати для схрещування, щоб перевірити генотип купленої морської свинки?
А гладка гомозигота
Б гладка гетерозигота
В скуювджена гомозигота
Г скуювджена гетерозигота
- Стойкість рослини вівса до сажки домінує над сприйнятливістю до цієї хвороби. Позначте фенотипи потомства, яке з'явиться від схрещування гетерозиготних імунних (тобто стійких) особин із рослинами, які уражає сажка.
А усі особини є стійкими до сажки
Б усі особини уражає сажка
В 75 % особин є стійкими до сажки, 25 % особин, які уражає сажка
Г 50 % особин є стійкими до сажки, 50 % особин, які уражає сажка
- Ген, що зумовлює чорний колір шерсті в собак, повністю домінує над геном, який визначає коричневий колір шерсті. Існування якої пари генетичних характеристик неможливе для собак?
А чорні гомозиготи
Б коричневі гомозиготи
В чорні гетерозиготи
Г коричневі гетерозиготи



Опорні точки

Генетика як наука почалася з експериментів Грегора Менделя, які були проведені на основі розробленого ним методу гібридологічного аналізу. Завдяки дослідженням Менделя з'явилися перші закони генетики і сформуливалися основні поняття генетики: ген, алель, алельні гени, генотип, фен, фенотип, домінантна ознака, рецесивна ознака, гомозигота, гетерозигота, домінантний ген, рецесивний ген.



rnk.com.ua/
112159

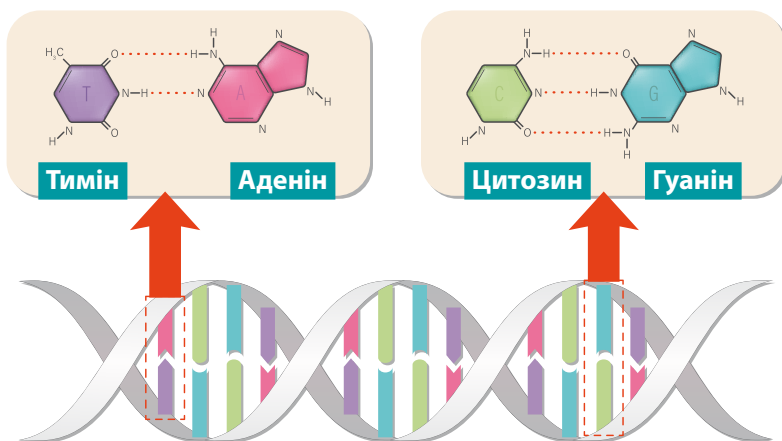
§ 22

Молекулярна генетика. Подвоєння ДНК. Генетичний код. Сучасне визначення понять «ген», «генотип», «генофонд»

Важливі особливості молекули ДНК

У дволанцюгових молекулах ДНК з'єднання ланцюгів відбувається не навмання (див. параграф 8). У середині ХХ століття, коли ДНК ще починали досліджувати, були встановлені чіткі закономірності будови молекули ДНК: кількість аденіну завжди дорівнює кількості тиміну, а кількість гуаніну — кількості цитозину. Така закономірність називається **правилом Чаргаффа** — на честь науковця, який її відкрив.

Правило Чаргаффа працює тому, що нітрогенові основи в ДНК формують комплементарні пари аденін — тимін, гуанін — цитозин, адже ці нітрогенові основи здатні утворювати між собою водневі зв'язки. Між аденіном і тиміном формується два водневі зв'язки, а між гуаніном і цитозином — три водневі зв'язки (мал. 22.1).



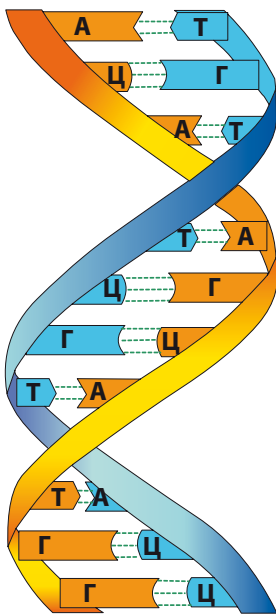
Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Спадкова інформація, яку передають батьки нащадкам, має бути записана на якомусь носії — молекулі. Аби ця молекула виконувала таку функцію, вона обов'язково повинна вміти себе подвоювати.

Як ви вважаєте, якою за будовою має бути молекула, щоб вона могла подвоюватися?

Комплементарність нітрогенових основ — це здатність певних нітрогенових основ утворювати водневі зв'язки між собою, забезпечуючи специфічне поєднання ланцюгів ДНК.

Мал. 22.1. Принцип комплементарності нітрогенових основ, завдяки якому формується подвійна спіраль ДНК



Мал. 22.2. Комплементарна послідовність нуклеотидів у двох ланцюгах ДНК

! **Реплікація ДНК** (пізньолат. "replicatio" — «повторення») — це процес матричного синтезу молекул ДНК на матриці — молекулі ДНК за принципом комплементарності.

! **Матричний синтез** — це процес створення нової біологічної молекули на основі іншої молекули-матриці, яка слугує шаблоном.

Комплементарність нітрогенових основ є важливою, бо дає змогу двом ланцюгам молекули ДНК бути розташованими поряд. Якщо відома послідовність нітрогенових основ в одному ланцюзі ДНК, можна визначити й послідовність нітрогенових основ у другому ланцюзі (мал. 22.2).

Реплікація ДНК

Найважливішою властивістю ДНК є її здатність до **реплікації**, тобто самоподвоєння. Завдяки цьому процесу генетична інформація точно передається від клітини до клітини під час поділу.

Реплікація відбувається за принципом **матричного синтезу**. Два ланцюги молекули ДНК розходяться, і кожен із них слугує матрицею (основною, шаблоном) для синтезу нового, комплементарного ланцюга (мал. 22.3). Така можливість самовідтворення зумовлена особливою будовою молекули ДНК та законом комплементарності нітрогенових основ.

У результаті реплікації утворюються дві ідентичні молекули ДНК, кожна з яких складається з одного «старого» ланцюга й одного нового, щойно синтезованого. Тому цей процес називають **напівконсервативною реплікацією**.

Реплікація ДНК відбувається за участю спеціальних ферментів. Ключову роль у реплікації відіграють **ДНК-полімерази** — ферменти, які здійснюють синтез нових ланцюгів ДНК. Вони приєднують нуклеотиди до матричного ланцюга відповідно до принципу комплементарності, тобто «добудовують» новий ланцюг за зразком старого.



Завдання

- В одному ланцюзі молекули ДНК існує така послідовність нуклеотидів:
АТТ ГЦГ ТТТ ГАТ АТА ГГГ ГЦГ АГЦ
Визначте послідовність нуклеотидів у другому ланцюзі молекули ДНК.
- В одному ланцюзі молекули ДНК існує така послідовність нуклеотидів:
ААА ТГГ АГТ ТТА ГГГ ГАТ ГГГ АГТ
Визначте послідовність нуклеотидів у другому ланцюзі молекули ДНК.
- Визначте кількість цитозинових нуклеотидів у молекулі ДНК, якщо аденінові нуклеотиди становлять 24 % від загальної кількості нуклеотидів.
А 26 % Б 24 % В 48 % Г 52 %
- Один із ланцюгів молекули ДНК має склад:
Т Ц Г А А Г Т Т А Ц Т А
Скільки водневих зв'язків утворюють два ланцюги цієї молекули між собою?
А 28 Б 31 В 32 Г 26



Мал. 22.3. Напівконсервативний синтез молекули ДНК

Окрім ДНК-полімераз, у реплікації беруть участь і інші ферменти. **Геліказа** роз'єднує два ланцюги молекули ДНК, розкручуючи подвійну спіраль. **Праймаза** синтезує короткі ділянки РНК (праймери), необхідні для початку роботи ДНК-полімерази. **Лігаза** з'єднує окремі фрагменти ново-синтезованого ланцюга ДНК в одну молекулу.

Генетичний код і його властивості

Життєдіяльність клітини істотно визначається білками, які вона синтезує. Як ви знаєте, білки складаються з амінокислот, з'єднаних у певній послідовності (див. параграф 6). Інформація про цю послідовність зберігається в молекулах ДНК у вигляді певного порядку нуклеотидів.

Відповідність між послідовністю нуклеотидів у ДНК та послідовністю амінокислот у білку називають **генетичним кодом**. Основною одиницею генетичного коду є **триплет (або кодон)** — послідовність із трьох нуклеотидів. Кожен триплет кодує одну амінокислоту або є сигналом початку чи завершення синтезу білка (мал. 22.4, с. 112).

Можливих триплетів може бути 64 — це число комбінацій із чотирьох нуклеотидів А, Т, Г і Ц по три ($4^3 = 64$). Оскільки в клітинах використовується лише 20 основних амінокислот, а можливих триплетів значно більше, одна й та сама амінокислота може кодуватися кількома різними триплетами. Таку властивість генетичного коду називають **виродженістю**.

Деякі триплети є сигналами початку й закінчення транскрипції: це старт- і стоп-кодони.

Ще однією важливою властивістю генетичного коду є його **універсальність**. Це означає, що однакові триплети кодують ті самі амінокислоти майже у всіх живих організмах — від бактерій до людини. Така спільність свідчить про єдине еволюційне походження живих організмів. (Про інші властивості генетичного коду див. схему 21 на с. 113.)



Поділіться своїми думками

Спираючись на розуміння будови молекули ДНК, запропонуйте теоретичні принципи її самоподвоєння. Намалюйте схеми, які показують, як одна молекула ДНК може перетворитися на дві. Візьміть до уваги принцип комплементарності нітрогенових основ.

Генетичний код — це система «перекладу» інформації з мови нуклеїнових кислот мовою білків.



Додаткові завдання до параграфа
rnk.com.ua/113276

	Друга основа								
Перша основа	Т		Ц		А		Г		Третя основа
Т	ТТТ	Фен	ТЦТ	Сер	ТАТ	Тир	ТГТ	Цис	Т
	ТТЦ		ТЦЦ		ТАЦ		ТГЦ		Ц
	ТТА	Лей	ТЦА		ТАА	Стоп	ТГА	Стоп	А
	ТТГ		ТЦГ		ТАГ		ТГГ	Трп	Г
Ц	ЦТТ	Лей	ЦЦТ	Про	ЦАТ	Гіс	ЦГТ	Арг	Т
	ЦТЦ		ЦЦЦ		ЦАЦ		ЦГЦ		Ц
	ЦТА		ЦЦА		ЦАА	Глн	ЦГА		А
	ЦТГ		ЦЦГ		ЦАГ		ЦГГ		Г
А	АТТ	Іле	АЦТ	Тре	ААТ	Асн	АГТ	Сер	Т
	АТЦ		АЦЦ		ААЦ		АГЦ		Ц
	АТА		АЦА		ААА	Ліз	АГА	Арг	А
	АТГ	Мет Старт	АЦГ		ААГ		АГГ		Г
Г	ГТТ	Вал	ГЦТ	Ала	ГАТ	Асп	ГГТ	Глі	Т
	ГТЦ		ГЦЦ		ГАЦ		ГГЦ		Ц
	ГТА		ГЦА		ГАА	Глу	ГГА		А
	ГТГ		ГЦГ		ГАГ		ГГГ		Г

Мал. 22.4. Таблиця генетичного коду для ДНК

Назви амінокислот:

аланін (Ала), аргінін (Арг), аспарагін (Асн), аспарагінова кислота (Асп), валін (Вал), гістидин (Гіс), гліцин (Глі), глутамін (Глн), глутамінова кислота (Глу), ізолейцин (Іле), лейцин (Лей), лізин (Ліз), метіонін (Мет), пролін (Про), серин (Сер), тирозин (Тир), треонін (Тре), триптофан (Три), фенілаланін (Фен), цистеїн (Цис).

■ **Довідка.** Як працювати з таблицею генетичного коду (мал. 22.4)? По-перше, зверніть увагу, що вона укладена для молекули ДНК, бо в ній позначений тимін. Якщо ви шукаєте триплет, який кодує певну амінокислоту, то знаходите в таблиці її скорочену назву, наприклад «Вал» (це валін). Валін кодується чотирма триплетами. Літера першої основи для триплетів валіну розміщена у відповідному стовпчику. Це літера Г, і вона однакова для всіх чотирьох триплетів, що кодують валін. Літеру для другої основи дивимося зверху таблиці. Літера теж одна, це літера Т. А ось третя літера є різною у всіх триплетах, що кодують валін. Тобто амінокислота валін у молекулі ДНК кодується чотирма триплетами: ГТА, ГТТ, ГТЦ, ГТГ.

Сучасне визначення понять «ген», «генотип», «генóm», «генофонд»

У попередніх параграфах ішлося про те, що ген — це матеріальна частинка, розташована в хромосомі, а місце її розташування зветься локусом. Згодом завдяки розвитку молекулярної біології з'явилося молекулярне визначення гена: **ген** — ділянка молекули ДНК, яка є структурною та функціональною одиницею спадкової інформації,



Робота в парі

Користуючись таблицею генетичного коду для ДНК, визначте триплети, які кодують амінокислоти аланін (Ала), лейцин (Лей) і метіонін (Мет). Які властивості генетичного коду ви побачили?

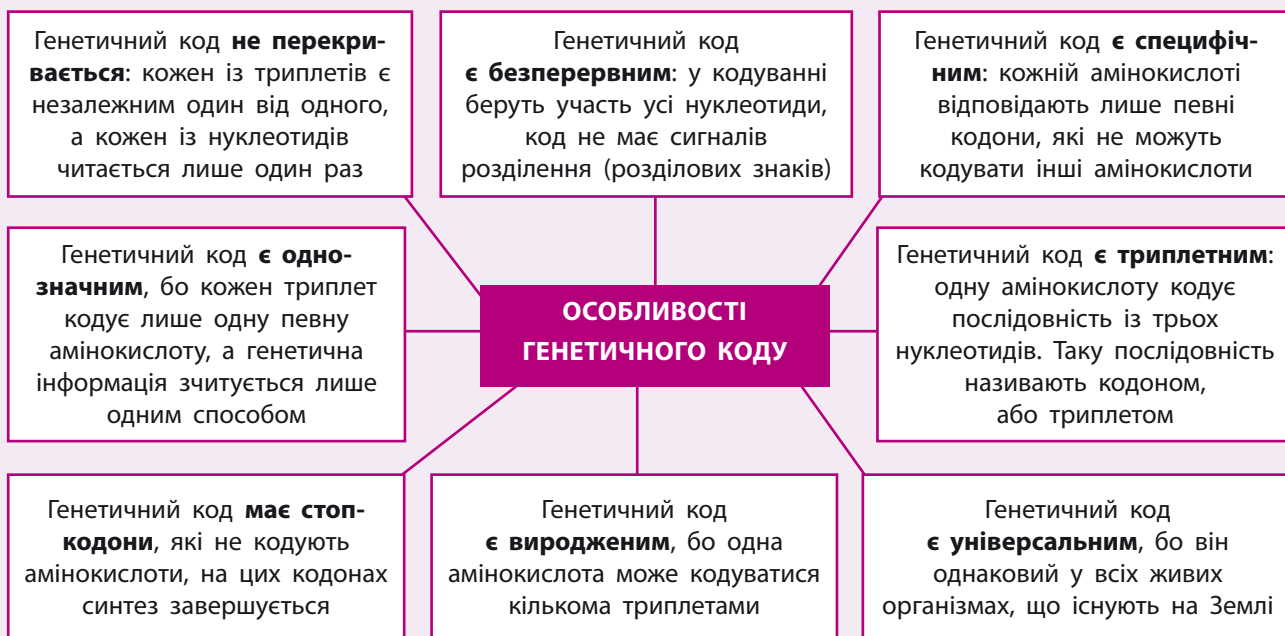


Схема 21. Особливості генетичного коду

що відповідає за формування певної елементарної ознаки.

Існують структурні гени, які кодують структуру білків, регуляторні гени, що контролюють активність структурних генів, гени, які кодують синтез рибосомних і транспортних РНК.

Сукупність генів певної особини або певної клітини дістала назву **генотип**.

Повний набір генетичної інформації організму (виду) дістав назву **геном**. Він містить усі гени та некодуючі ділянки ДНК, які разом визначають спадкові властивості. Геном кожного виду унікальний. Розміри геномів організмів різних видів значно різняться. Наприклад, геном *Escherichia coli* має орієнтовно 4,6 млн нуклеотидів і 4000 генів, що кодують білки. Геном людини містить орієнтовно 3 млрд нуклеотидів і 20–25 тисяч генів, що кодують білки.

Сукупність усіх генних варіацій (алелей) певної популяції становлять її **генофонд**.



Завдання

Запропоновано дві ділянки ДНК:

- AAA ТГГ АГТ ТТА ГГГ ГАТ ГГГ АГТ (позначення кирилическими літерами),
- ATG-GTT-TTC-AGA-TAA (позначення латинськими літерами).

Визначте, які пептиди (короткі білки) на ній утворюються (напишіть амінокислотні послідовності, використовуючи генетичний код, старт- і стоп-кодони).



Опорні точки

Реплікація — це процес матричного синтезу молекули ДНК, який відбувається на матриці, молекулі ДНК, під контролем ферментів. Відповідність між послідовністю нуклеотидів у ДНК та послідовністю амінокислот у білку називають генетичним кодом.



Запитання і завдання

- Молекула ДНК складається з 500 нуклеотидів. Скільки аденінів (А) буде в ній, якщо цитозинів (С) — 120? (Пам'ятайте правило Чаргаффа: $A=T$, $C=G$.)
- Запропоновано ланцюг ДНК: ATG-CGA-TTC-GGA. Запишіть комплементарний ланцюг, який утвориться під час реплікації.



rnk.com.ua/
112160

§ 23

Типи РНК. Синтез білка



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Послідовність амінокислот у білках зашифрована у вигляді послідовності нуклеотидів у ДНК, але сама молекула ДНК на може бути матрицею для синтезу білка, бо вона є дволанцюговою, великою за розміром і містить інформацію про чималу кількість білків.

Які молекули можуть бути посередниками в процесі синтезу білків?

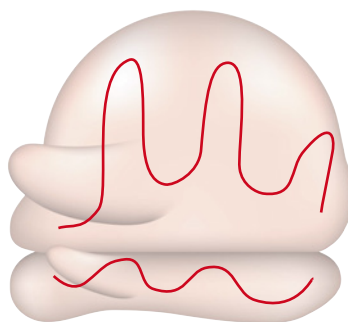
Типи РНК

У процесі синтезу білка беруть участь різні молекули, з-поміж яких особливі функції виконують молекули РНК.

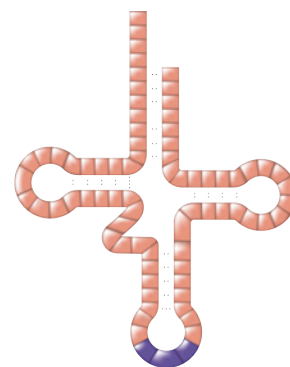
- По-перше, це **рибосомна РНК (рРНК)**, яка належить до найбільших РНК, її молекули складаються з 3–5 тисяч нуклеотидів. Рибосомна РНК входить до складу рибосом.
- По-друге, це **інформаційна РНК (іРНК)**, або **матрична (мРНК)**, що переносить інформацію про структуру білка від ДНК до місця синтезу білка в рибосомах.
- По-третє, це **транспортна РНК (тРНК)**. Молекули тРНК найкоротші: вони складаються лише із 70–90 нуклеотидів. Їхня функція полягає в перенесенні амінокислот до місця синтезу білка — рибосом (мал. 23.1).

Рибосомна РНК входить до складу рибосом разом із рибосомними білками. Рибосоми

Матрична РНК



Рибосомна РНК в рибосомі



Транспортна РНК

Мал. 23.1. Типи РНК

утворюються в ядрі, а працюють у цитоплазмі. Вони є органелами для синтезу білка. Рибосома, як нам уже відомо, має дві частини: велику й малу субодиниці, які об'єднуються, коли рибосома готує синтезувати новий білок (мал. 23.2). Рибосоми забезпечують контакт мРНК з молекулами тРНК і каталізують з'єднання амінокислот у пептидний ланцюжок.

Первинна структура тРНК містить 70–90 нуклеотидів. Більшість тРНК має характерну вторинну структуру у формі листка конюшини (мал. 23.3) через наявність у ній дволанцюгових ділянок, які формуються за принципом комплементарності нітрогенових основ.

Функція тРНК полягає в перенесенні амінокислот із цитоплазми до рибосом, на яких відбувається синтез білків. Кожна тРНК має ділянку, до якої може приєднуватися молекула амінокислоти, і послідовність із трьох нуклеотидів, що дістала назву **антикодон**. Антикодон комплементарно зв'язується з кодоном мРНК під час синтезу білка. Кожна тРНК транспортує лише ту амінокислоту, яка відповідає її антикодону.

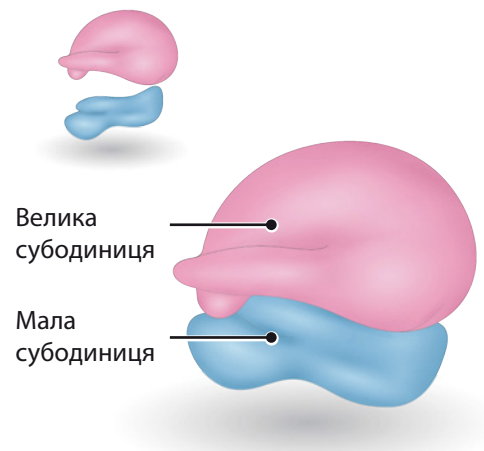
Синтез білка

Синтез білка відбувається на рибосомі й здійснюється у два етапи.

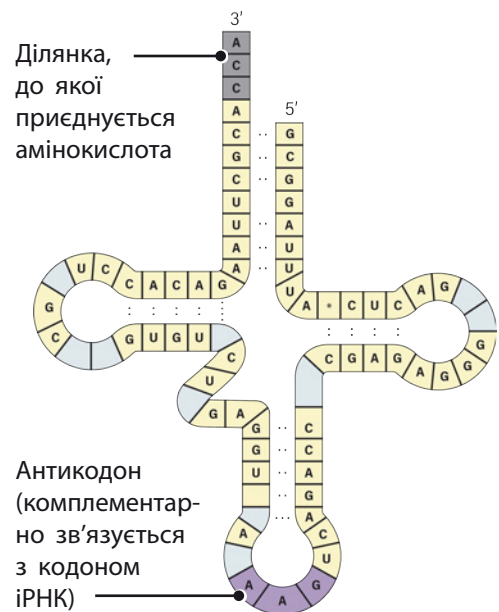
Перший етап синтезу білка — транскрипція. Процес відбувається в ядрі клітини. З певних ділянок ДНК (з певних генів) робляться РНК-копії. Основним ферментом транскрипції є **РНК-полімераза**, яка будує ланцюжок мРНК на матриці ДНК. Особливістю транскрипції є те, що за принципом комплементарності навпроти аденіну ДНК (А) розташовується не тимін, а урацил РНК (У). Потім мРНК транспортується з ядра в цитоплазму.

Другий етап синтезу білка — трансляція. У процесі трансляції інформація, що міститься в мРНК, реалізується — синтезується відповідний білок. Білок-синтезувальна система клітини містить ферменти, молекули мРНК, 20 амінокислот, молекули мРНК, рибосоми (мал. 23.4, с. 116).

Процес трансляції здійснюється в рибосомах, які розташовані в цитоплазмі клітини. Синтез відбувається згідно з генетичним кодом, тобто кожному триплету нуклеотидів мРНК відповідає певна амінокислота. Біосинтез білка забезпечується енергією завдяки розщепленню ГТФ і АТФ.



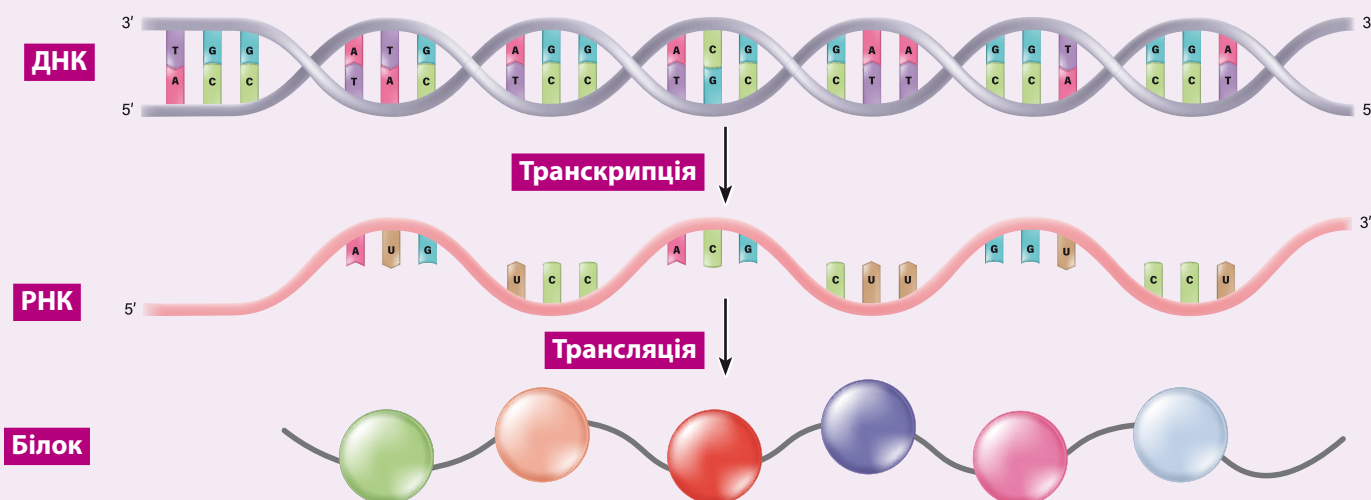
Мал. 23.2. Будова рибосоми: мала субодиниця (а); велика субодиниця (б)



Мал. 23.3. Будова тРНК

Транскрипція — це процес синтезу всіх типів РНК, що відбувається в ядрі на матриці ДНК за принципом комплементарності нітрогенових основ.

Трансляція, або біосинтез білка, — це етап, під час якого за інформацією, що міститься в мРНК, синтезується поліпептидний ланцюг молекули білка.



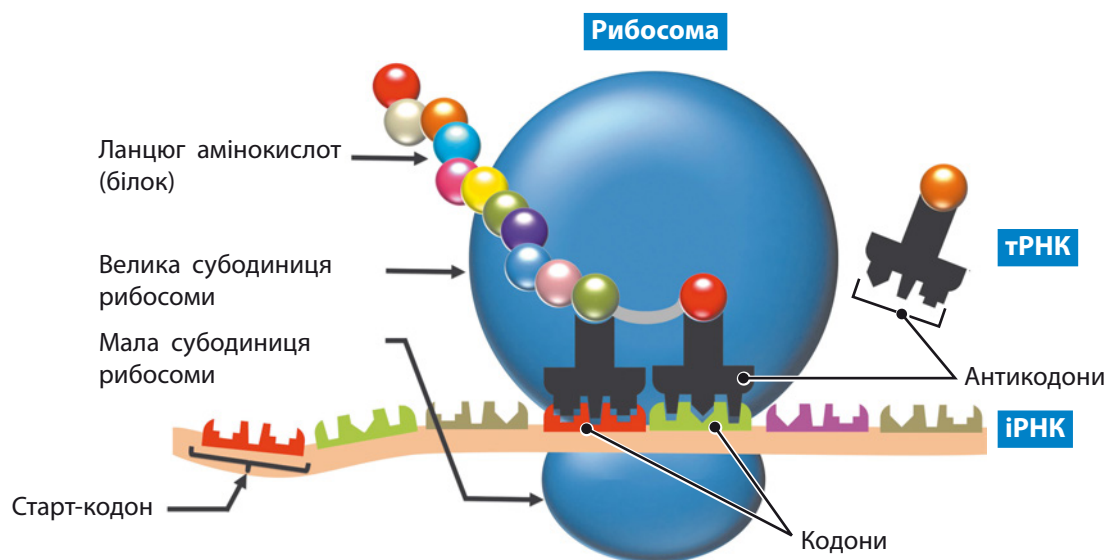
Мал. 23.4. Схема синтезу білка: перший етап — транскрипція, другий етап — трансляція

Процес трансляції складається з трьох етапів: ініціації, елонгації та термінації.

Ініціація — початок синтезу поліпептидного ланцюга. На цьому етапі відбуваються приєднання малої субодиниці рибосоми до ланцюга мРНК, розпізнавання старт-кодону, приєднання великої субодиниці рибосоми та транспорт до рибосоми першої амінокислоти.

Старт-кодомом завжди є кодон АУГ. До нього приєднується тРНК, що приносить до рибосоми амінокислоту метіонін, яка й буде першою амінокислотою майбутнього поліпептидного ланцюга.

Ініціація — початок синтезу поліпептидного ланцюга.



Мал. 23.5. Синтез білка на рибосомі

Молекула тРНК приєднується до молекули мРНК за допомогою свого триплету — антикодону — за принципом комплементарності.

Елонгація — нарощування поліпептидного ланцюга (мал. 23.5). Після старт-кодона рибосома аналізує наступний кодон, розпізнає його та приєднує до нього відповідну молекулу тРНК з наступною амінокислотою.

Термінація — це припинення нарощування поліпептидного ланцюга, яке відбувається тоді, коли з'являється один зі стоп-кодонів мРНК (УАА, УАГ, УГА).

Усі ці процеси відбуваються за участю ферментів.

! **Елонгація** — нарощування поліпептидного ланцюга.

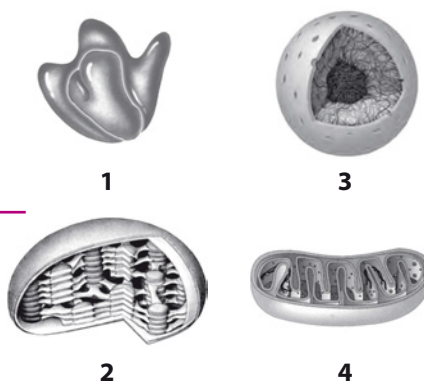
! **Термінація** — припинення синтезу поліпептидного ланцюга.



Запитання і завдання

1. Порівняйте мРНК та тРНК. Чим вони схожі? Чим різняться? Укладіть порівняльну таблицю.
2. Які функції виконують різні типи РНК під час здійснення процесу трансляції?
3. Які етапи синтезу білка ви знаєте? Що відбувається на кожному з них?
4. Яку функцію виконує антикодон у тРНК?
5. Використовуючи принцип комплементарності, добудуйте на наведеному ланцюзі ДНК (матриця) ланцюг молекули РНК (копію цього фрагмента ДНК).
Ланцюг ДНК: А-Т-Т-Ц-А-Г-Г-Ц-Ц-А-Т-Ц
Ланцюг РНК:
6. Використовуючи принцип комплементарності, добудуйте на наведеному ланцюзі РНК два відповідні ланцюги молекули ДНК.
РНК: -У-У-Ц-Г-А-А-Ц-Г-А-У-А-Г-Ц-Ц-У-
1-й ланцюг ДНК:
2-й ланцюг ДНК:
7. Установіть відповідність між структурою клітини, зображеною на малюнку (1–4), та біологічним процесом (А–Д), який вона забезпечує.

А синтез білка
Б фотосинтез
В накопичення й транспортування вуглеводів
Г здійснення процесів внутрішньоклітинного дихання
Д збереження спадкової інформації
8. Розгляньте таблиці генетичного коду на с. 118. Ознайомтеся з інструкціями до роботи з ними. Зверніть увагу, що таблиці укладено для молекули РНК. Доведіть це.



Опорні точки

Синтез білка відбувається у два етапи: це транскрипція і трансляція. Транскрипція — синтез усіх типів РНК — є ферментативним процесом, який відбувається в ядрі клітини. Трансляція, тобто синтез білка, відбувається в цитоплазмі за допомогою рибосом за участю ферментів, тРНК, іРНК, молекул АТФ і амінокислот.

Таблиця генетичного коду для РНК

Перша основа	Друга основа				Третя основа
	У	Ц	А	Г	
У	ФЕН	СЕР	ТИР	ЦИС	У
	ФЕН	СЕР	ТИР	ЦИС	Ц
	ЛЕЙ	СЕР	–	–	А
	ЛЕЙ	СЕР	–	ТРИ	Г
Ц	ЛЕЙ	ПРО	ГІС	АРГ	У
	ЛЕЙ	ПРО	ГІС	АРГ	Ц
	ЛЕЙ	ПРО	ГЛН	АРГ	А
	ЛЕЙ	ПРО	ГЛН	АРГ	Г
А	ІЛЕ	ТРЕ	АСН	СЕР	У
	ІЛЕ	ТРЕ	АСН	СЕР	Ц
	ІЛЕ	ТРЕ	ЛІЗ	АРГ	А
	МЕТ	ТРЕ	ЛІЗ	АРГ	Г
Г	ВАЛ	АЛА	АСП	ГЛІ	У
	ВАЛ	АЛА	АСП	ГЛІ	Ц
	ВАЛ	АЛА	ГЛУ	ГЛІ	А
	ВАЛ	АЛА	ГЛУ	ГЛІ	Г

Інструкція до таблиці генетичного коду для РНК.

Якщо ви шукаєте триплет, який кодує певну амінокислоту, знаходите в таблиці її скорочену назву, наприклад «ВАЛ» (це валін). Валін записаний у таблиці чотири рази. Літера першої основи для триплетів валіну розміщена у відповідному стовпчику. Це літера Г, і вона одна для всіх чотирьох позначок «ВАЛ». Літеру другої основи дивіться зверху таблиці. Літера теж одна, це літера У. А ось третя літера різниться для кожної позначки «ВАЛ». Тобто амінокислота валін кодується чотирма триплетами в молекулі РНК: ГУУ, ГУЦ, ГУА, ГУГ. Прочерки «–» позначають стоп-кодони, які не кодують амінокислот.

Інструкція до кругової таблиці генетичного коду для РНК. Щоб визначити певний триплет, слід розпочинати від центра таблиці, позначеного цифрою 1. Кругова таблиця генетичного коду містить у першому внутрішньому колі літеру першої основи триплету, у другому колі — другої літери, а в третьому — третьої. Скорочені назви амінокислот записані в зовнішньому колі. Користуючись круговою діаграмою, спробуймо визначити, якими триплетами кодується амінокислота валін. Валін записаний у зовнішньому колі один раз. Літеру першої основи для триплетів валіну знаходимо в першому внутрішньому колі. Це літера Г, і вона одна. Літеру другої основи дивимось у другому колі. Літера теж одна, це літера У. А ось третя літера може бути різною, бо в третьому колі їх чотири. Тобто амінокислота валін кодується чотирма триплетами в молекулі РНК: ГУУ, ГУЦ, ГУА, ГУГ.

Кругова таблиця генетичного коду для РНК

► Старт
■ Стоп



- Користуючись таблицею генетичного коду для РНК, визначте, якими триплетами кодується амінокислота лейцин; якими триплетами кодуються стоп-кодони.
- Користуючись круговою таблицею генетичного коду для РНК, визначте, якими триплетами кодується амінокислота триптофан; якими триплетами кодується амінокислота цистеїн.



rnk.com.ua/
113301



§ 24

Цитогенетика. Будова хромосом. Гомологічні й негомологічні хромосоми. Каріотип

Цитогенетика. Будова хромосом

Наука, яка вивчає хромосоми, має назву **цитогенетика**. Ця наука бере початок від 1956 року, коли було доведено, що в соматичних клітинах у людей міститься 46 хромосом.

Слово «хромосома» походить від двох грецьких слів: *chróma* — колір, забарвлення і *sóma* — тіло. Ця назва пов'язана з тим, що хромосоми добре видно під мікроскопом, коли клітина ділиться, і їх можна фарбувати барвниками (мал. 24.1). Одна хромосома містить від декількох сотень до декількох тисяч структурних генів і забезпечує їхнє спільне (зчеплене) успадкування. Саме тому хромосому називають **групою зчеплення**.

Хромосоми побудовані з **хроматину** — молекулярного комплексу, що складається з ДНК і спеціальних білків — **гістонів**. ДНК містить спадкову інформацію, а гістони допомагають «упаковувати» й «розпаковувати» ДНК (мал. 24.2, с. 120). Тому хроматин може перебувати у двох станах:



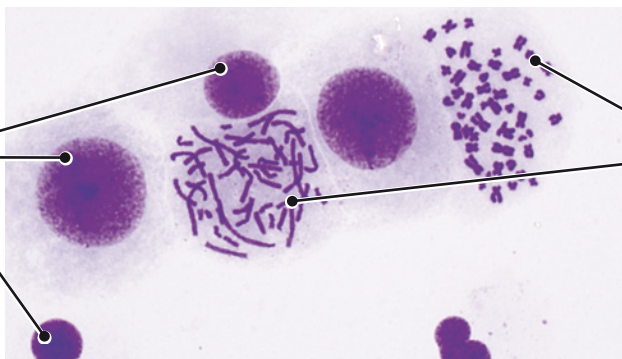
Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Учені вивчали кількість хромосом у людини. У ранніх дослідженнях визначили, що їх 48. Але потім учені створили більш точні методи приготування й аналізу препаратів хромосом, і з'ясувалося, що насправді їх у людини 46.

Чому вчені завжди перевіряють правильність наукових даних і вдосконалюють методи їхнього отримання?

! **Цитогенетика** — це наука, що вивчає будову та функціонування хромосом, розглядає явища спадковості й мінливості на клітинному рівні.

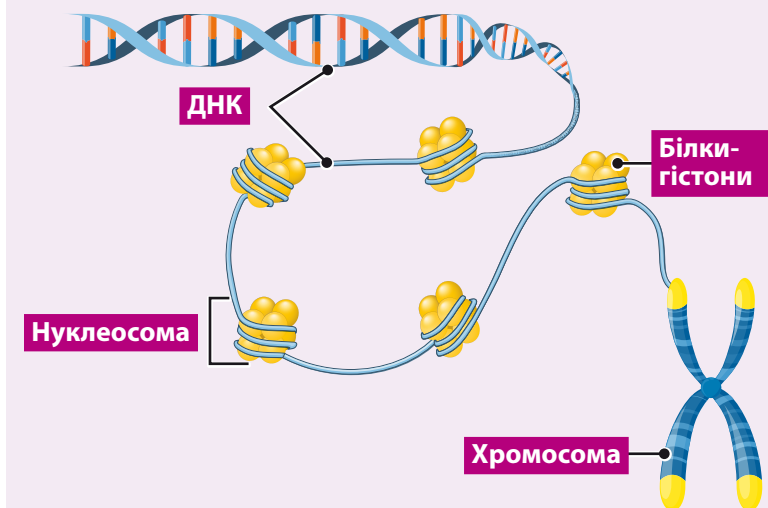
У клітинах, що не здійснюють поділ, не можна побачити хромосом; вони перебувають у неконденсованому стані



Хромосоми в клітинах, що здійснюють поділ; вони перебувають у конденсованому стані

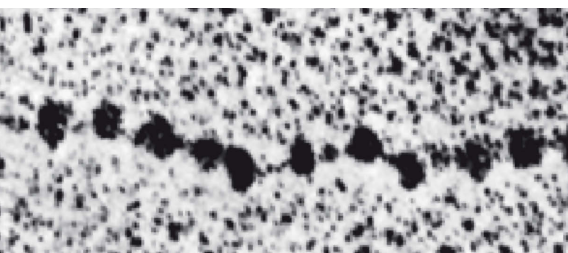
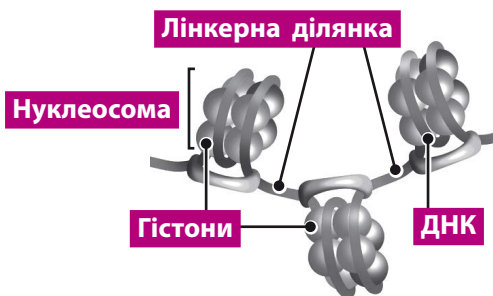
Мал. 24.1. Такі на вигляд хромосоми людини під мікроскопом. Їх видно у двох клітинах, які здійснюють поділ

Мал. 24.2. ДНК упакована в хромосомі за допомогою білків-гістонів у так звані **нуклеосоми**, на які намотана молекула ДНК. Одну нуклеосому формують вісім білків-гістонів



Робота в парі

Розгляньте мал. 24.2 і світлину внизу. Розкажіть про будову і значення нуклеосом. Дізнайтеся, що таке лінкерна ділянка.



Такі на вигляд нуклеосоми на світлинах, зроблених завдяки електронному мікроскопу

Хроматиди — це дві копії однієї молекули ДНК, які після реплікації, тобто подвоєння, ДНК залишаються разом.

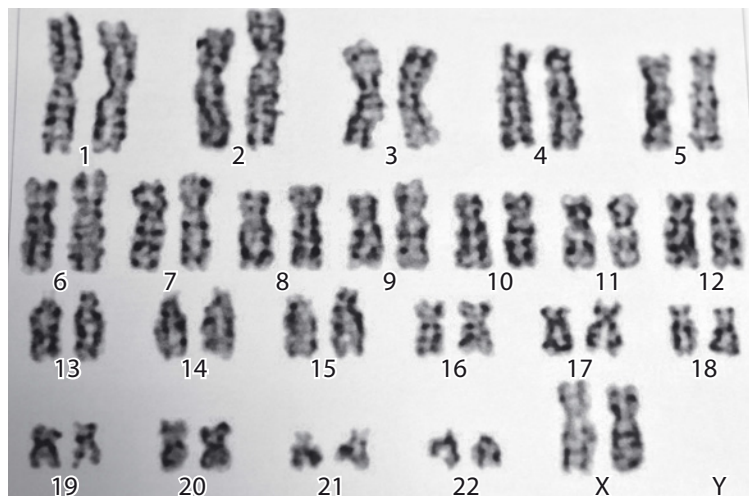
- 1) у робочому (розпакованому, неконденсованому, деспіралізованому), коли з ДНК активно зчитується спадкова інформація; тоді хромосоми не можна побачити у світловий мікроскоп;
- 2) у неактивному (упакованому, конденсованому, спіралізованому), під час поділу клітини або на ділянках, де спадкова інформація не зчитується, тоді хромосоми можна побачити у світловий мікроскоп.

Окрім молекул ДНК і білків-гістонів, хроматин містить також негістонові білки, РНК, ферменти. Разом вони забезпечують конденсацію і деконденсацію ДНК, беруть участь у синтезі ДНК й РНК та інших процесах.

Під час поділу клітини хроматин є максимально конденсованим і має вигляд паличкоподібних структур різної довжини — **мітотичних хромосом** (мал. 24.3). Такі хромосоми не є активними й не беруть участі в синтезі ДНК або РНК.

На кожній хромосомі є звужена зона, яка ділить хромосому на два плеча і зветься **первинна перетяжка**. Кінцеві частини хромосом дістали назву **теломери**. Вони, як захисні ковпачки, призначені для попередження ушкоджень під час копіювання ДНК. У первинній перетяжці розташована **центромера** — ділянка хромосоми, яка поєднує дві **сестринські хроматиди**. Крім того, центромера в процесі поділу клітини забезпечує прикріплення веретена поділу для розділення хромосом (мал. 24.4).

Залежно від місця розташування центромери, формуються різні типи хромосом: рівноплечі, нерівноплечі й паличкоподібні.



Мал. 24.3. Це мітотичні хромосоми людини, які були сфотографовані в період поділу клітини й потім розташовані по розміру від великих до менших (від першої пари до двадцять другої). Двадцять третя пара хромосом, розміщених наприкінці, є парою статевих хромосом

Гомологічні й негомологічні хромосоми

Кількість хромосом у клітинах більшості видів живих організмів парна. Це пояснюється тим, що в клітинах тіла є парні хромосоми, однакові за формою й розміром, одна від батьківського організму, а друга — від материнського. Хромосоми, однакові за формою та розміром, що несуть однакові гени, називають **гомологічними хромосомами**.

Хромосомний набір соматичної клітини, у якій кожна хромосома має собі пару, називається подвійним, або **диплоїдним**, набором і позначається $2n$. Хромосомний набір, у якому кожна хромосома не має пари, називається одинарним, або **гаплоїдним**, і позначається n (мал. 24.5, с. 122).



Українські жінки в сучасній науці

Віра Юріївна Мандрик (1931–2011) — ботанікня, цитологиня, каріосистематикня, докторка біологічних наук, професорка Ужгородського університету. Її праці були присвячені цитоембріології квіткових рослин, основам альгології та іншим важливим темам.

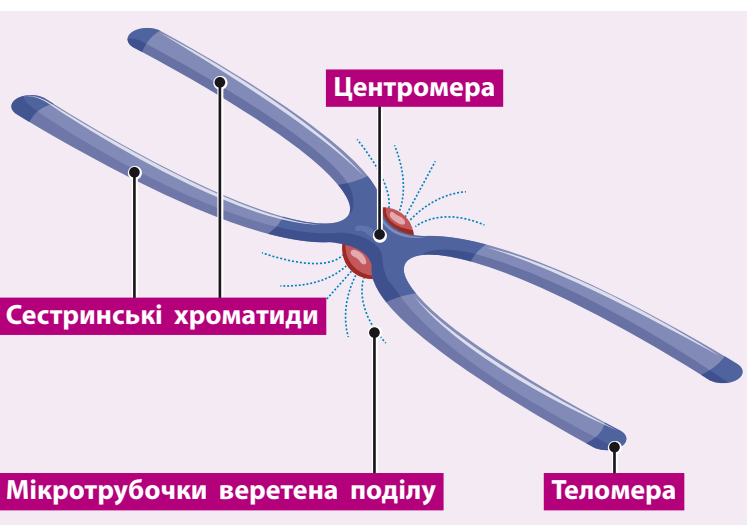


Відкритий мікрофон

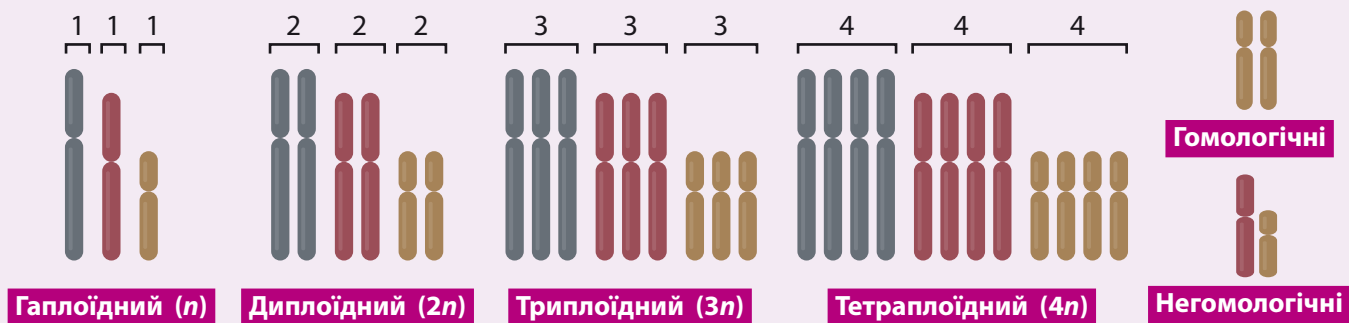
Користуючись мал. 24.2, розкажіть про різні рівні структурної організації генетичного матеріалу в клітині.



Анімація
«Хромосома»
rnk.com.ua/113383



Мал. 24.4. Будова мітотичної хромосоми



Мал. 24.5. Види хромосомного набору

Негомологічні хромосоми, на відміну від гомологічних, не утворюють пари в диплоїдному наборі хромосом. Вони відрізняються за своєю формою, розміром і складом генів.

Каріотип

Сукупність кількісних і якісних ознак хромосомного набору соматичної клітини називають **каріотипом**. До кількісних ознак належать кількість хромосом і їхні розміри, до якісних ознак — форма хромосом, особливості їхнього диференційного забарвлення та складу генів. Опис каріотипу виконується під час вивчення мітотичних хромосом у клітині, яка здійснює поділ.

Важливим показником каріотипу є кількість хромосом. Для соматичних клітин багатоклітинних організмів характерний диплоїдний хромосомний набір (табл. 9).

Хромосомному комплексу властиві статеві відмінності. Набори хромосом самця й самиці відрізняються за однією парою **статевих хромосом**. Наприклад, у всіх самиць ссавців статеві хромосоми гомологічні й називаються X-хромосомами. А в самця статеві хромосоми негомологічні, тобто різні. Одна хромосома — це X-хромосома, а друга — Y-хромосома. В X-хромосомах та Y-хромосомах розташовані різні гени, і ці хромосоми відрізняються за розмірами й формою.

Хромосомний набір здорової людини має 46 хромосом: 22 пари аутосом (це всі хромосоми, крім статевих) і одна пара статевих хромосом (у жінки — XX, у чоловіка — XY).

Вивчення каріотипу людини є важливим для діагностики та профілактики спадкових хвороб людини. Наприклад, причиною синдрому Дауна, який пов'язаний із серйозними порушеннями в розвитку та функціонуванні організму, є додаткова — третя — хромосома 21-ї пари.

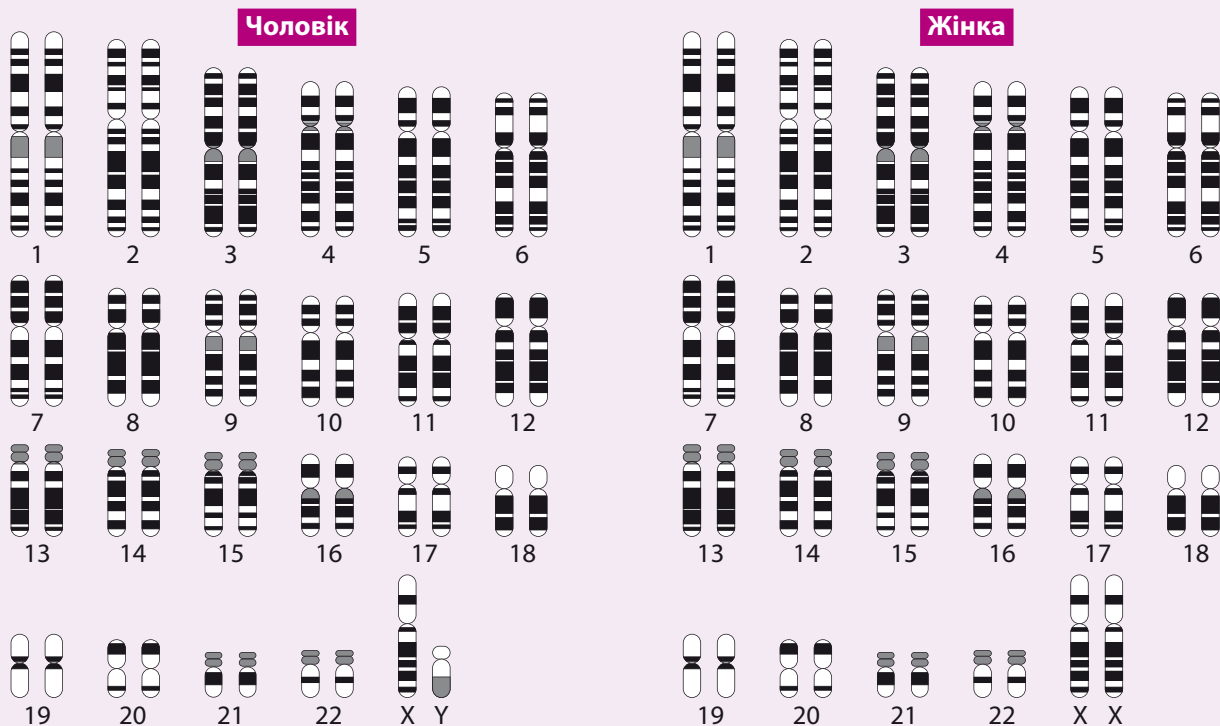
Каріотип — це сукупність характеристик хромосомного комплексу: кількість хромосом, їхні розміри, форма, диференційне забарвлення, склад генів.

Поділіться своїми думками

Розгляньте табл. 9. Шимпанзе й картопля мають однакову кількість хромосом — 48. Чому ж ці організми такі різні?

Таблиця 9. Кількість хромосом у клітинах різних видів

Рослини	Тварини
Береза 84	Шимпанзе 48
Цибуля 16	Собака 78
Жито 14	Кінь 64
Картопля 48	Свиня 38
Соя 40	Вівця 54
Горох 14	Кішка 38
Ялина 24	Кролик 44
Кукурудза 20	Голуб 16
Ясен звичайний 46	Дрозодфіла 8



Мал. 24.6. Каріотиби здорових чоловіка і жінки (малюнки)

Видова сталість кількості, розміру й форми хромосом відіграє важливу роль у процесі еволюції живих організмів. Саме сталість каріотипу зберігає адаптивні властивості, характерні для певного виду.

Лабораторне мікроскопічне вивчення будови хромосом і каріотипу людини

Розгляньте мал. 24.6. Знайдіть аутосоми, зверніть увагу на їхні відмінності за розмірами, формою й диференційним забарвленням. Знайдіть статеві хромосоми. Визначте, чим вони відрізняються в чоловіка й жінки. Зробіть висновки.



Лабораторне
мікроскопічне
вивчення будови
хромосом
і каріотипу людини
rnk.com.ua/113384

Опорні точки

Хромосоми є органелами, які становлять надмолекулярний рівень організації генетичного матеріалу. Кожна хромосома містить одну молекулу ДНК, яка складається з десятків тисяч пар нуклеотидів і може мати різну кількість генів. Сукупність кількісних і якісних ознак хромосомного набору соматичної клітини називають каріотипом. Вивчення каріотипу людини є важливим для діагностики та профілактики спадкових хвороб.

Запитання і завдання

1. Що таке каріотип? Яку роль відіграє видова сталість каріотипу?
2. Назвіть основні характеристики та типи хромосом. Які хромосоми називають гомологічними, а які — негомологічними?
3. Яке практичне значення має вивчення каріотипу людини? Наведіть приклади.
4. Про які статеві відмінності хромосомного комплексу ви знаєте? Чому важливо про це знати? Наведіть приклади.



rnk.com.ua/
113302

§ 25

Життєвий цикл клітин. Поділ клітин еукаріотів. Мітоз



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Усі ми знаємо про життя людини, про те, що вона народжується, потім відбуваються певні періоди її життя: дитинство, молодість, зрілість, старість.

А як живе клітина? У який спосіб відбувається її життя? Які періоди цього життя вона переживає? Чи відрізняється це життя від життя людини?

Життєвий цикл еукаріотичних клітин

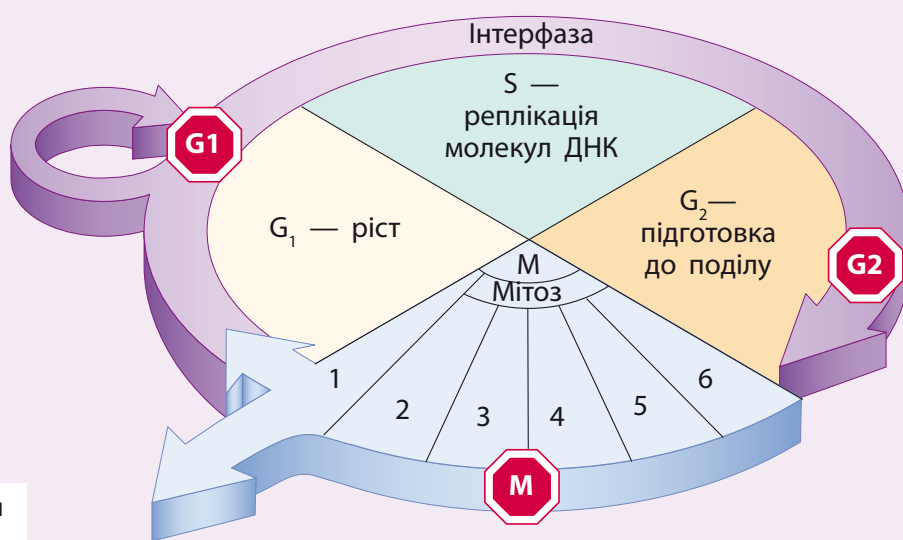
Будь-яка жива клітина виникає в результаті поділу клітини-попередниці. Багатоклітинний організм починає свій розвиток найчастіше з однієї-єдиної клітини. Потім шляхом багаторазового поділу утворюється багато клітин, які й становлять організм.

Життя клітини від одного поділу до наступного називається **клітинним циклом**, або життєвим циклом клітини (мал. 25.1). Клітинний цикл складається з інтерфази та мітозу. **Інтерфаза** — це стадія життєвого циклу клітини між поділами, а **мітоз** — це період поділу еукаріотичної клітини.

Інтерфаза охоплює три періоди.

1. **Пресинтетичний** (G_1 — від англ. "gap" — проміжок). Клітина росте та функціонує.

- 1 — цитокінез
- 2 — телофаза
- 3 — анафаза
- 4 — метафаза
- 5 — прометафаза
- 6 — профаза



Мал. 25.1. Життєвий цикл клітини

2. **Синтетичний** (S — від англ. "synthesis" — синтез). У клітині відбувається реплікація молекул ДНК, подвоєння центріолей, синтез білків гістонів, збільшується кількість органел.
3. **Постсинтетичний** (G₂). Підготовка до поділу. Після інтерфази клітина переходить до поділу — мітозу.

Поділ клітин еукаріотів. Мітоз

Мітоз є способом поділу еукаріотичних клітин (мал. 25.2). Під час мітозу з однієї материнської клітини утворюються дві дочірні клітини, які є копіями материнської. Кількість хромосом у кожній дочірній клітині така ж сама, яка була в материнської. З однієї диплоїдної ($2n$) клітини утворюються дві диплоїдні ($2n$).

Біологічне значення мітозу полягає в підтриманні постійної кількості хромосом, коли спадкова інформація передається від клітини до клітини під час поділу. Мітоз є основою росту, регенерації та нестатевого розмноження організмів.

У мітозі виділяють профазу, метафазу, анафазу та телофазу (мал. 25.3, с. 126).

У **профазі** починається конденсація ДНК — хроматинові нитки укладаються в щільні хромосоми. Зникає ядерце. Ядерна оболонка розпадається, і хромосоми опиняються в цитоплазмі. Починає формуватися веретено поділу.

У **метафазі** завершується утворення веретена поділу. Хромосоми приєднуються до веретена поділу центромерами й утворюють так звану «метафазну пластинку» в зоні клітинного екватору. У метафазі чітко видно, що кожна хромосома складається з двох хроматид, з'єднаних у ділянці центромери. У цей період легко полічити кількість хромосом і вивчати їхню будову.

В **анафазі** хроматиди розходяться до полюсів клітини.

У **телофазі** відбуваються процеси, зворотні до тих, які спостерігаються в профазі: починається деспіралізація ДНК, і хромосоми вже погано розрізняються у світловому мікроскопі. Навколо хромосом біля кожного полюса формується ядерна оболонка і ядерця. Руйнується веретено поділу.

Після телофази відбувається розділення цитоплазми (цитокінез) з утворенням двох дочірніх клітин.

У результаті мітозу з однієї клітини виникають дві дочірні з тим самим набором хромосом, який був у материнської клітини.

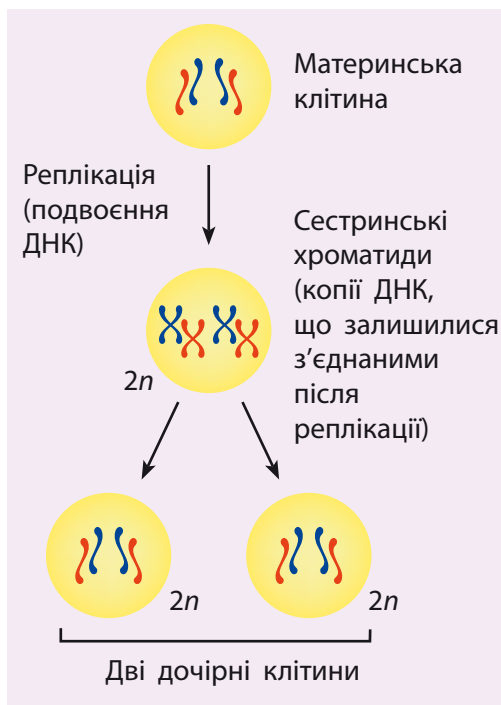


**Знайдіть інформацію
й виконайте завдання**

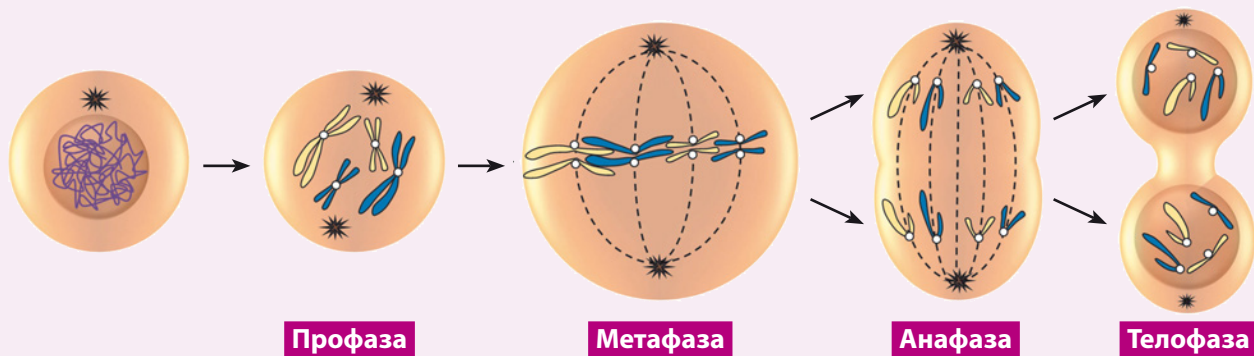
Чому в організмі людини жорстко контролюються процеси поділу клітин і регенерація?



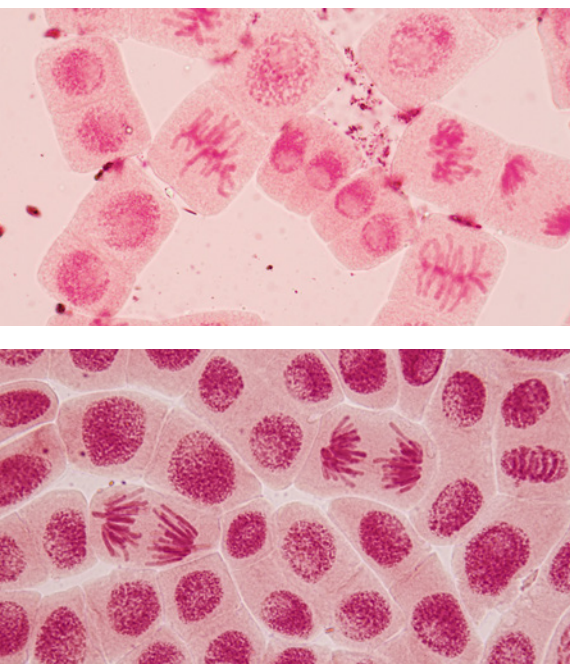
Анімація
«Мітоз»
rnk.com.ua/113385



Мал. 25.2. Загальна схема мітозу



Мал. 25.3. Процеси, що відбуваються в кожній фазі мітозу



Препарати з кінчика кореня цибулі під мікроскопом

Лабораторне або віртуальне мікроскопічне вивчення фаз мітозу

Мета: навчитися розпізнавати різні фази мітозу.

Обладнання та матеріали: світловий мікроскоп, постійні препарати на різних стадіях мітотичного циклу, мікрофотографії різних стадій мітотичного поділу клітин.

Хід роботи

1. Підготуйте мікроскоп до роботи.
2. За малого збільшення мікроскопа знайдіть на препараті клітини, що здійснюють поділ. Розгляньте їх. За великого збільшення мікроскопа знайдіть клітини, які перебувають **на стадії метафази**. Замалуйте їх. Напишіть, що відбувається в цій фазі мітозу. Зробіть висновки.
3. За малого збільшення мікроскопа знайдіть на препаратах клітини, що здійснюють поділ. Розгляньте їх. За великого збільшення мікроскопа знайдіть клітини, які перебувають на стадії анафази. Замалуйте їх. Напишіть, що відбувається в цій фазі мітозу. Зробіть висновки.
4. Порівняйте метафазу й анафазу мітозу. Зробіть висновки.



Запитання і завдання

1. Яку біологічну роль відіграє утворення клітин?
2. Поясніть, чому мітоз називають «непрямим поділом».
3. У якій фазі життєвого циклу клітин відбувається подвоєння молекул ДНК?
4. У чому біологічне значення мітозу?
5. Дізнайтеся, як біологи та біологині контролюють клітинні поділи. Підготуйте про це коротку доповідь і презентуйте її в класі.
6. Якщо в клітині в G_1 період інтерфази міститься 7 пг (пікограмів) ДНК, то яка маса ДНК буде в клітині на стадії профазы?



Відеодослідження
фаз мітозу
rnk.com.ua/115151



Опорні точки

Життя клітин від одного поділу до наступного називається клітинним циклом. Основним способом поділу еукаріотичних клітин є мітоз.



rnk.com.ua/
113303

§ 26 Мейоз. Гаплоїдні та диплоїдні клітини. Порівняння процесів мітозу та мейозу

Мейоз. Гаплоїдні та диплоїдні клітини

З появою статевого розмноження з'явився ще один спосіб поділу клітин, який забезпечує сталість кількості хромосом під час розмноження — мейоз. **Мейоз** є таким поділом клітини, за якого кількість хромосом у дочірніх клітинах зменшується вдвічі. Задля цього в процесі мейозу на одне подвоєння ДНК припадає два послідовні поділи клітин (мал. 26.1).

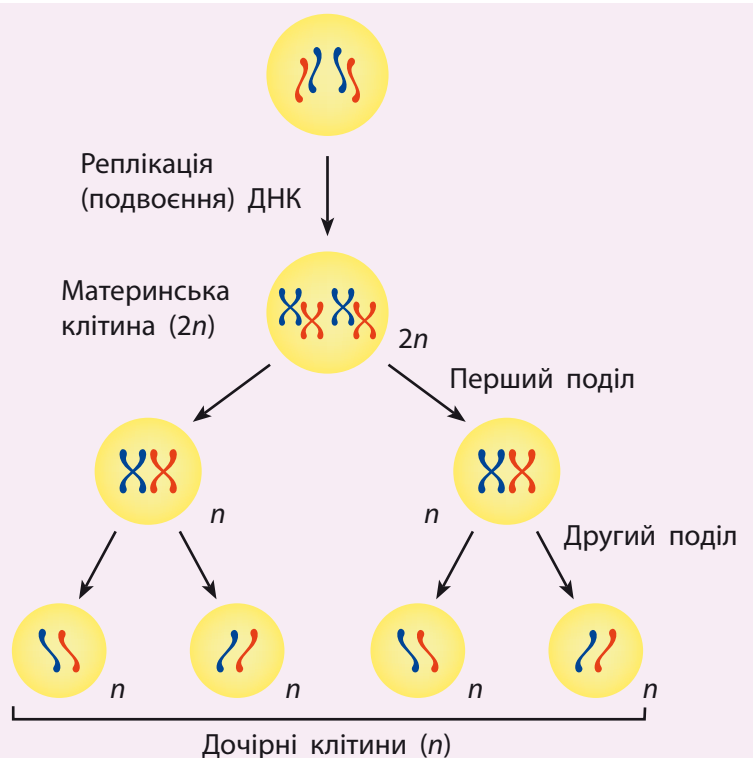
За допомогою мейозу утворюються гаплоїдні статеві клітини — гамети (мал. 26.2, с. 128),



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

У кожного з батьків у клітинах по 46 хромосом. У процесі злиття цих клітин має з'явитися клітина, у якій 92 хромосоми. Але така ситуація позбавляє змоги передати інформацію наступному поколінню саме в тому об'ємі й кількості, що були в батьків.

Як природа вирішує цю проблему?



Мейоз (від грецьк. "meiosis" — зменшення) — це спосіб поділу клітин, у результаті якого відбувається редукція (зменшення) кількості хромосом удвічі й перехід клітин із диплоїдного стану ($2n$) у гаплоїдний (n).

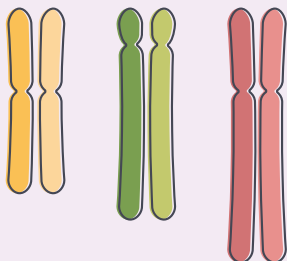
Мал. 26.1. Загальна схема мейозу



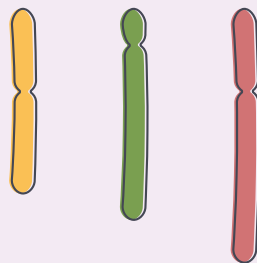
Завдання

Розгляньте мал. 26.2. Поясніть, чому гаплоїдні клітини не можуть здійснювати мейоз.

Диплоїдні клітини



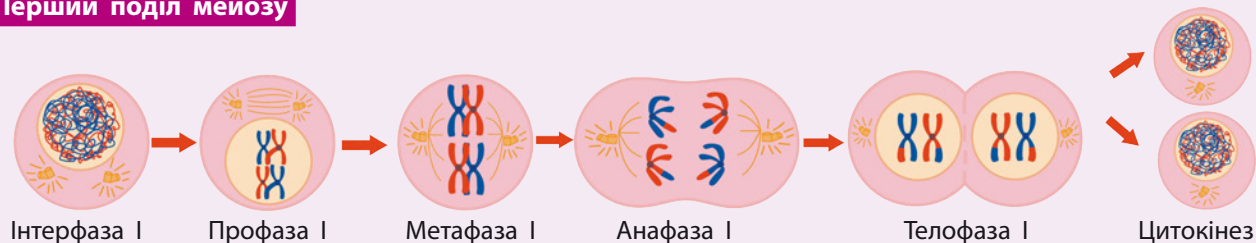
Гаплоїдні клітини



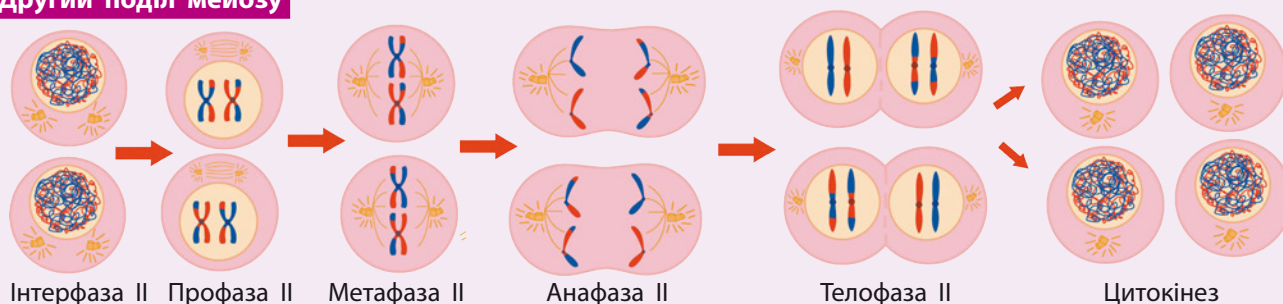
Мал. 26.2. Набір хромосом у диплоїдних і гаплоїдних клітинах

Мал. 26.3. Фази мейозу

Перший поділ мейозу



Другий поділ мейозу



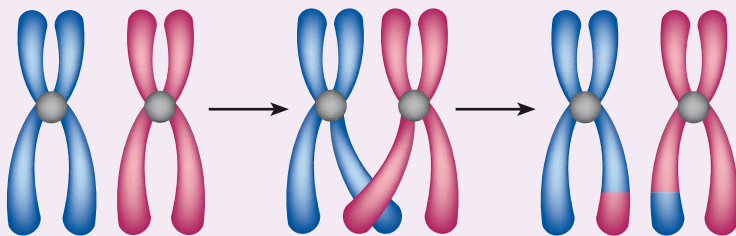
а у вищих рослин — спори. У ході подальшого процесу запліднення (злиття гамет) в організмі нового покоління відновлюється диплоїдний набір хромосом. Завдяки мейозу і злиттю гамет каріотип організмів, які використовують статеве розмноження, залишається сталим за чисельністю хромосом.

Мейозу, як і мітозу, завжди передують подвоєння ДНК, яке відбувається в інтерфазі. **Перший поділ мейозу** складається з кількох фаз: профаза I, метафаза I, анафаза I, телофаза I. Цифра I свідчить саме про перший поділ мейозу (мал. 26.3).

У профазі I відбувається спіралізація ДНК, зникає ядерце, розпадається ядерна оболонка, хромосоми розміщуються в цитоплазмі, утворюється веретено поділу. Але, на відміну від мітозу, у мейозі в профазі I відбувається додатковий процес — тісне зближення гомологічних хромосом (кон'югація) і обмін ділянками між ними. Такий процес дістав назву **кросинговер** (мал. 26.4).

Після кросинговеру в процесі поділу розходяться змінені хромосоми, тобто в них уже інша комбінація генів. Кросинговер — одне з джерел комбінативної мінливості. Завдяки кросинговеру профаза I мейозу тривала, проходить дуже складно і займає багато часу.

У метафазі I завершується формування веретена поділу. Нитки веретена прикріплюються до



Мал. 26.4. Кросингвер — тісне зближення гомологічних хромосом і обмін відповідними ділянками між ними

центромер хромосом. Центромери «шикуються» по екватору клітини, утворюється метафазна пластинка. В анафазі I **пари гомологічних хромосом** роз'єднуються й розходяться до полюсів клітини. Після телофази I утворюються дві гаплоїдні клітини. Ці клітини відразу ж розпочинають другий поділ.

Другий поділ мейозу складається з таких фаз: профаза II, метафаза II, анафаза II, телофаза II. Профаза II нетривала, кросингвер у ній не відбувається. У метафазі II утворюється веретено поділу, хромосоми центромерами прикріплюються до його мікротрубочок. У метафазі II хромосоми «шикуються» своїми центромерами в площині екватору клітини. В анафазі II до полюсів розходяться хроматиди кожної гомологічної хромосоми. Після телофази II відбувається поділ клітин. Із двох диплоїдних клітин утворюються чотири гаплоїдні дочірні клітини (мал. 26.1, с. 127).

Порівняння мітозу й мейозу

У мітозі на одне подвоєння ДНК припадає один поділ клітини, у результаті чого утворюються клітини з таким самим складом хромосом, як і в материнській. У мейозі на одне подвоєння ДНК припадає два поділи клітини, у результаті чого утворюються дочірні клітини з гаплоїдним набором хромосом, що вдвічі менше, ніж у материнській. Крім того, у мейозі більш тривала і складна профаза I, бо в ній відбувається кросингвер, а в мітозі такий процес не відбувається.



Робота в парі

Аналіз короткого англomовного тексту біологічного змісту

Прочитайте та перекладіть текст щодо кросингверу. Поясніть біологічну роль цього процесу.

Crossing over is the exchange of genetic material between non-sister chromatids of homologous chromosomes during meiosis in prophase I. This process is important for generating genetic diversity in offspring by creating new combinations of alleles.



Завдання

Розгляньте мал. 26.4 й поясніть, як завдяки кросингверу виникають нові генетичні комбінації.

Довідка. Біологічне значення мейозу полягає в підтриманні сталої кількості хромосом за наявності статевого процесу. Крім того, завдяки кросингверу відбувається рекомбінація — поява нових комбінацій генів у генотипі організмів нащадків. Виникає комбінативна мінливість.



Запитання і завдання

1. Які клітини утворюються після першого поділу мейозу?
2. Який механізм дає змогу під час мейозу зменшити кількість хромосом удвічі?
3. Яку біологічну роль відіграє кросингвер?
4. Чим подібні й відмінні мітоз і мейоз? Створіть діаграму Венна.
5. У чому полягає біологічна роль мейозу?



Опорні точки

Мейоз — це особливий спосіб поділу клітин, у результаті якого відбуваються рекомбінація генетичного матеріалу й редукція (зменшення) кількості хромосом удвічі.



rnk.com.ua/
113304



§ 27 Успадкування, зчеплене зі статтю. Взаємодія генів. Хромосомна теорія спадковості



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Інколи чоловік має претензії до власної дружини, що вона народила йому сина, а він хотів доньку, або навпаки, він хотів сина, а народилася донька.

Чи має він рацію стосовно того, що саме від жінки залежить стать дитини?



Анімація
«Хлопчик
чи дівчинка?»
rnk.com.ua/113386



Відкритий мікрофон

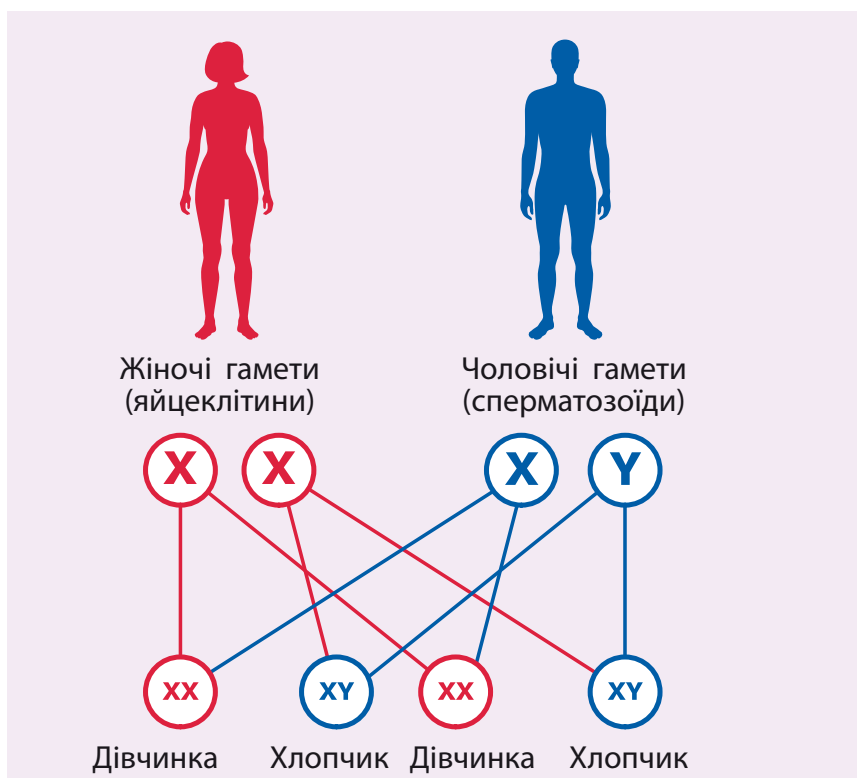
Користуючись малюнком 27.1, поясніть, як успадковується стать дитини, хто саме з батьків її визначає і чому.

Мал. 27.1. Визначення й успадкування статі в людини

Успадкування, зчеплене зі статтю

У більшості видів тварин існують дві статі: чоловіча і жіноча. Розвиток тієї чи іншої статі контролюється генами в статевих хромосомах і статевими гормонами (андрогенами, естрогенами, прогестероном).

У людини та більшості ссавців, як ви вже знаєте, у самиць статеві хромосоми є гомологічними, тоді як у самців статеві хромосоми є негомологічними і різняться за розміром, формою і складом



генів. У цьому разі жіночі статеві хромосоми позначають XX, а чоловічі — XY (мал. 27.1).

Стать, яка має однакові статеві хромосоми, наприклад XX, називається **гомогаметною**. Стать, що має різні статеві хромосоми (XY), називається **гетерогаметною**. Організми XX формують один тип гамет, які містять лише статеву хромосому X. Натомість організми XY формують два типи гамет: 50 % гамет містять X і 50 % гамет містять Y. Оскільки гамети зі статевими хромосомами продукуються з рівною ймовірністю, то співвідношення статей у потомстві складає 1 : 1.

X-хромосома в людини є великою хромосомою, яка несе близько 900 генів. Y-хромосома, на відміну від X-хромосоми, є невеликою, у ній міститься приблизно 80 генів (мал. 27.2). Y-хромосоми передаються суто за чоловічою лінією — від батька до сина, а ось X-хромосому нащадки можуть отримати як від матері, так і від батька.

Гени, розташовані в статевих хромосомах, називають генами, **зчепленими зі статтю**. З-поміж них є й такі, що зумовлюють розвиток спадкових захворювань людини, наприклад, гемофілії й дальтонізму. Так, в X-хромосомі можуть бути як нормальні алелі колірного зору і згортання крові, так і рецесивні алелі гемофілії й дальтонізму.

Розгляньмо, як успадковуються X-зчеплені стани на прикладі дальтонізму. Уведемо позначки:

X^H — нормальна алель (вона є домінантною);

X^h — алель дальтонізму (вона є рецесивною).

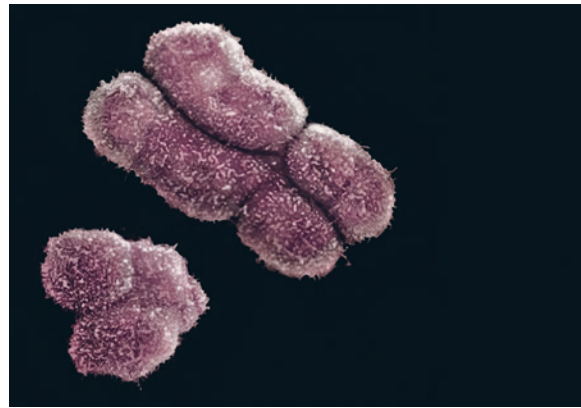
Жінки мають дальтонізм лише в тому разі, коли вони є гомозиготами за цією алеллю — X^hX^h . Якщо жінка є гетерозиготною носійкою алелі дальтонізму X^HX^h , то вона нормально розрізняє кольори, а ось її сини мають імовірність 50 % бути дальтоніками.

Зрозуміти, чому так відбувається, допоможе запис ґратки Пеннета:

P: ♀ X^HX^h × ♂ X^HY

F_1 :

♀ \ ♂	X^H	X^h
X^H	X^HX^H доньки без дальтонізму	X^HX^h доньки без дальтонізму
Y	X^HY сини без дальтонізму	X^hY сини, котрі мають дальтонізм



Мал. 27.2. Такі на вигляд X- та Y-хромосоми людини під мікроскопом

■ **Довідка.** Гени, які містяться в хромосомах гетерогаметної статі, представлені в генотипі в одному екземплярі, а це означає, що вони обов'язково виявляються у фенотипі. Їхній стан генетики / генетикині називають **гемізіготним**. Генотипи AA, aa дістали назву «гомозигота», Aa — «гетерозигота», а якщо лише A або лише a, — «гемізігота».

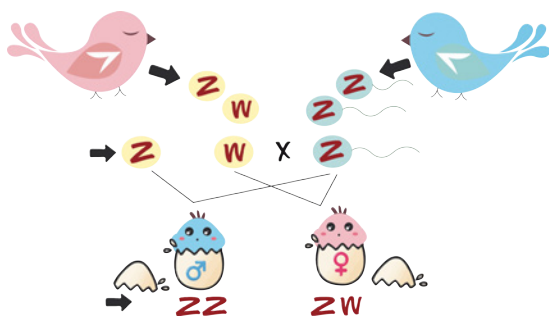
! **Гемофілія** — спадкова хвороба, пов'язана з порушенням зсідання крові.

! **Дальтонізм** — спадковий стан, за якого людина не здатна розрізняти певні кольори.



Завдання

У птахів гомогаметною є чоловіча стать, її позначають літерами ZZ, а жіноча стать є гетерогаметною, її позначають ZW. Розгляньте малюнок. Напишіть схему схрещування й визначте, від кого з батьків залежить стать нащадків у птахів.



Особливості успадкування статі в птахів

У коваликів, деяких клопів і метеликів самці мають на одну статеву хромосому менше, ніж самиці, їхній каріотип записується як X0 (0 — це нуль). Тобто в клітинах самиць дві X-хромосоми (XX), а в самців — лише одна (X0). Таке явище дістало назву **балансового визначення статі**: якщо на набір аутосом припадає дві статеві хромосоми, то формується жіноча стать, а якщо одна — то чоловіча.

Взаємодія алельних генів

Кожен ген у генотипі не працює незалежно від інших, бо можливість вияву гена залежить від умов його генного середовища. Існують різні варіанти взаємодії генів. До взаємодії **алельних генів** належать повне домінування, неповне домінування, кодомінування (мал. 27.3–27.5).

Повне домінування — це всі варіанти взаємодії алельних генів, за яких у гетерозиготі спостерігається лише прояв домінантної ознаки.

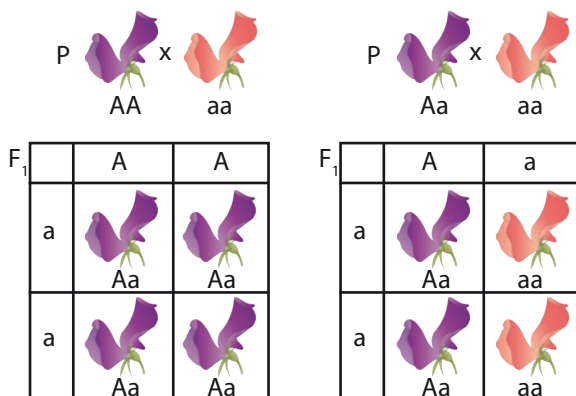
Неповне домінування — це такий тип взаємодії алельних генів, за якого прояв домінантної алелі більшою або меншою мірою послаблює прояв рецесивної алелі, тому гетерозигота за фенотипом відрізняється від домінантної гомозиготи.

Кодомінуванням називають такий тип взаємодії алельних генів, за якого обидві алелі проявляються, не послаблюючи ефектів одна одної. Прикладом кодомінування є алельні гени, що відповідають



Робота в парі

Розгляньте схему й поясніть, що відбувається за умов повного домінування одного з алельних генів (мал. 27.3).

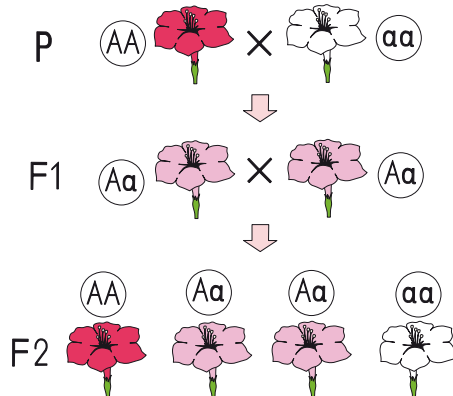


Мал. 27.3. Приклад повного домінування



Робота в парі

Розгляньте схему й поясніть, що відбувається за умов неповного домінування одного з алельних генів (мал. 27.4).



Мал. 27.4. Приклад неповного домінування

за формування чалої породи корів. Чала порода має змішане забарвлення тулуба: світле і пігментоване. Голова, шия й кінцівки найчастіше вкриті однорідною червоною або чорною шерстю (мал. 27.5).

Взаємодія неалельних генів

Основними типами взаємодії неалельних генів є **комплементарність**, **епістаз**, **полімерія** та **множинна дія генів**.

Комплементарність — це тип взаємодії неалельних генів, за якого для прояву певного стану ознаки необхідна наявність щонайменше двох домінантних алелей різних генів. Тобто комплементарні неалельні гени доповнюють один одного, тому й виникає певна ознака.

До **епістазу** належать такі явища взаємодії неалельних генів, за яких один неалельний ген пригнічує розвиток ознаки іншого. Наприклад, у курей забарвлення оперення визначається домінантною алеллю одного гена, тоді як домінантна алель іншого гена пригнічує розвиток забарвлення, унаслідок чого більшість курей є білими.

Полімерією називають явище, за якого кілька різних неалельних генів разом впливають на розвиток однієї ознаки. У такий спосіб визначаються ріст і маса тіла, колір волосся й шкіри.

Множинна дія генів пов'язана з властивістю алеля одного гена впливати на формування певних станів кількох різних ознак.

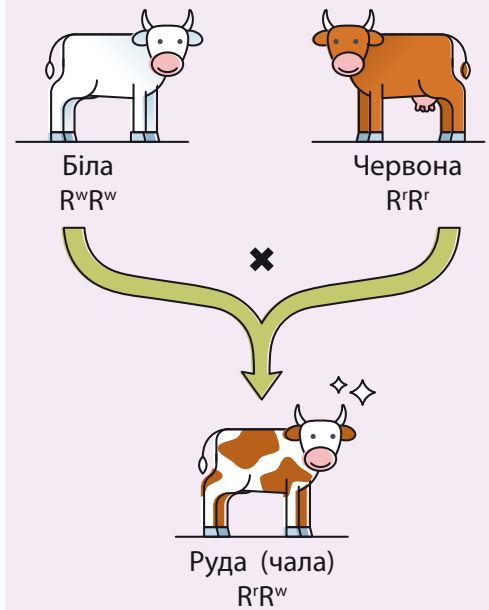
Зчеплене успадкування. Хромосомна теорія спадковості

Зчеплене успадкування — це успадкування ознак, гени яких перебувають в одній хромосомі. Гени однієї хромосоми утворюють **групу зчеплення**. Кількість груп зчеплення дорівнює кількості пар хромосом.

Наприклад, можна так записати гомологічні хромосоми з розташованими на них генами:

$$\begin{array}{c} \underline{d \ F \ T \ R \ N \ F \ g \ H \ A \ P \ B} \\ \underline{D \ f \ T \ R \ N \ F \ G \ H \ a \ P \ B} \end{array}$$

Дві паралельні лінії символізують пару гомологічних хромосом. Під час формування гамет усі гени, розміщені на одній хромосомі, потрапляють разом в одну з гамет.



Мал. 27.5. Приклад кодомінування алельних генів, що відповідають за формування чалої породи корів



Завдання
на приклад
комплементарності
rnk.com.ua/113387

Довідка. Якщо певні гени D і G є зчепленими, це треба враховувати в записі схрещування. Ми малюємо хромосому й розташовуємо на ній позначки генів, бо інакше неможливо показати, що гени успадковуються разом, спільно.

$$P: \text{♀} \frac{DG}{DG} \times \text{♂} \frac{dg}{dg}$$

$$F_1:$$

♀	$\frac{DG}{DG}$
♂	$\frac{dg}{dg}$

F_2 :

	Некросо- верні (нере- комбінантні) гамети		Кросоверні (рекомбі- нантні) гамети	
♀ ♂	<u>DG</u>	<u>dg</u>	<u>Dg</u>	<u>dG</u>
<u>dg</u>	<u>DG</u> <u>dg</u>	<u>dg</u> <u>dg</u>	<u>Dg</u> <u>dg</u>	<u>dG</u> <u>dg</u>

Основні положення хромосомної теорії спадковості

- Гени розташовані в хромосомах.
- Гени однієї хромосоми успадковуються зчеплено й називаються групою зчеплення. Кількість груп зчеплення в організмі дорівнює гаплоїдному набору хромосом.
- Кожний ген займає в хромосомі певне місце — локус.
- Гени в хромосомах розташовані лінійно.
- Порушення зчеплення відбувається лише в результаті кросинговеру.
- Відстань між генами в хромосомі пропорційна відсотку кросинговеру між ними.
- Незалежне успадкування притаманне лише генам, розміщеним у негомологічних хромосомах.



Анімація
«Дальтонізм»
rnk.com.ua/115264

Зчеплене успадкування порушується під час кросинговеру, який відбувається в профазі I мейозу. У результаті утворюються рекомбінантні (кросоверні) хромосоми з новими комбінаціями генів.

Частоту кросинговеру (відсоток рекомбінантних нащадків) використовують для визначення відстані між генами. Для кожної пари генів вона показує, як часто відбувається такий обмін, і залежить від відстані між генами: що далі розташовані гени, то вищою є ймовірність рекомбінації.

Відстань між генами вимірюють у сантиморганах. Одиницю названо на честь Т. Г. Моргана, який довів, що гени мають лінійне розташування в хромосомах і можуть успадковуватися разом.

Результати експериментів Т. Моргана та його колег дали змогу вже до середини 1920-х років сформулювати основні положення **хромосомної теорії спадковості**. Саме вивчення частоти кросинговеру стало основою для створення перших **генетичних карт** — схем, що показують взаємне розташування генів у хромосомах.



Запитання і завдання

- Наведіть приклади успадкування, зчепленого зі статтю.
- Дальтонізм — X-зчеплена рецесивна ознака. Жінка з нормальним колірним зором, але носійка алелю дальтонізму, виходить за чоловіка з нормальним зором. Яка ймовірність народження сина з дальтонізмом? Яка ймовірність народження доньки з дальтонізмом? Яка ймовірність, що донька буде носійкою гена дальтонізму?
- У чому наукове значення хромосомної теорії?
- Які форми взаємодії алельних і неалельних генів ви знаєте? Наведіть приклади.
- Існує три алелі одного гена, що визначають групи крові в людини за системою AB0: домінантні I^A та I^B й рецесивна алель i^0 . Алелі гена I^A та I^B кодуєть аглютиногени A і B поверхні еритроцитів. Якщо в генотипі людини дві алелі $I^A I^B$, то формується IV(AB) група крові. Який це тип взаємодії алельних генів? Які групи крові можливі в дітей, якщо в батька I група крові ($i^0 i^0$), а в матері — IV? Складіть схему схрещування.
- У курей ген S, зчеплений із Z-хромосомою, зумовлює сріблясте забарвлення пір'я, а рецесивний алель s — золотисте. Самці птахів мають хромосоми ZZ, а самиці — ZW. Сріблясту курку схрестили із золотистим півнем. Визначте генотипи батьків. Які генотипи та фенотипи матимуть нащадки? Чи однаковим буде забарвлення в самців і самиць?



Опорні точки

Гени, розташовані в статевих хромосомах, називають зчепленими зі статтю. Гени, які перебувають в одній хромосомі, утворюють групу зчеплення. Алельні й неалельні гени можуть взаємодіяти, посилюючи або пригнічуючи один одного.



rnk.com.ua/
113305



§ 28 Форми мінливості

Спадкова й неспадкова мінливості

Усім живим організмам притаманна мінливість, тобто властивість набувати нових ознак упродовж життя (схема 22). Мінливість буває спадковою (генотипною) та неспадковою (фенотипною).

Спадкова, або генотипна, мінливість закріплюється в генотипі й передається нащадкам. Завдяки такій мінливості, наприклад, відрізняються брати й сестри, виникають нові ознаки. Спадкова мінливість неспрямована та індивідуальна, тобто не залежить від впливу навколишнього середовища, і виявляється в окремих індивідуумів.

Неспадкова, фенотипна або модифікаційна, мінливість не пов'язана зі змінами генотипу й не передається від покоління до покоління. До прикладу, наша вага може змінюватися залежно від харчування, а шкіра темнішати від засмаги. Така мінливість є визначеною й груповою — залежною від впливу навколишнього середовища й такою, що виявляється одразу в багатьох організмів.



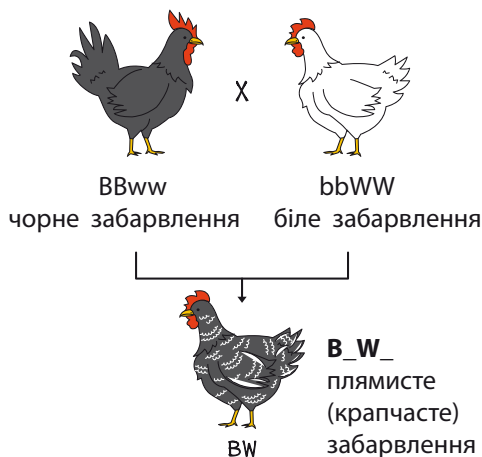
Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Погляньте на людей навколо себе. Зверніть увагу на те, що вони всі зовні різні. Коли ми бачимо монозиготних (однойцевих) близнюків, то завжди дещо здивовані, бо близнюків небагато й трапляються вони нечасто.

Яку роль відіграє мінливість у житті людей? Як виникає таке різноманіття? Чи має воно якесь еволюційне значення?

Схема 22. Типи мінливості





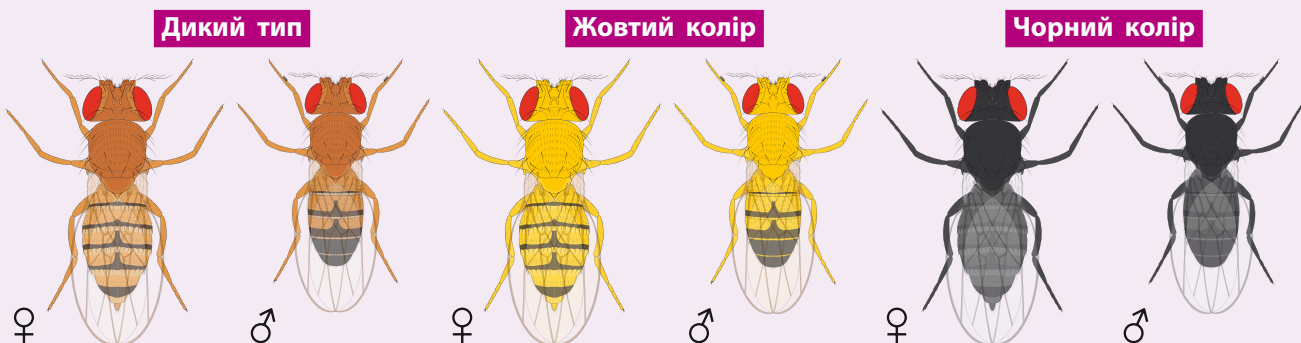
Мал. 28.1. Вияв комбінативної мінливості

Мутації — це рідкісні випадкові й неспрямовані зміни генетичного матеріалу на різних рівнях його організації.



Завдання
на виявлення
комбінативної
мінливості
rnk.com.ua/113388

Мал. 28.2. Приклади мутації забарвлення тіла в *Drosophila melanogaster*



Генотипна мінливість

Генотипна мінливість виникає внаслідок нових мутацій і комбінацій генів. Генотипна мінливість може бути комбінативною й мутаційною.

Комбінативна мінливість зумовлена поєднанням генів, які новий організм отримує під час статевого розмноження від батьків у процесі запліднення. Її біологічними основами є незалежне розходження хромосом у мейозі, рекомбінація генів під час кросинговеру та випадковість зустрічі гамет під час запліднення. Завдяки комбінативній мінливості виникають унікальні поєднання генів, що зрештою й визначають появу нових комбінацій ознак у фенотипі та властивостей організмів (мал. 28.1).

Мутаційна мінливість — це форма мінливості, спричинена мутаціями. **Мутацією** називають раптову природну або спричинену штучно зміну генетичного матеріалу, що приводить до зміни ознак організму. Наприклад, є низка мутацій, які впливають на забарвлення тіла в *Drosophila melanogaster* (мал. 28.2).

Існує кілька класифікацій мутацій.

1. За місцем виникнення мутацій їх поділяють на **соматичні** й **генеративні**. Соматичні мутації виникають у клітинах тіла, а генеративні — у статевих клітинах (гаметах). Генеративні мутації не впливають на життєдіяльність батьківських особин, але виявляються в нащадків. Соматичні мутації, навпаки, наявні в організмі, у якому з'явилися, але не впливають на наступне покоління.
2. За впливом на життєздатність організмів виділяють **летальні**, **шкідливі**, **нейтральні** й **вітальні** мутації (див. табл. 10).
3. Залежно від рівня організації спадкового матеріалу, на якому відбуваються мутації, виділяють **точкові** (генні), **хромосомні** й **геномні** мутації.

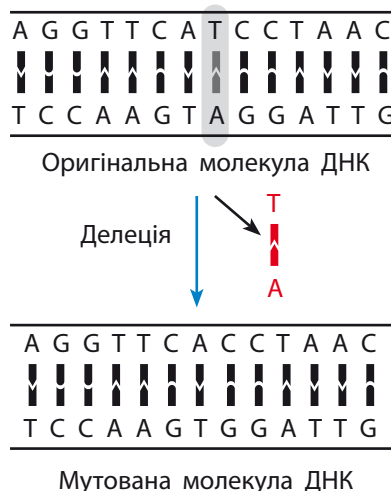
Мутації	Тварини
Летальні	Несумісні з життям і призводять до загибелі організму на ранніх етапах онтогенезу
Шкідливі	Сумісні з життям, але знижують життєздатність організму
Нейтральні	Не впливають на життєздатність організму
Вітальні	Підвищують життєздатність. Їх зазвичай називають корисними, бо саме вони забезпечують пристосування організмів до навколишнього середовища

Генні мутації пов'язані зі зміною послідовності нуклеотидів одного гена: заміна, випадання чи вставка нуклеотидів (мал. 28.3). Унаслідок генних мутацій виникають нові алелі генів, що є важливим для еволюційного процесу. Але часто генні мутації є й шкідливими, наприклад, через ці мутації в людини можуть виникнути такі захворювання, як серпоподібноклітинна анемія, муковісцидоз, гемофілія.

Хромосомні мутації спричинені змінами ділянок хромосом, що містять кілька або багато генів. До того ж самі гени можуть залишатися незмінними, змінюється лише їхнє розташування на хромосомі. Хромосомні мутації характеризуються змінами саме в структурі хромосом (мал. 28.4; мал. 28.5, с. 138).

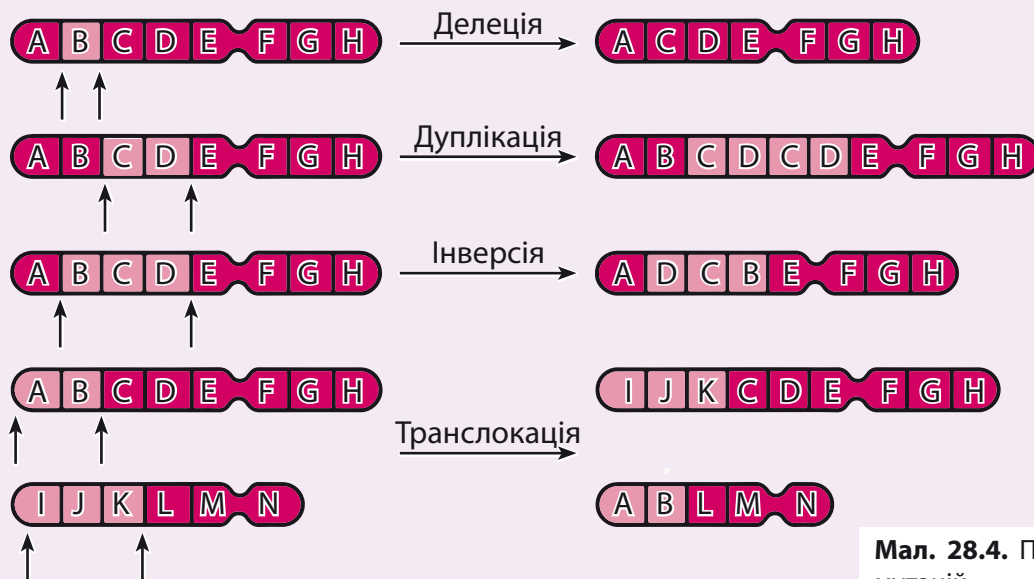
Геномними мутаціями називають мутації, що пов'язані зі зміною кількості хромосом (тобто їхньою нестачею або надлишком). Зміна кількості хромосом на число, кратне гаплоїдному набору хромосом, називається **поліплоїдією**. Поліплоїдія

Таблиця 10. Типи мутацій за впливом на життєздатність особини



Мал. 28.3. Приклад мутації, яка дістала назву делеція, — це втрата однієї пари нуклеотидів

Хромосомні мутації



Утрата певної ділянки хромосоми

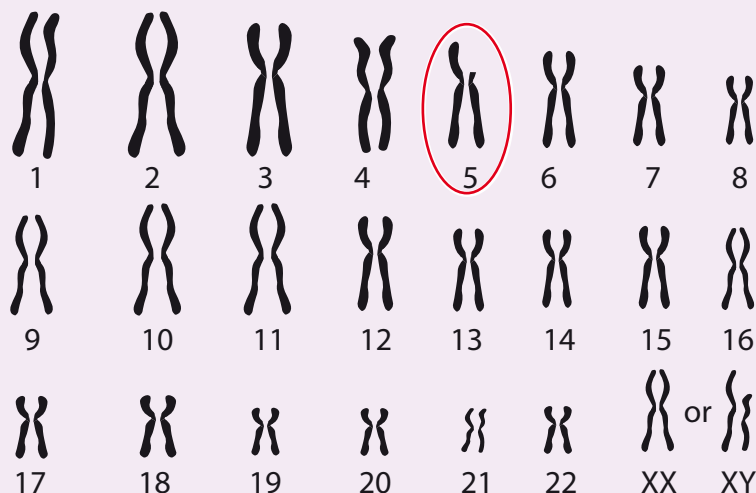
Подвоєння якої-небудь ділянки хромосоми

Розворот ділянки хромосоми на 180 градусів

Переміщення ділянки хромосоми на іншу хромосому

Мал. 28.4. Приклади хромосомних мутацій

Мал. 28.5. Прикладом хвороби в людини, яка виникає через хромосомну мутацію, є синдром котячого крику. Така хвороба виникає під час делеції (тобто втрати) короткого плеча 5-ї хромосоми



Мал. 28.6. Різні види пшениці є поліплоїдами. Тверда пшениця має 28 хромосом, у м'якої пшениці 42 хромосоми. А ось дикі види пшениці, які були предками культурних сортів, мають диплоїдний набір із 14 хромосом

Проект «Мутагени в навколишньому середовищі»

Мета: виявити й описати приклади мутагенів, із якими може стикатися людина в щоденному житті; описати вплив мутагенів на організми, зокрема, на здоров'я людини; підготувати висновки щодо того, як можна захистити себе від дії шкідливих мутагенів.

широко використовується у виведенні нових сортів рослин, оскільки вони зазвичай мають більшу продуктивність, ніж диплоїдні рослини (мал. 28.6).

Утрата однієї з хромосом або наявність додаткової хромосоми називається **анеуплоїдією**. Прикладами анеуплоїдій у людини є синдроми Дауна, Тернера, Клайнфельтера.

Мутагенні фактори

Мутації виникають або спонтанно, під дією внутрішніх чинників, або спричинені зовнішніми чинниками, які називають мутагенами. Мутагени поділяють на фізичні, хімічні й біологічні.

До **фізичних мутагенів** належать іонізуюча радіація, ультрафіолетове випромінювання, підвищені температури тощо. До них також належать волокна, що механічно ушкоджують клітини (як-от, будівельний матеріал азбест, наразі заборонений у багатьох країнах).

Хімічними мутагенами є органічні розчинники, нафтопродукти, солі важких металів, деякі лікарські препарати, а також алкоголь, нікотин і наркотичні речовини.

Біологічні мутагени — це ДНК і РНК вірусів, деякі поліпептиди, токсини окремих організмів (наприклад, цвілевих грибів) тощо.

Мутагени спричиняють розриви й перебудови молекул ДНК та заміщення одних нуклеотидів іншими. Деякі із цих речовин здатні руйнувати мікротрубочки веретена поділу й порушувати розходження хромосом під час мітозу та мейозу. Такі мутації так само можуть бути причиною спадкових хвороб у нащадків і росту пухлин. Треба вміти уникати мутагенних факторів для збереження власного здоров'я.

Мутаційна теорія

Мутаційну теорію на початку XX століття сформував генетик Гуго де Фріз.

Основні положення мутаційної теорії

1. Мутації виникають унаслідок змін генетичного матеріалу на різних рівнях його організації (генному, хромосомному, геномному).
2. Мутації виникають рідко, стрибкоподібно й випадково, вони успадковуються й мають неспрямований характер.
3. Мутації можуть призводити до загибелі організму (летальні), знижувати життєздатність організму (шкідливі), не впливати на життєздатність (нейтральні), підвищувати життєздатність (корисні).
4. Мутації є матеріалом для природного добору, а мутаційний процес — важливим фактором еволюції.

Неспадкова (модифікаційна) мінливість

Модифікаціями називають суто фенотипічні зміни організму. Модифікаційна мінливість не успадковується, бо вона не пов'язана зі змінами генотипу, а є результатом взаємодії генотипу та факторів навколишнього середовища. Наприклад, якщо люди проведуть кілька тижнів на березі моря, то вони засмагнуть на сонечку. Але ця ознака не передається нащадкам і з часом зникає.

Межі параметрів модифікаційної мінливості за різних умов довкілля називаються **нормою реакції**. Норма реакції може бути широкою й вузькою. Зазвичай кількісні ознаки (удійність корів, урожайність пшениці) мають більш широку норму реакції, ніж якісні ознаки (колір очей, форма вухної раковини).



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Прикладом модифікаційної мінливості є наявність листків різної форми в рослин, якщо вони перебувають у різних умовах навколишнього середовища. Наприклад, у стрілолиста надводні листки — традиційної стрілоподібної форми, листки на поверхні води — круглясті, а підводні — стрічкоподібні.

Доведіть, що саме така форма є адаптивною до умов повітряного середовища, водного середовища й межі цих середовищ.



Робота в групі

Чи є мутації корисними? Чи є вони шкідливими? Влаштуйте дискусію, наведіть свої аргументи. Як зменшити ризик виникнення мутацій?



Здатність дорослих людей перетравлювати молоко є прикладом корисної мутації



Робота в парі

За зразком на мал. 28.3 (с. 137) складіть власні приклади хромосомних мутацій: делецій, дуплікацій, інверсій, транслокацій.



Дослідження мінливості в рослин або тварин та аналіз даних за допомогою табличних процесорів, оприлюднення даних
rnk.com.ua/113389



Зарості стрілолиста (*Sagittaria sagittifolia*) у річковій воді



Поділіться своїми думками

Є близнюки, які розвиваються завдяки тому, що запліднена яйцеклітина (зигота) поділяється на дві клітини, які відділяються одна від одної і кожна з них формує окремий організм. Таких близнюків називають монозиготними, або однайцевими. Ці близнюки мають однаковий генотип, завжди однієї статі та схожі за зовнішніми ознаками.



Чому монозиготні близнюки мають різний характер? Яка мінливість виявляється за таких умов?



Індивідуальна робота

Фермери з Одещини вирощують кавуни квадратної форми. Існують також і квадратні яблука.

У який спосіб можна отримувати такі плоди?

Яка форма мінливості проявляється за цих умов?



Норма реакції сформувалася в процесі еволюції, оскільки за конкретних умов середовища вижили лише ті організми, фенотипічні зміни яких сприяли їхньому існуванню, тобто норма реакції має пристосувальний характер.

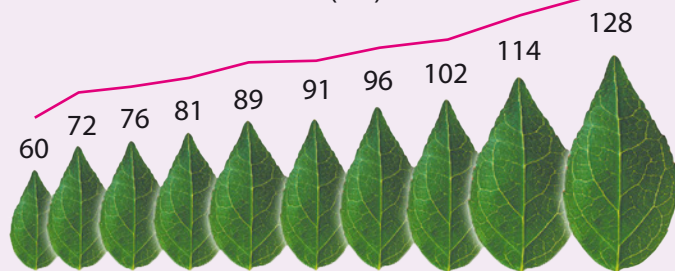
Варіаційний ряд — послідовність кількісних показників виявів станів певної ознаки, розташованих у порядку їхнього зростання або зменшення.

Варіаційна крива — графічне зображення варіаційного ряду, яке ілюструє межі модифікаційної мінливості та частоту зустрічальності окремих варіантів.

Норма реакції визначається генотипом і успадковується, але сам прояв ознаки не успадковується

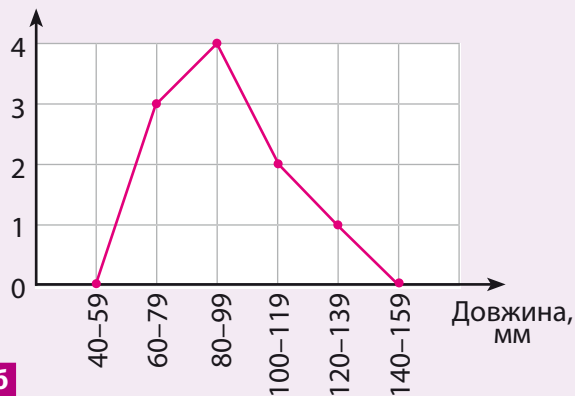
Інтервал варіювання — від 60 до 128 мм

Розмах = $128 - 60 = 68$ (мм)



а

Кількість листків



б

Мал. 28.7. Мінливість довжини листків у межах норми реакції: варіаційний ряд (а) і варіаційна крива (б)

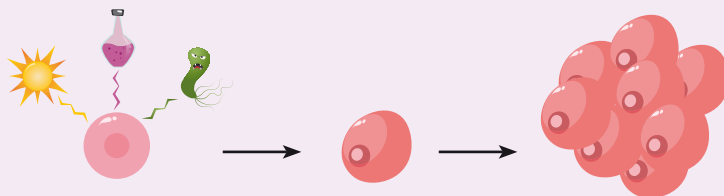
й визначається навколишнім середовищем, тобто впливами його факторів (мал. 28.7).



Запитання і завдання

1. Розгляньте світлини. Поясніть, чому діти схожі на батьків. Чому не схожі? Яку роль у цій спадковій мінливості відіграє кросинговер?
2. Розгляньте малюнок нижче. Поясніть, як мутагени впливають на клітини організму. Підготуйте доповідь про фізичні, хімічні та біологічні мутагени й способи захисту від них.

Утворення пухлини під дією мутагенів



Здорова клітина, що піддається впливу радіації, токсичних хімічних речовин, інфекційних агентів

У клітині відбуваються мутації

Мутувана клітина зазнає неконтрольованого поділу, утворюючи пухлинну масу

3. Проаналізуйте таблицю. Які ознаки мають більш широкую норму реакції, а які — вузьку? Як можна використовувати знання про мінливість у сільському господарстві?

Уміст азоту в ґрунті (мг/кг)	Висота рослини (см)	Маса колосу (г)	Кількість листків (шт.)	Симетрія квітки
Низький (10 мг/кг)	35	0,8	4	Радіальна
Середній (50 мг/кг)	65	1,5	7	Радіальна
Високий (100 мг/кг)	90	2,3	10	Радіальна

4. У великої рогатої худоби комолість (відсутність рогів) визначається домінантною алеллю Р, а рогатість — рецесивною алеллю р. У господарстві є такі тварини: бик А — комолий, але його батько був рогатий, бик Б — комолий, його батько рогатий, а мати комола. Селекціонер хоче отримати стадо лише комолих телят. Визначте можливі генотипи тварин і оберіть бика для схрещування, щоб отримати якнайбільше комолих нащадків.



Опорні точки

Біологічна мінливість — це здатність організмів набувати в процесі індивідуального розвитку нових ознак, відмінних від предків, бути різними. Мінливість буває спадкова (генотипна) й неспадкова (фенотипна). Джерелами мінливості можуть бути рекомбінації генетичного матеріалу, генні, хромосомні та геномні мутації.



rnk.com.ua/
113306

§ 29 Генетика людини



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Людина є для вчених найцікавішим генетичним об'єктом.

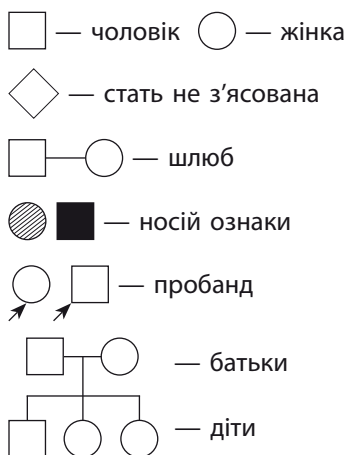
Але дослідження генетики людини суттєво відрізняються від вивчення спадковості й мінливості інших видів.

Чому *Homo sapiens* є найскладнішим об'єктом генетики?

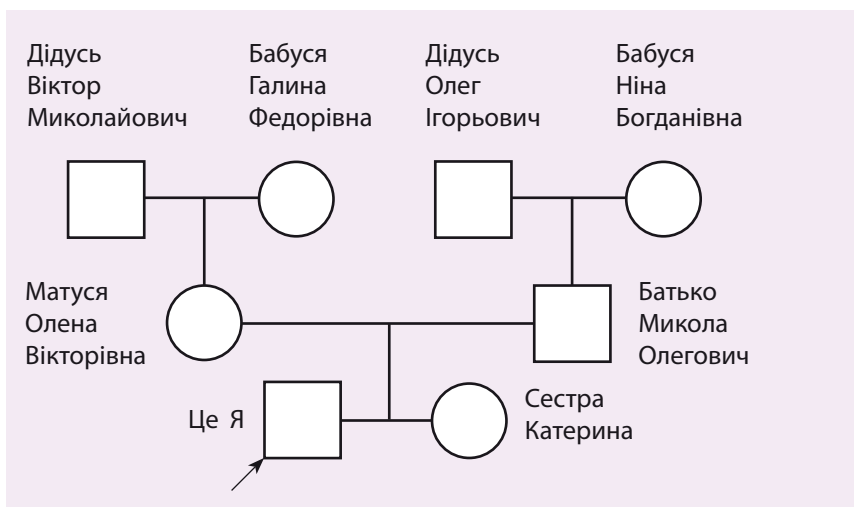
Генеалогічний метод — метод складання родоводів

Одним із найперших методів, який дає змогу вивчати генетику людини, був **генеалогічний метод**, тобто метод складання й аналізу родоводів.

Під час складання родоводу ведуть детальні записи про кожного із членів родини, ураховують ступінь спорідненості між ними. Зібрана інформація про родину відображається в графічному вигляді. До того ж за допомогою спеціальної символіки будується генеалогічне дерево (мал. 29.1, 29.2). Під час складання родоводів членів одного покоління



Мал. 29.1. Символіка для побудови генеалогічного дерева



Мал. 29.2. Зразок родоводу з трьох поколінь. Знизу — молоде покоління: брат і сестра. Вище над ними — покоління їхніх батьків, іще вище — покоління бабусь і дідусів

розміщують на одному рівні. Старші покоління розміщуються на схемі вище, а молодші — нижче.

! **Генеалогічний метод** — це метод вивчення родоводів організмів, який дає змогу простежити характер успадкування різних станів певних ознак у ряді поколінь.

Пробанд — це особа, з якої починається складання родоводу під час генеалогічного або медико-генетичного дослідження.

Складаючи родовід для пробанда, учені можуть збирати інформацію про наявність різноманітних ознак його родичів у різних поколіннях. На основі аналізу родоводу можна зробити висновки щодо характеру успадкування різних ознак, визначати генотипи членів родоводу та прогнозувати ймовірність передавання певних ознак нащадкам. За допомогою родоводу можна визначити тип успадкування: домінантне, рецесивне, аутосомне або зчеплене зі статтю. Для цього треба враховувати деяку наукову інформацію. Наприклад, домінантна ознака передається без пропусків поколінь, а ген, локалізований в Y-хромосомі, батько передає лише синам. Мітохондріальні гени діти успадковують лише від матері.

Вивчення геному людини

На сьогодні геном людини є найдетальніше дослідженим геномом із-поміж усіх евкаріотів. Дослідження почалися з проекту «Геном людини» (Human Genome Project), який тривав від 1990-го до 2003-го року. Діяла міжнародна наукова програма, метою якої було повністю розшифрувати ДНК людини — тобто визначити послідовність усіх нуклеотидів у нашому геномі.

Активні дослідження геному людини тривають і досі. Відомими світовими проектами є 100 000 Genomes Project, The Cancer Genome Atlas, Human Pangenome Project та ін.

Доведено, що гаплоїдний геном людини містить приблизно 3,2 млрд пар нуклеотидів. Із них лише 1,5 % входять до складу генів, тоді як решта 98,5 % є некодувальними послідовностями, які мають регуляторну, структурну або інші функції.

У нашому геномі налічується понад 20 000 генів, що кодують білки. Кожний ген нанесений на **генетичну мапу** — схематичне зображення розташування генів на хромосомах.



Завдання

Особа, родовід якої складають, називається **пробандом**. Подивіться на мал. 29.1, як пробанд позначається під час побудови родоводу. Створіть родовід людини (пробанда), яка розповіла вам таке: «Мене звати Микола. Я маю сестру Олену. Наша мати, Марія, має двох братів: Романа і Дмитра. А наш батько, Сергій, — сестру Наталю і брата Григорія».



Завдання щодо аналізу родоводів
rnk.com.ua/113390



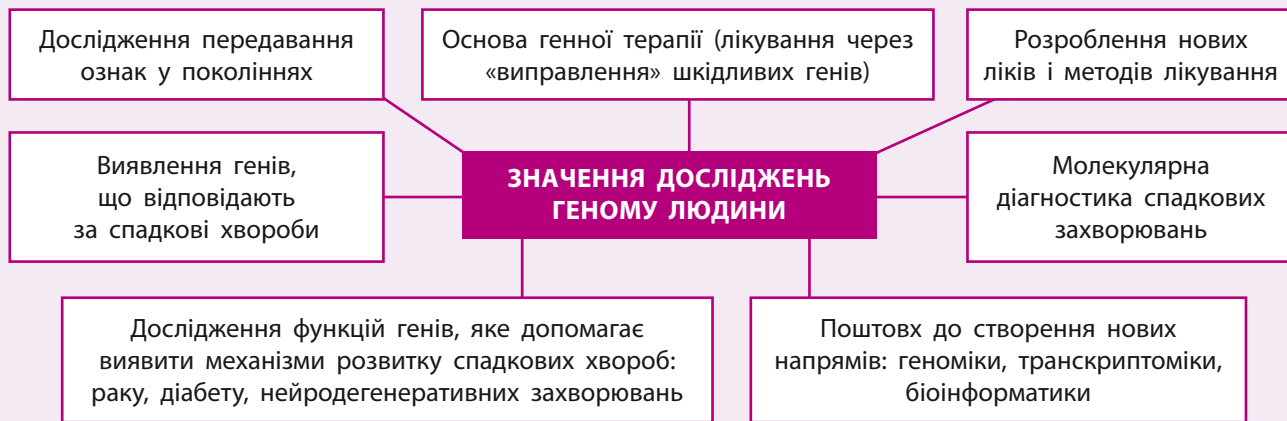


Схема 23. Значення досліджень геному людини

Генетична мапа геному людини допомагає ідентифікувати гени, що спричиняють хвороби, сприяє вдосконаленню генної та клітинної терапії, дає змогу досліджувати генетичну різноманітність та еволюційну історію людства (схема 23).

Спадкові захворювання людини

Існує окремий розділ генетики людини, який зосереджує увагу на ролі спадковості в розвитку хвороб. Це — **медична генетика**.

Медична генетика — це наука, спрямована на діагностування, лікування, прогнозування та профілактику спадкових захворювань.

Генетичні хвороби людини можуть виникати внаслідок генних, хромосомних і геномних мутацій. Наприклад, такі порушення, як альбінізм або гемофілія, виникають унаслідок точкових мутацій у генах, це — **генні хвороби**. Синдром котячого крику внаслідок втрати частини хромосоми (див. мал. 28.5, с. 138) — це **хромосомна хвороба**. Синдроми Дауна, Тернера, Клайнфельтера, за яких ціла хромосома відсутня або зайва, є **геномними хворобами**.

Хромосомні та геномні хвороби характеризуються множинними вродженими вадами розвитку, бо ушкоджена значна частина генетичного матеріалу.

Генні спадкові захворювання можуть призводити до порушення обміну речовин, структури органів і тканин, розладів функції ендокринної, нервової, травної та інших систем. Наприклад, із-поміж спадкових хвороб обміну речовин виділяють хвороби, пов'язані з порушенням обміну амінокислот, вуглеводів, ліпідів, мінеральних речовин тощо. А є стани, за яких аномально розвиваються сполучна тканина, кістки та хрящі (мал. 29.3, 29.4).



Мал. 29.3. Гіпермобільність у суглобах пов'язана із синдромом Елерса-Данло



Мал. 29.4. Ахондропластична карликовість формується через неправильний розвиток хрящів

Спадкові хвороби також поділяють на моногенні та мультифакторні. **Моногенні хвороби** виникають унаслідок порушення лише в одному гені (наприклад, гемофілія А або ахондроплазія). А ось **мультифакторні хвороби** зумовлені внесками багатьох, іноді навіть сотень, генів, на які ще й накладається вплив середовища. Це дуже поширені захворювання, як-от: цукровий діабет, гіпертонічна хвороба, депресія, деякі види раку тощо. Якщо в геномі людини є багато алелів, що сприяють розвитку певної мультифакторної хвороби, вважається, що в людини — схильність до неї. Але хвороба може й не розвинутися, якщо фактори середовища цьому не сприяють, наприклад, коли людина з генетичною схильністю до діабету контролює своє харчування й має здоровий спосіб життя.

Генетичне консультування та персоналізована медицина

Наукові знання про спадкові хвороби необхідні для діагностування й профілактики хвороб, розробки індивідуальних методів їхнього лікування та для поліпшення якості життя людей, що страждають на спадкові захворювання.

Генетичне консультування — це спеціалізована допомога під час планування вагітності, спрямована на попередження народження дітей зі спадковими патологіями. В Україні працюють центри медико-генетичного консультування, у яких лікарі-генетики збирають дані родоvodu, вивчають вияви фенотипу, проводять молекулярно-генетичні тести, установлюють діагноз захворювання, визначають генетичні ризики, надають інформацію про лікування та профілактику спадкових захворювань.

Персоналізована медицина — це підхід у діагностиці та лікуванні хвороб, який урахує індивідуальні особливості геному людини, а також особливості обміну речовин, способу життя, навколишнього середовища. Інакше кажучи, лікування «підлаштовується» під конкретну людину, а не застосовується однаково для всіх пацієнтів / пацієнток.

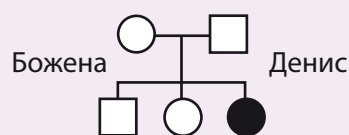
Сучасні досягнення медичної генетики свідчать про те, що в майбутньому в кожній людині буде **генетичний паспорт** — електронна база, у якій зберігатиметься інформація про особливості індивідуальної ДНК кожної людини. Такий паспорт міститиме дані про варіанти генів, які можуть упливати на спадкову схильність до захворювань, реакцію



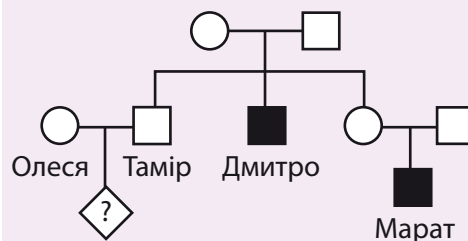
Завдання

Попрацюйте лікарями-генетиками й проконсультуйте дві пари.

1. Божена й Денис. У їхньої третьої дитини Оленки діагностували фенілкетонурію — рецесивне генетичне захворювання. Батьки не розуміють, чому так сталося. Вони ж здорові, і з-поміж родичів такої хвороби не було. Поясніть їм, що відбулося. Знайдіть інформацію, що робити далі: як лікувати дитину.



2. Олеся й Тамір. Тамір має брата Дмитра з гемофілією, і нещодавно в сестри народився син Марат із цією хворобою. Олеся, дізнавшись про це, дуже боїться за їхніх майбутніх дітей. Оцініть ризик для дітей Таміра й Олеси.



Довідка. Один і той самий лікувальний препарат може діяти чудово на одну людину, бути неефективним для другої і токсичним для третьої. Усе це — через відмінності в ДНК. Лікарі майбутнього зможуть переглядати ваш генетичний паспорт, щоб дібрати саме той препарат, який діятиме найефективніше й не матиме побічних ефектів.

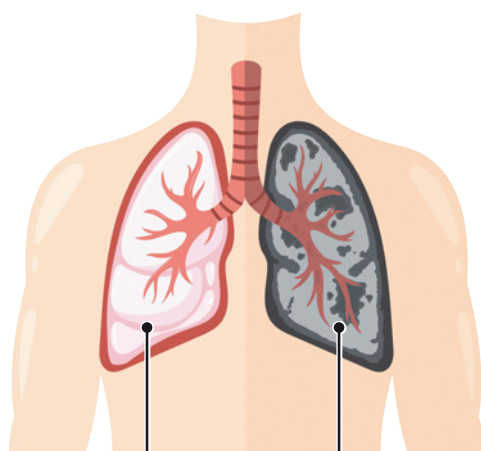


Індивідуальна робота

Дізнайтеся, які методи використовують у медико-генетичних центрах для проведення генетичного консультування. Підготуйте про це коротке повідомлення.



Завдання про вплив кофеїну на організм людини
rnk.com.ua/113391



Легеня здорової людини

Легеня курця



Опорні точки

Генеалогічний метод є методом складання родоводів для вивчення успадкування певних ознак у родинах. Він використовується в медичній генетиці для визначення генотипу людини та діагностики спадкових захворювань. Спадкові хвороби виникають унаслідок появи генних, хромосомних та геномних мутацій.



Українські жінки в сучасній науці



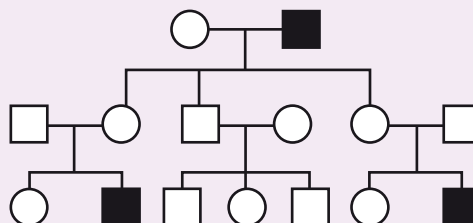
Олена Яківна Гречанина (1935–2026) — член-кореспондентка АМН України, докторка медичних наук, професорка, лауреатка Державної премії України в галузі науки і техніки, генеральна директорка Харківського міжобласного спеціалізованого медико-генетичного центру (2000–2014). Нагороджена Орденом княгині Ольги III ступеня, орденом «Україна — дітям» та іншими нагородами.

на ліки, оптимальну дієту та інші біологічні характеристики. Уже сьогодні до генетичних паспортів можна доєднати понад 1000 спадкових ознак.



Запитання і завдання

1. Які правила складання родоводів ви знаєте? Створіть алгоритм.
2. Розгляньте родовід. Поясніть, яке успадкування на ньому зображено.



3. Знайдіть інформацію, наскільки геном людини схожий на геноми інших живих організмів, наприклад, приматів або комах. Як ви можете пояснити, чому так?
4. Відомо, що тютюнокуріння сприяє виникненню раку легень. Але курці часто наводять приклади своїх знайомих, які курять усе життя і при цьому здорові. Як із точки зору генетики пояснити їм небезпеку таких поглядів? Створіть про це постер чи плакат.
5. Як ви вважаєте, чи потрібно робити генетичне консультування перед плануванням дитини? Аргументуйте. Складіть перелік прикладів, коли людині варто звернутися до медико-генетичного консультанта / медико-генетичної консультантки.
6. Як персоналізована медицина може змінити майбутнє системи охорони здоров'я? Назвіть переваги та ризики.



rnk.com.ua/
113307



§ 30

Віруси

Особливості спадковості та мінливості вірусів. Вірусний геном

Віруси — внутрішньоклітинні паразити, які уражають клітини всіх організмів, що є на планеті: рослин, тварин, грибів, протистів, бактерій, архей. У позаклітинному середовищі вірусні частинки (віріони) складаються з генетичного матеріалу й захисної білкової оболонки — **капсиду**. Деякі віруси мають додаткову ліпопротеїнову оболонку — **суперкапсид** (мал. 30.1, 30.2, с. 148).

Вірусний геном представлений одноланцюговою або дволанцюговою молекулою ДНК чи РНК, яка може бути лінійною або кільцевою. Розмір вірусного геному в різних видів має свої характерні особливості. Найменший одноланцюговий ДНК-геном складається лише з 2000 нуклеотидів. Один із найбільших вірусних геномів виявлено в мімі-вірусу, який містить понад 1,2 млн пар нуклеотидів.

Поза клітиною вірус не виявляє жодних ознак живого. Потрапивши до клітини, вірус використовує її ресурси для свого розмноження. Висока швидкість розмноження дає вірусам змогу збільшувати чисельність і поширюватися, що спричиняє виникнення епідемій і пандемій.

Вірусам притаманний мутаційний процес, і вони мають здатність еволюціонувати. Завдяки високій мінливості віруси швидко адаптуються до умов існування в клітинах різних організмів та ефективно захищаються від імунної системи. На жаль, мінливість вірусів призводить до появи варіантів, стійких до сучасних противірусних препаратів (мал. 30.3, с. 148).



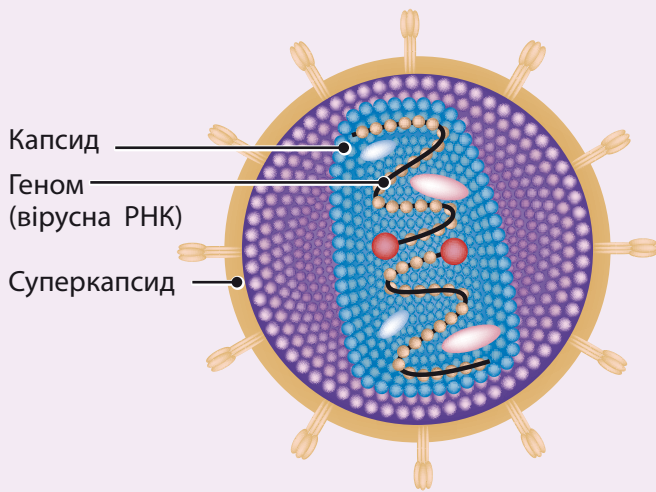
Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Слово «вірус» перекладається з латини, як «отрута». Учений Дмитро Івановський, професор Варшавського університету, 1892 року ввів термін «фільтрівний вірус», позначивши цим терміном відкритого ним неклітинного інфекційного агента. Пізніше, 1959 року, учні починають використовувати термін «віріон» — це форма, у якій віруси існують поза живою клітиною.

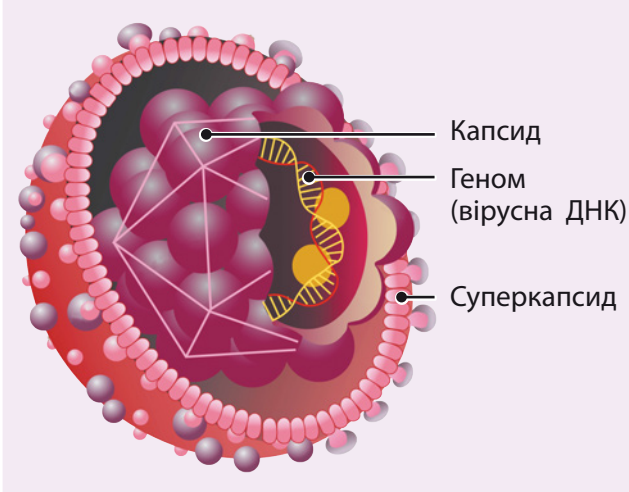
Як ви вважаєте, чи є віруси формою життя? Які властивості живого вони мають?



Анімація
«Віруси»
rnk.com.ua/113392



Мал. 30.1. Вірус імунодефіциту людини (ВІЛ)



Мал. 30.2. Вірус гепатиту В

Проект «Практичне використання вірусів»

Науці відомо, що віруси впливають на еволюцію організмів нашої планети. Вони можуть захоплювати та переносити генетичну інформацію від одного організму до іншого (горизонтальний перенос генів), що пришвидшує еволюцію. Віруси є регуляторами чисельності популяцій різних видів, тобто важливим екологічним фактором. Віруси є інструментом у генетичних дослідженнях і біотехнології. Виконайте проект, який висвітлює можливості практичного використання вірусів.



Робота в парі

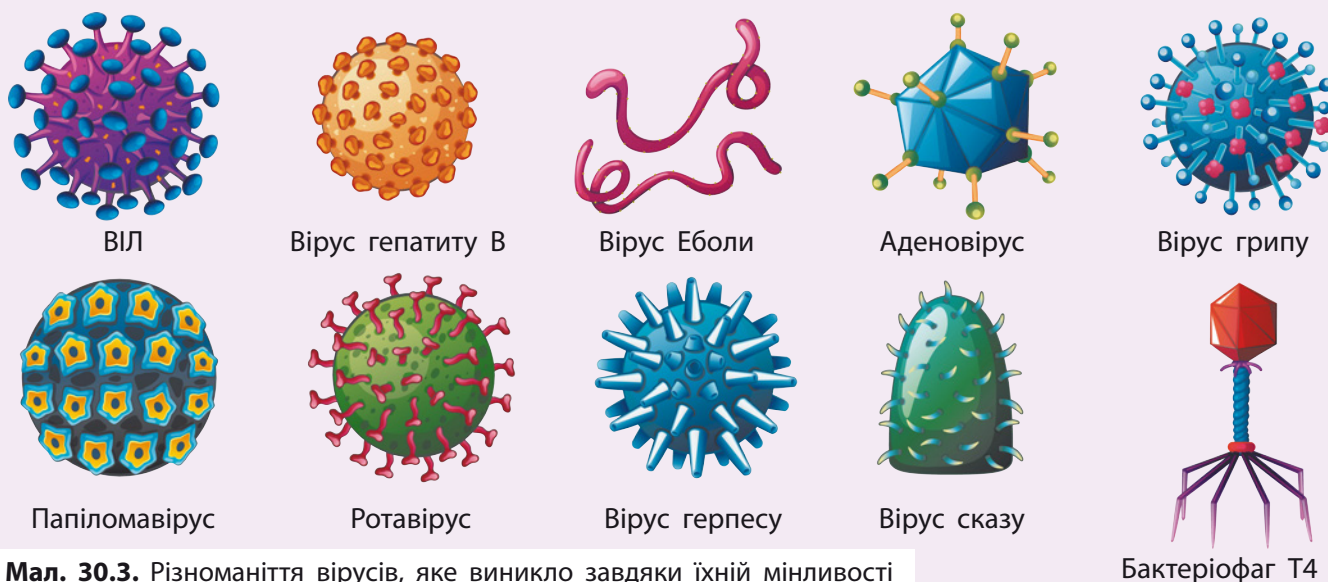
Розгляньте малюнки 30.1 і 30.2. Порівняйте будову зображених вірусів. Чим вони схожі? Чим відрізняються? Дослідіть зазначене за допомогою діаграми Венна. Зробіть висновок.

Вивчення мінливості вірусів є важливим для розробки ефективних методів профілактики та лікування вірусних захворювань.

Життєвий цикл вірусів

Життєвий цикл вірусів є складним і охоплює кілька етапів.

Перший етап — прикріплення, тобто утворення зв'язку між білками вірусного капсиду й рецепторами, які розташовані на поверхні клітини-хазяїна.



Мал. 30.3. Різноманіття вірусів, яке виникло завдяки їхній мінливості

Віруси високоспецифічні, бо вони можуть потрапляти й розмножуватися лише в тих клітинах, які мають відповідні рецептори для цього вірусу.

Другий етап — проникнення в клітину. Найважливіше, щоб у клітину потрапив генетичний матеріал вірусу. Для цього різні віруси використовують різноманітні стратегії. Наприклад, можуть упорскувати свою РНК крізь плазматичну мембрану або захоплюються клітиною завдяки ендоцитозу, потрапляють до лізосом, а також цитоплазми, долаючи її мембрану.

Третій етап — реплікація вірусу. Частина вірусів розмножується в цитоплазмі, а частина — у ядрі клітини. Вірус «примушує» клітину копіювати власний геном і вірусні білки.

Четвертий етап — складання вірусних частинок і їхній вихід із клітини. Синтезовані клітиною вірусні білки й вірусні нуклеїнові кислоти формують вірусні частинки шляхом самозбирання. Нові віруси залишають клітину після її загибелі й руйнування.

Іноколи вірус під час розмноження не вбиває клітину-хазяїна й відокремлюється від неї шляхом брунькування. Завдяки цьому вірус отримує оболонку, яка є фрагментом клітинної мембрани (мал. 30.4). А клітина продовжує жити й виробляти нові вірусні частинки. Так відбувається, наприклад, у життєвому циклі вірусу імунодефіциту людини.



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Спосіб проникнення вірусів у клітини тварин відрізняється від способів їхнього проникнення в клітини грибів, рослин і бактерій. Дізнайтеся, чому саме ці способи є різними.



Індивідуальна робота

Підготуйте доповідь про те, як передаються вірусні захворювання і що треба робити для їхньої профілактики.

Мал. 30.4. Етапи життєвого циклу вірусів

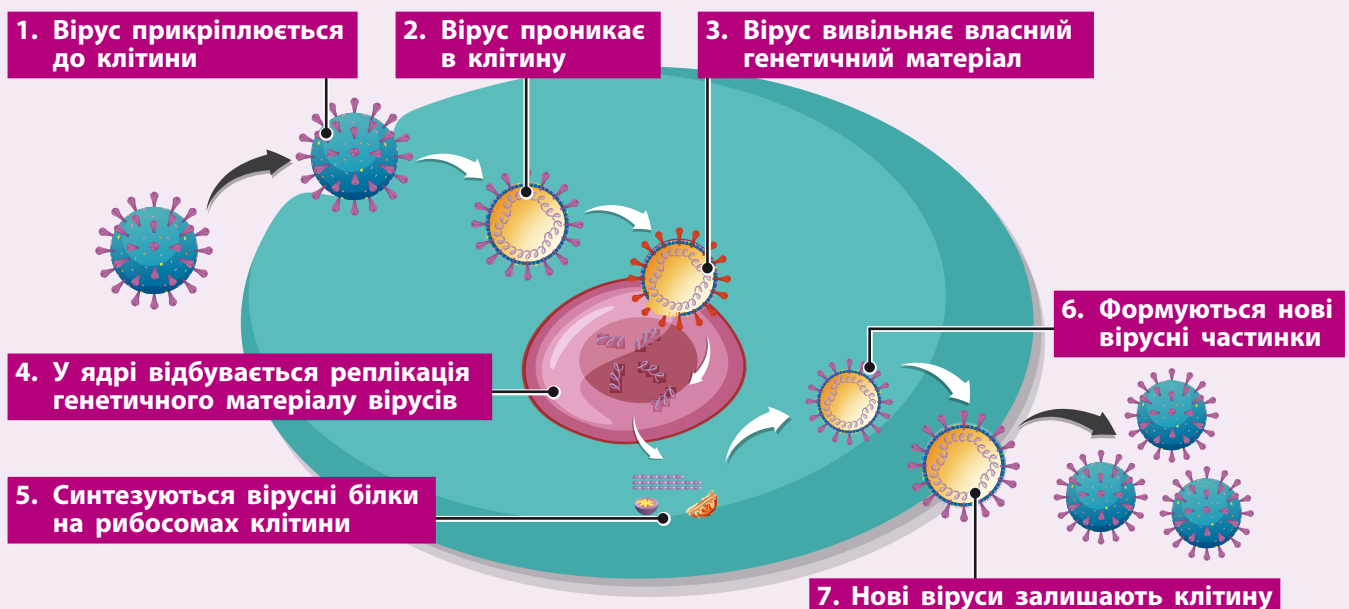




Схема 24. Різноманіття вірусних захворювань



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Люди стикалися з вірусними інфекціями з давніх-давен. Так, вивчення мумії фараона Рамзеса V довело, що він помер від віспи у віці приблизно 35 років 1143 року до н. е. Поясніть, як ученим удалось довести, що це було саме назване вірусне захворювання.



Храм царя Рамзеса II, шедевр мистецтва й архітектури Стародавнього Єгипту

Вірусні захворювання

Вірусні захворювання спричиняються вірусами, що проникають в організм людини й використовують його клітини для власного розмноження. Віруси можуть уражати різні органи й системи органів людини, а вірусні хвороби мати різну симптоматику (схема 24).

Вітчизняні вчені, які зробили вагомий внесок у розвиток вірусології

Українська школа вірусології є однією з найдавніших у світі.

1892 року, досліджуючи мозаїчну хворобу тютюну в Криму, **Дмитро Івановський** (1864–1920) довів існування збудника, що проходить крізь бактеріальні фільтри. 1903 року в Київському університеті він захистив дисертацію, де вперше описав «кристали Івановського» — скупчення вірусних частинок у клітинах.

Праці видатного бактеріолога **Данила Заболотного** (1866–1929) стали базою для боротьби з вірусними та бактеріальними пандеміями. Він довів роль гризунів як природних резервуарів чуми. Заснував першу в Україні кафедру епідеміології в Одесі.

Сергій Гершензон (1906–1998) — усесвітньо відомий генетик і вірусолог. У 1930-х роках у Києві відкрив явище мутагенної дії вірусів і довів, що генетична інформація може передаватися від РНК до ДНК (зворотна транскрипція), задовго до офіційного визнання цього факту.

Надія Громашевська (1922–2003) — видатна жінка-вірусолог, докторка медичних наук. Протягом десятиліть працювала в Київському НДІ епідеміології та інфекційних хвороб. Вона зробила фундаментальний внесок у вивчення вірусних гепатитів, розробивши методи їхньої лабораторної діагностики та критерії тяжкості перебігу хвороби.

Сучасні дослідження вірусів і розробка вакцин зосереджені в установах Національної академії наук України.

Головною установою України з вивчення вірусів рослин, тварин і людини є Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного (Київ). Тут зберігається унікальна колекція штамів мікроорганізмів.

Інститут епідеміології та інфекційних хвороб ім. Л. В. Громашевського НАМН України спеціалізується на клінічній вірусології. Саме тут розробляють стратегії боротьби з ВІЛ/СНІДом, гепатитами та грипом.

Інститут молекулярної біології і генетики НАН України займається розробкою сучасних тест-систем (зокрема, ПЛР-тестів на COVID-19) і вивченням вірусного геному для створення противірусних ліків.



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Підготуйте доповідь про вітчизняних учених, які зробили вагомий внесок у розвиток вірусології.



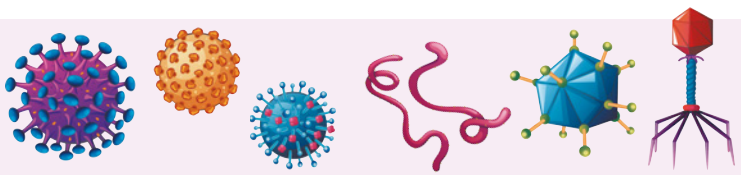
Опорні точки

Віруси є внутрішньоклітинними паразитами, які уражають клітини рослин, тварин, грибів, протистів, бактерій, архей. Поза клітиною вірусні частинки не виявляють жодних ознак живого. Мутації, які виникають у генетичному матеріалі вірусів, можуть бути для вірусів нейтральними, шкідливими або корисними. Віруси є регуляторами чисельності популяцій різних видів.

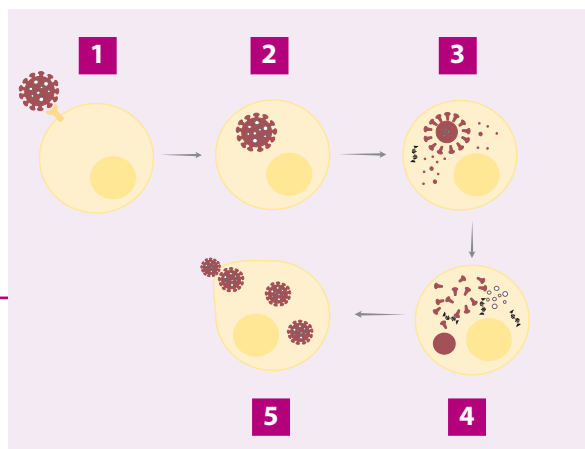


Запитання і завдання

1. Завдяки яким дослідженням учений Дмитро Івановський відкрив 1892 року віруси?
2. Яку роль відіграє в суспільстві медико-генетичне консультування?
3. Розгляньте малюнок. Назви яких вірусів ви вже знаєте? Що вам відомо про ці віруси? Створіть про це візуальний конспект.



4. Розгляньте запропонований схематичний малюнок. Назвіть і охарактеризуйте етапи життєвого циклу вірусів.





rnk.com.ua/
113308

§ 31

Одомашнення (доместикація)



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

У портовому місті Одеса коти завжди були частиною міського життя. Їх часто зображують у літературі, мистецтві й навіть на сувенірах. Місцеві жителі дбають про тварин-безхатьок.

Чому в портових містах завжди багато котів? Що могло б статися в Одесі, якби люди не одомашнили кішок? Як цей приклад пов'язаний із темою одомашнення тварин і взаємодією людини з природою?

! **Селекція** (від лат. "selectio" — «відбір») — це наука й практика створення нових і вдосконалення наявних порід тварин, сортів рослин і штамів мікроорганізмів.

Одомашнення рослин і тварин

Одомашнення, або доместикація, — це процес поступової зміни диких рослин і тварин під впливом людини з метою одержання від них корисних для людей властивостей. У результаті доместикації з'являються **культурні рослини і свійські тварини**.

Процес одомашнення виник поступово як результат взаємодії людини з природою. Спочатку первісна людина збирала дику рослину й полювала на тварин. Поступово вона помічала, які види смачніші, корисніші або легше приручаються. Пізніше людина почала відбирати найкращі плоди й висаджувати насіння біля своїх поселень, а тварин тримати в приміщеннях чи загородах, тобто здійснювала **контроль над ростом і розмноженням**.

Із часом людина стала проводити **селекцію** цілеспрямовано — відбирати особин із бажаними властивостями: великими плодами, м'ясистим тілом, спокійним характером або стійкістю до умов навколишнього середовища.

Таким чином, одомашнення — це **довготривалий процес спрямованого штучного добору**, у якому людина поступово формує корисні для своїх потреб властивості рослин і тварин.



Мал. 31.1. Дика яблуня (*Malus sieversii*) із Центральної Азії є прямим предком більшості культурних сортів



Мал. 31.2. Диня «тсамма» (*Citrullus ecirrhosus*) із пустель Південної Африки є родичкою предків кавунів



Одомашнення тварин і рослин почалося приблизно 12 тис. років тому. З-поміж перших одомашнених рослин були пшениця, ячмінь, рис, просо, кукурудза, горох і боби (мал. 31.1, 31.2, таблиця «Головні одомашнені види рослин» за QR-кодом), а з-поміж тварин — вівці, кози, свині, корови, коні та собаки (мал. 31.3, таблиця «Головні одомашнені види тварин» за QR-кодом).

Одомашнені рослини мають кращу врожайність, їхні плоди та насіння зазвичай більші, смачніші або солодші, ніж у диких предків. Одомашнені тварини дають більше м'яса, молока або яєць, швидко розмножуються, вони зазвичай спокійніші й не агресивні, прив'язані до людини і краще піддаються навчанню (схема 25, с. 154).

Дискусія «Історичні, економічні та біологічні аспекти domestикації рослин і тварин»

Орієнтовні аспекти для обговорення.

Історичні: центри одомашнення, перші одомашнені види, переходи до осілого способу життя, розвиток міст, держав і цивілізацій.

Економічні: основа сільського господарства та продовольчої безпеки, розвиток торгівлі й ремесел, виникнення соціальної нерівності.

Біологічні: штучна селекція, зміни в морфології та поведінці одомашнених видів, утрата генетичного різноманіття та ризику монокультури.



Таблиця «Головні одомашнені види рослин»
rnk.com.ua/113393



Таблиця «Головні одомашнені види тварин»
rnk.com.ua/113394



Завдання

Користуючись таблицями під QR-кодами й додатковою інформацією, підготуйте невелику доповідь про один з одомашнених видів тварин / рослин і поясніть, чому саме цей вид було обрано для одомашнення.

Мал. 31.3. Предки свійських тварин



Дикий тур



Дикий кабан



Дикі банківські кури



Лівійська дика кішка

ПРИКЛАД УСПІШНОГО ОДОМАШНЕННЯ

Курка (розмножується кілька разів на рік)

Корова (збільшення кількості молока, м'яса)

Кінь (можна приручити до праці)

Вівця (стадна тварина з ієрархією)

Кіт, собака (розмножуються поруч із людиною)

Пшениця (калорійні зерна, легко збирати)

ПРИКЛАД НЕВДАЛОГО ОДОМАШНЕННЯ

Слон (росте десятки років, розмножується повільно)

Лев (хижак, потребує багато м'яса)

Зебра (агресивна, кусає, не піддається тренуванню)

Олень (дикий, не формує стабільних стад під контролем людини)

Панда (погано розмножується в зоопарках)

Жолуді (наявність токсичних речовин)

Схема 25. Приклади успішного та невдалого одомашнення

Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

Чи будь-яку тварину або рослину можна одомашнити? Розгляньте схему 25. Сформулюйте й поясніть умови успішного одомашнення.



Мал. 31.4. Анконська коротконога вівця. Такий фенотип виникає завдяки рецесивній мутації, яка призводить до порушення розвитку хрящів

Штучний добір і гібридизація

Сорт рослин, порода тварин, штам мікроорганізмів — це різновид організмів одного виду, створених людиною, які мають спадково закріплені певні корисні властивості. Нові сорти, породи та штами створюються шляхом **селекції**. Основними методами селекції є штучний добір і гібридизація.

! **Штучний добір** — це процес, коли людина цілеспрямовано відбирає організми з потрібними властивостями та розмножує їх, вибираючи менш придатних.

За **масового добору** із загального різноманіття відбираються особини з найкращими ознаками, наприклад, кури з більшою яйценосністю або рослини з найбільшими плодами. Їх розмножують, а з їхнього потомства знову відбирають найкращих. Поступово впродовж багатьох поколінь формуються нові породи та сорти. За **індивідуального добору** людина розмножує окремих особин, які мають незвичайну або найкращу ознаку, поволі закріплюючи її риси в нових поколіннях. Наприклад, так виникла анконська порода коротконогих овець, які не могли перестрибувати через огорожі (мал. 31.4), або такса, яка завдяки короткій статури могла проникати в нори й виганяти лисиць і борсуків на полюванні (мал. 31.5).

На відміну від природного добору, який забезпечує пристосування організмів до умов середовища,

штучний добір спрямований на задоволення господарських потреб людини. Як правило, культурні види погано пристосовані до життя в дикій природі. Рослини потребують догляду людини: поливу, добрив, захисту від шкідників, штучного поширення насіння або щеплення. Тварини не можуть самостійно захищатися чи шукати їжу.

Гібридизація — це схрещування різних організмів (сортів, порід чи навіть близьких видів) із метою поєднання їхніх корисних ознак у нащадках.

Внутрішньовидова гібридизація відбувається між різними сортами або породами одного виду. Наприклад, схрещування пшениці з високою врожайністю та пшениці, стійкої до посухи, дає гібридний сорт з обома властивостями.

Міжвидова гібридизація відбувається між різними, але близькими видами (мал. 31.6, 31.7). Класичним прикладом є мул — гібрид віслюка й кобили. Завдяки своїй силі та витривалості мули використовуються для переносу вантажів на великі відстані в горах та інших місцевостях, де коні або віслюки менш ефективні. Але цей гібрид безплідний через різницю в хромосомних наборах батьківських видів.

Штучний добір і гібридизація часто використовуються разом. Спочатку проводять гібридизацію, а потім за допомогою штучного добору закріплюють бажані ознаки в новому сорті чи породі.



Мал. 31.5. Такса. Порода виведена в XVII–XVIII століттях у Німеччині



Мал. 31.6. Слива — міжвидовий гібрид аличі й терну



Мал. 31.7. Мул — гібрид віслюка й кобили



Запитання і завдання

1. Складіть перелік продуктів, які є у вашому щоденному меню. Користуючись додатковою інформацією, установіть, звідки й коли до раціону людини почала надходити рослинна й тваринна їжа, яку ви зазвичай споживаєте.
2. Порівняйте процеси природного та штучного добору за такими критеріями: мета, швидкість, результати, роль людини, пристосованість.
3. Прочитайте англомовний текст. Поясніть, чому виникли такі наслідки штучного добору.

At present, corn is a completely dependent crop that cannot grow without human help. Its ears do not fall to the ground, and even if they do, the kernels stay inside because they are covered by leaves. That is why the kernels cannot grow on their own. Moreover, to give a good harvest, corn needs weeding and fertilizing. This means that if corn grows in the wild without people taking care of it, it will probably die.



Опорні точки

Доместикація почалася понад 10 тис. років тому в різних регіонах світу й стала основою нинішньої цивілізації. Сучасні породи тварин, сорти рослин і штами мікроорганізмів створені шляхом селекції.



rnk.com.ua/
113309



§ 32

Створення та використання нових порід тварин і сортів рослин. Традиційні біотехнології



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Уявіть, що ви — стародавні землероби. Ви маєте два сорти пшениці: один дає багато зерна, але вразливий до посухи, інший витримує спеку, але врожайність низька.

Які методи селекції ви оберете й чому?

Методи селекції рослин

Селекція рослин (табл. 11) має кілька основних цілей. По-перше, це підвищення врожайності. Не менш важливими є стійкість до шкідників і хвороб, а також здатність витримувати посуху, спеку, мороз та інші погодні умови. Суттєве значення має скоростиглість — здатність рослин швидко рости й давати врожай у короткий час. Окрім того, для кожної культури є свої особливі цілі. Для пшениці важливе поліпшення якості зерна — умісту білка й клейковини, для соняшника — уміст олії та склад жирних кислот, для плодово-ягідних культур — смак і аромат, кольори й розмір плодів (мал. 32.1, 32.2).

Таблиця 11. Методи селекції рослин

Метод	Суть методу	Приклад
Масовий добір	Відбирають рослини, найкращі за бажаними ознаками, і висівають їхнє насіння	Пшениця, ячмінь, кукурудза
Індивідуальний добір	Обирають конкретні рослини з найкращими ознаками та розмножують їх (насінням, живцями, щепленням)	Яблуні, виноград, картопля
Гібридизація	Схрещують різні сорти або види для поєднання корисних ознак організмів батьків	Ріпак, буряк, пшениця, томати
Лінійна селекція (інбридинг і відбір за лініями)	Схрещують близькоспоріднені рослини. У лініях закріплюються бажані ознаки, але життєздатність нащадків може знижуватись	Кукурудза, пшениця
Мутаційна селекція	У рослин з'являються нові ознаки. Оскільки мутаційний процес непередбачуваний, для бажаних змін потрібно багато насіння	Пшениця, кукурудза, овочеві культури
Клональна селекція	Розмножують рослини вегетативно (живці, бульби, щеплення). У нащадків зберігаються всі ознаки	Картопля, плодово-ягідні культури



Мал. 32.1. Нові сорти картоплі створюють так, щоб вони не лише давали високий урожай, а й були стійкими до фітофтори



Мал. 32.2. У виноградарстві проводиться робота над сортами, стійкими до морозів, які зберігають солодкі ягоди

Україна має давні традиції в селекції та збереженні генетичних ресурсів. Одним із найважливіших досягнень є селекція **пшениці**. В Україні створено сотні сортів озимої та ярої пшениці («Миронівська», «Подільська», «Богдана» та ін.), для яких характерні висока врожайність і якість зерна. Завдяки цьому Україна є одним із провідних виробників і експортерів пшениці у світі. У **картоплярстві** в Україні створено десятки сортів, із-поміж яких — «Слов'янка» та «Повінь», які вирощують не лише в Україні, а й у багатьох країнах Європи. А ще важливим напрямом є селекція **соняшнику**, адже Україна є світовим лідером у його виробництві.

Методи селекції тварин

Селекція сільськогосподарських тварин (табл. 12, с. 158) — корів, свиней, овець, курей — спрямована передусім на підвищення продуктивності: збільшення кількості молока, м'яса, вовни, яєць. Важливим є поліпшення якості продукції: наприклад, жирності молока або якості вовни. Селекціонери / селекціонерки також розвивають стійкість тварин до хвороб і здатність жити в певному кліматі.

Селекція інших тварин має свої особливості. Коні здавна відбиралися з економічних причин: потрібні були сильні й витривалі тварини для сільського господарства, швидкі та граційні — для спорту й військової справи. Собаки стали для людини помічниками в мисливстві, охороні, військовій службі. Водночас виведено декоративні та спортивні породи. Сучасні породи котів створювалися переважно як декоративні, хоча їхня



Відкритий мікрофон

Чому для селекції важливо мати генетичне різноманіття?



Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

Селекція рослин, отримання нових продуктивних сортів рослин вітчизняними вченими-селекціонерами.

Знайдіть інформацію і підготуйте презентацію (постер) на такі теми (за вибором).

- Основні галузі рослинництва в Україні.
- Українські наукові установи, які займаються селекцією рослин.
- Вітчизняні вчені-селекціонери.



Робота в групі

Пригадайте, які породи собак чи котів ви знаєте. Визначте, які риси людини закріпила в них штучним добром.

Метод	Суть методу	Приклад
Масовий добір	Обирають найкращих тварин за зовнішніми ознаками або продуктивністю й розмножують їх	Корови за молочністю, свині за швидкістю росту
Індивідуальний добір	Обирають конкретних тварин із найкращими ознаками (молочність, шерсть, поведінка) й розводять лише їхнє потомство	Тонкорунні вівці, декоративні породи собак
Гбридизація	Схрещують різні породи або види для поєднання корисних ознак батьків	Мули (кінь × осел), кроси свиней або курей
Лінійна селекція (інбридинг)	Схрещують близькоспоріднених тварин для закріплення певних ознак. Життєздатність нащадків може знижуватись	Племінні лінії курей, коней, корів
Штучне запліднення та контрольоване розведення	Використовують генетичний матеріал кращих тварин для розведення	Корови, коні, вівці

Таблиця 12. Методи селекції тварин



Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

Селекція та використання порід коней, собак, котів або інших тварин.

«робоча» функція — ловити мишей і щурів — теж збереглася.

В Україні селекція тварин досягла значних успіхів: у **скотарстві** поширені високопродуктивні породи корів (українська чорно-ряба молочна, українська червоно-ряба молочна, бура карпатська); у **свинарстві** створено витривалі м'ясні та м'ясо-сальні породи (українська степова біла, українська степова ряба, миргородська); у **птахівництві** поширені промислові яєчні та м'ясо-яєчні породи (зокрема, ломан браун), що дають до 300 яєць на рік (мал. 32.3, 32.4).



Мал. 32.3. Українська степова біла — наймасовіша в Україні порода свиней, добре адаптована до степів



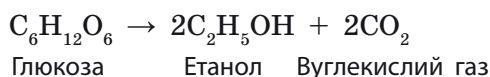
Мал. 32.4. Кури породи білий легорн, поширеної в Україні, несуть до 300 яєць на рік

Традиційні біотехнології

- ! **Традиційні біотехнології** — це методи й процеси, які людина застосовує тисячоліттями, базуючись на природних властивостях мікроорганізмів перетворювати одні речовини на інші.

До **традиційних біотехнологій** належать природні процеси, які людина використовує вже тисячоліттями, виготовляючи хліб, сир, кефір, йогурт, квас, вино та інші продукти (схема 26, с. 160). Лише в XIX столітті, завдяки працям Луї Пастера, стало зрозуміло, що ці процеси здійснюють мікроорганізми: дріжджі, бактерії та цвілеві гриби. Вони здатні перетворювати одні речовини на інші в процесі ферментації (бродиння).

Випікання хліба. Хліб є одним із найдавніших продуктів харчування. Його випікання ґрунтується на діяльності дріжджів. Коли в тісто додають дріжджі, вони починають розкладати цукри борошна, утворюючи вуглекислий газ і етанол (спиртове бродиння):



Під час випікання етанол випаровується, а бульбашки CO_2 надають хлібу пористої структури, роблячи його пухким і легким.

Виноробство та пивоваріння. Ще однією давньою біотехнологією є виробництво алкогольних напоїв — вина й пива. Ідеться про дію дріжджів і спиртове бродиння. Вони зброджують цукри фруктів чи зернових до спирту й вуглекислого газу.

Молочнокислі продукти. У виробництві кисломолочних продуктів молочнокислі бактерії перетворюють молочний цукор (лактозу) на молочну кислоту. Саме завдяки цьому молоко «кисне» й утворюються кисломолочні продукти: сметана, йогурт, ряжанка чи домашній кисломолочний сир. Молочна кислота надає їм особливого смаку та запаху, а також пригнічує розвиток шкідливих мікроорганізмів. Кисломолочні продукти є корисними для людини: вони містять **пробіотики** — «живі» бактерії, які поліпшують травлення та допомагають підтримувати здоров'я кишківника.

Квашення овочів і фруктів. Квашення капусти, огірків, яблук, а також приготування квасу також ґрунтується на діяльності молочнокислих бактерій. Молочна кислота надає продуктам кислого смаку й забезпечує їхнє тривале зберігання.

- ! **Біотехнологія** — це наука і практика, що використовують живі організми, їхні клітини, ферменти або продукти життєдіяльності для отримання корисних для людини речовин і процесів.

Мінідослідження

Дізнайтесь у своєї родини або сусідів, які ферментовані продукти вони готують удома (наприклад, квашена капуста, домашній кефір, закваска для хліба). Які мікроорганізми там працюють? Чи можна назвати сир, хліб і квас «живими продуктами»? Чому? Зафільмуйте про це короткий відеоролик і розмістіть його у своїй соціальній мережі.



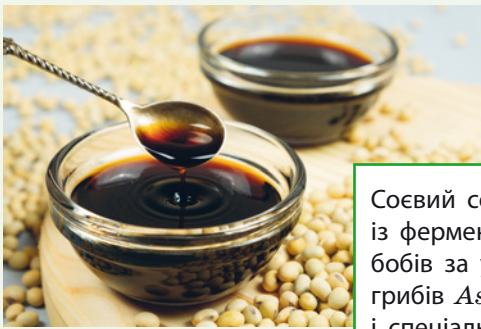
Робота в парі

Які переваги й недоліки має ферментація як спосіб зберігання продуктів у давнину порівняно із сучасним холодильником?



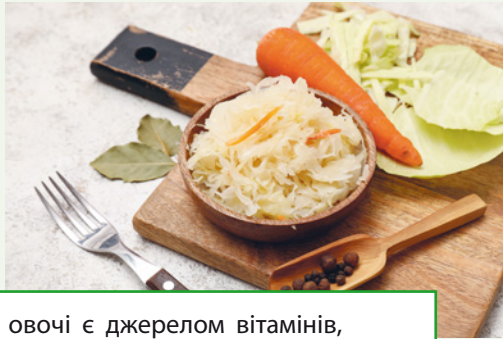
Відеоролик
«Досліджуємо
розпушувальну дію
вуглекислого газу»
rnk.com.ua/113457





Соевий соус виготовляють із ферментованих соєвих бобів за участю цвілевих грибів *Aspergillus* і спеціальних бактерій

Ферментація молока під час виготовлення сиру



Квашені овочі є джерелом вітамінів, особливо вітаміну С, тому в минулі часи вони допомагали людям виживати взимку

Кумис — напій із кобилячого молока, що ферментується дріжджами й молочнокислими бактеріями



Плоди дерева какао з насінням. Під час ферментації какао-бобів дріжджі та бактерії надають їм шоколадного смаку. Без ферментації какао-боби гіркі й кислі на смак



Схема 26. Традиційні біотехнології



Запитання і завдання

1. На малюнку нижче — сорти кукурудзи, які традиційно вирощують у Перу. Які методи селекції, на вашу думку, використовували місцеві жителі? Чи відрізняються ці методи від тих, що зараз застосовують до пшениці? Поясніть.



2. Уявіть, що в селі почали вирощувати лише один сорт картоплі, бо він дуже врожайний. Які небезпеки можуть виникнути?
3. Оберіть одну сільськогосподарську культуру (пшениця, соняшник, помідор) і укладіть перелік бажаних рис для сучасного сорту.



Опорні точки

Основними методами селекції рослин і тварин є масовий та індивідуальний добір, гібридизація, лінійна селекція. До рослин також застосовують мутаційну та клональну селекцію. До традиційних біотехнологій належать процеси за участю мікроорганізмів, які людина використовує вже тисячоліттями, виготовляючи хліб, кисломолочні продукти, квас, вино та ін.



rnk.com.ua/
113310



§ 33

Сучасна біотехнологія. Генна і клітинна інженерія

Створення генетично модифікованих організмів за допомогою методів генної інженерії

Сучасна біотехнологія ґрунтується на досягненнях молекулярної біології, генетики та інженерії. Вона змінює гени і клітини з високою точністю й цілеспрямовано створює нові біологічні продукти. Основними напрямками сучасної біотехнології є **генетична та клітинна інженерія**.

Наприклад, у бактерію можна перенести ген людини, що кодує інсулін, а потім культивувати цей бактеріальний штам і отримувати інсулін, щоб використати його для лікування діабету. Або в рослину перемістити ген стійкості до певного шкідника. Змінені організми називають ГМО — генетично модифікованими організмами.

Генетична модифікація організмів (технологія **рекомбінантних ДНК** (мал. 33.1, схема 27, с. 162) відбувається так.

1. **Виділення гена:** учені знаходять і «виризають» потрібний ген (наприклад, ген стійкості до шкідників чи ген вироблення певного білка). Для цього використовують спеціальні ферменти — **рестриктази** (працюють, як ножиці, розрізаючи ДНК в певних ділянках).
2. **Убудовування гена у вектор:** найчастіше це плазміда (маленька кільцева ДНК бактерії), яка може переносити чужий ген. Для об'єднання фрагментів ДНК використовують ДНК-лігази (працюють, як молекулярний «клей»).
3. **Перенесення гена в клітину:** плазміду з новим геном уводять у бактерію, клітину рослини або тварини.



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Чи відрізняється сучасна біотехнологія від традиційної? Якщо ні, то чому? Якщо відрізняється, то чим? Відповідь обґрунтуйте.



Генетична інженерія — це напрям біотехнології, який займається штучним перенесенням, зміною або створенням генів із метою отримання організмів із новими властивостями.

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Сільське господарство

Створення нових високо-врожайних сортів рослин, стійких до хвороб і посухи, та порід тварин із кращими показниками продуктивності

Мікробіологічна промисловість

Виробництво антибіотиків, вітамінів, ферментів, біопалива за допомогою бактерій і грибів

Медицина

Виготовлення вакцин, ліків, створення діагностичних тестів, розроблення методів генної терапії

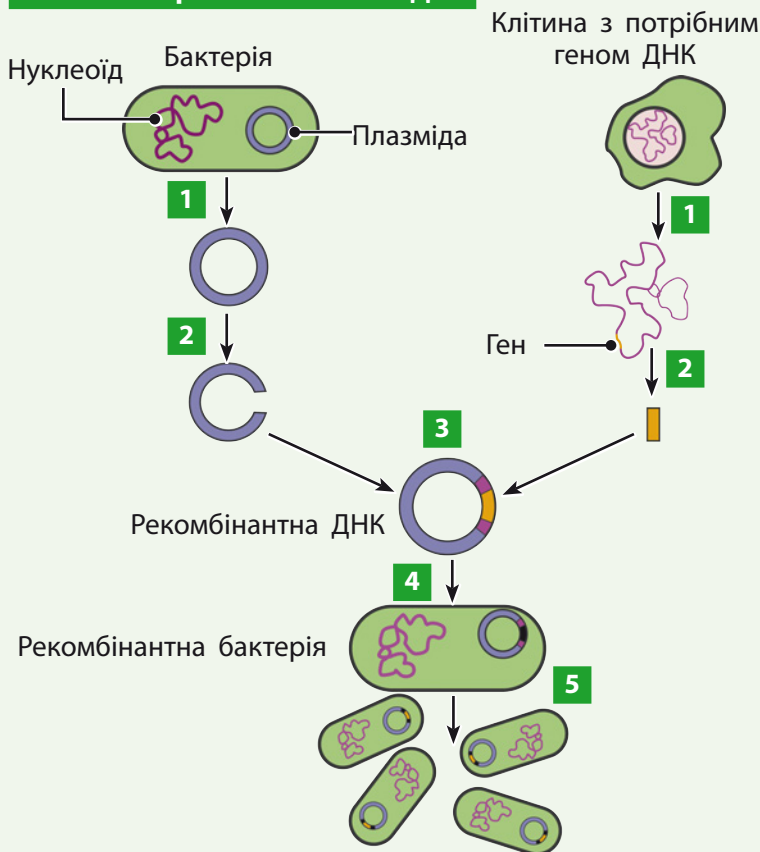
Екологія

Очищення забруднених територій за допомогою мікроорганізмів (біоремедіація), створення біорозкладних матеріалів

Схема 27. Сфера застосування генетичної інженерії

Схема 28. Деякі властивості, яких штучно введені гени надають рослинам

Технологія рекомбінантних ДНК



Мал. 33.1. Генетична інженерія

- 4. Робота гена:** у новому організмі ген починає працювати — синтезує потрібний білок або надає організму нової властивості.
- 5. Відбір трансгенних організмів:** ті клітини або організми, де ген «прижився» й працює, розмножують і використовують у подальших дослідженнях чи виробництві (схема 28).

Стойкість до несприятливих умов: посухи, холодів, засолення ґрунтів

Стойкість до шкідників: наприклад, кукурудза з геном бактерії *Bacillus thuringiensis* виробляє білок, отруйний для комах-шкідників

Довше зберігання плодів: наприклад, помідори, які повільніше псуються

ВЛАСТИВОСТІ, ЯКІ НАДАЮТЬ РОСЛИНАМ ШТУЧНО ВВЕДЕНІ ГЕНИ

Стойкість до гербіцидів: соя чи ріпак із вбудованим геном витримують обробку гербіцидами, які знищують бур'яни, але не шкодять культурі

Покращення харчової цінності: «золотий рис», який містить ген для утворення провітаміну А (каротину), що допомагає боротися з дефіцитом вітамінів у країнах Азії та Африки

Генетично модифіковані рослини (ГМО)

ГМО-рослини — це рослини, у геном яких учені штучно внесли нові гени за допомогою методів генетичної інженерії (мал. 33.2). Завдяки цьому вони набувають корисних властивостей, яких не мали їхні дикі чи культурні предки.

Найбільш поширені у світі трансгенні рослини: соя, кукурудза, бавовник, ріпак.

Мікробіологічна промисловість

Мікробіологічна промисловість — це галузь біотехнології, яка використовує бактерії, дріжджі та цвілеві гриби для виробництва важливих речовин. Люди «навчили» мікроорганізми працювати на себе, вирощуючи їх у спеціальних апаратах — ферментерах (мал. 33.3). Там створюють ідеальні умови (поживні середовища, температуру, доступ кисню), і мікроби швидко розмножуються й виробляють потрібні продукти. Бактерії на мікробіологічних виробництвах продукують антибіотики, вітаміни, промислові ферменти, біопаливо (мал. 33.4, 33.5, с. 164).

Значення генної інженерії для розвитку медицини

Генетична інженерія відкрила нові можливості для медицини, зробивши лікування багатьох хвороб більш ефективним.

Виготовлення ліків. За допомогою бактерій і дріжджів, у геном яких вбудували потрібні гени, сьогодні виробляють важливі препарати:

- інсулін — для лікування цукрового діабету;
- гормон росту — для дітей із затримкою росту;
- інтерферони — білки, що підвищують імунітет і допомагають боротися з вірусами та пухлинами.

Ці препарати стали доступними завдяки тому, що мікроорганізми тепер «працюють, як фабрики», синтезуючи білки, які раніше було неможливо отримати в достатній кількості.

Створення вакцин. Генетична інженерія дала змогу створювати безпечні вакцини нового покоління. Наприклад, вакцина проти гепатиту В виробляється не з вірусу, а з окремого білка оболонки, який отримують за допомогою дріжджів. Це робить її ефективною та безпечною.

Діагностичні тести. Сучасні тести на інфекції (наприклад, COVID-19, ВІЛ, туберкульоз) часто



Мал. 33.2. Тестування генетично модифікованої пшениці



Мал. 33.3. Біореактор для промислового вирощування бактерій



Поділіться своїми думками

Як працюють РНК-вакцини і ДНК-вакцини?



Мал. 33.4. Завод із виробництва біоетанолу. Дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* зброджують цукри в біоетанол



Мал. 33.5. Завод із виробництва біогазу. Метаногенні бактерії розкладають органічні рештки й виділяють біогаз — метан

базуються на методах генної інженерії. Використовуючи спеціальні зонди та ферменти, учені можуть швидко виявити навіть невелику кількість ДНК чи РНК збудника в аналізах людини.

Генна терапія. Це один із найсучасніших напрямів. Він полягає у введенні в клітини пацієнта / пацієнтки «правильного» гена замість ушкодженого. Такий підхід дає шанс лікувати спадкові хвороби, наприклад, муковісцидоз, гемофілію, деякі форми сліпоти. Хоча метод ще розвивається, уже є перші успішні приклади його застосування.

Клітинна інженерія

Клітинна інженерія — це напрям біотехнології, який працює з окремими клітинами, тканинами або їхніми частинами для створення нових організмів, вирощування тканин або отримання корисних продуктів.

Основним методом клітинної інженерії є **культивування клітин і тканин** (схема 29). Окремі клітини або невеликі частини тканин рослин чи тварин вирощують поза організмом, у спеціальних лабораторних умовах.

Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

Чи безпечно вживати продукти харчування, які містять генетично модифіковану рослинну сировину?



Робота в групі

Оберіть тему й один із запропонованих проєктів. Виконайте його.

Створення генетично модифікованих організмів за допомогою методів генної інженерії.

Проект «ГМО як один зі шляхів вирішення проблем людства».

Значення генної інженерії для розвитку медицини.

Проект «Застосування та перспективи генної терапії».



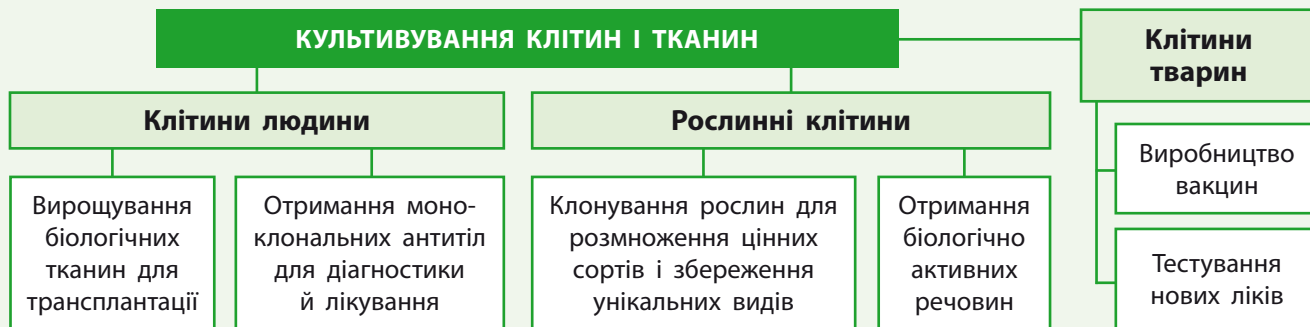


Схема 29. Культивування клітин і тканин

Таким шляхом отримують біологічні тканини для медичних цілей. Прикладом є вирощування клітин шкіри для пересадки пацієнтам із великими опіками. Культивують також клітини хряща та кісткової тканини для лікування травм суглобів і переломів. У перспективі вчені працюють над створенням штучних органів (печінки, серця, нирок) із використанням 3D-біодруку, коли клітини «друкують» шарами на спеціальному каркасі.

Одним із важливих досягнень сучасної біотехнології є **створення моноклональних антитіл** (мал. 33.6). Це спеціальні білки, які можуть точно розпізнавати мікробів чи хворі клітини. Моноклональні антитіла застосовують у медицині для діагностування інфекцій, лікування раку та аутоімунних захворювань. Отримують їх за допомогою **гібридом** — клітин, які є гібридами імунної та ракової клітин. Гібридами поєднують властивості обох «батьків»: вміння виробляти антитіла з боку імунних клітин і здатність безкінечно ділитися з боку ракових.



Відкритий мікрофон

Розгляньте світлину, на якій показаний сучасний біопринтер. Що ви знаєте про таке обладнання і про культивацію клітин? Як культивують клітини й використовують культури клітин? Що таке стовбурові клітини?



Ін'єкція антигену



Імунні клітини

(виробляють антитіла до антигену)

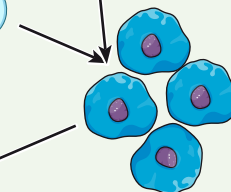
Ракові клітини

(можуть безкінечно ділитися)

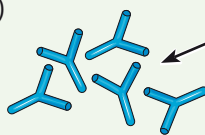


Гібридом

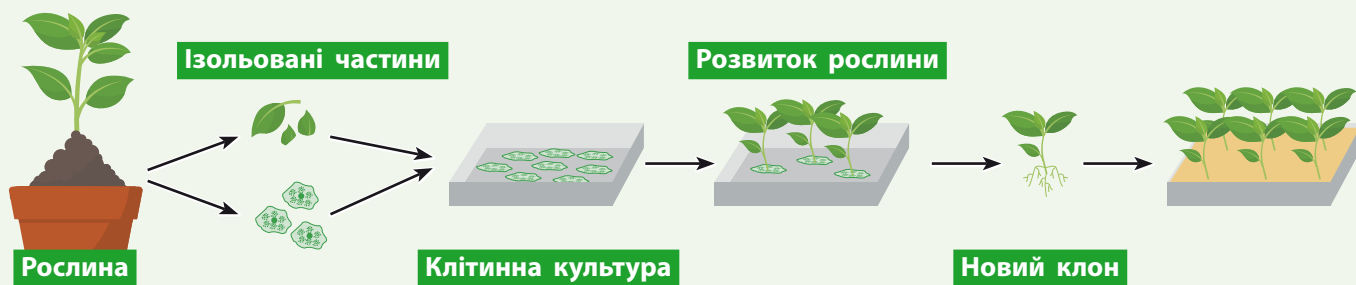
(клітини, які безкінечно діляться й виробляють потрібні антитіла)



Моноклональні антитіла



Мал. 33.6. Створення гібридом і синтез моноклональних антитіл



Мал. 33.7. Клонування рослин



Робота в групі

Обговоріть, які етичні питання постають під час роботи з клітинами людини: чи потрібні спеціальні дозволи? Як забезпечити безпеку донорів і дослідників?

Клонування — процес отримання генетично однакових клітин, тканин або організмів.



Робота в групі

Оберіть один із запропонованих проєктів і виконайте його.

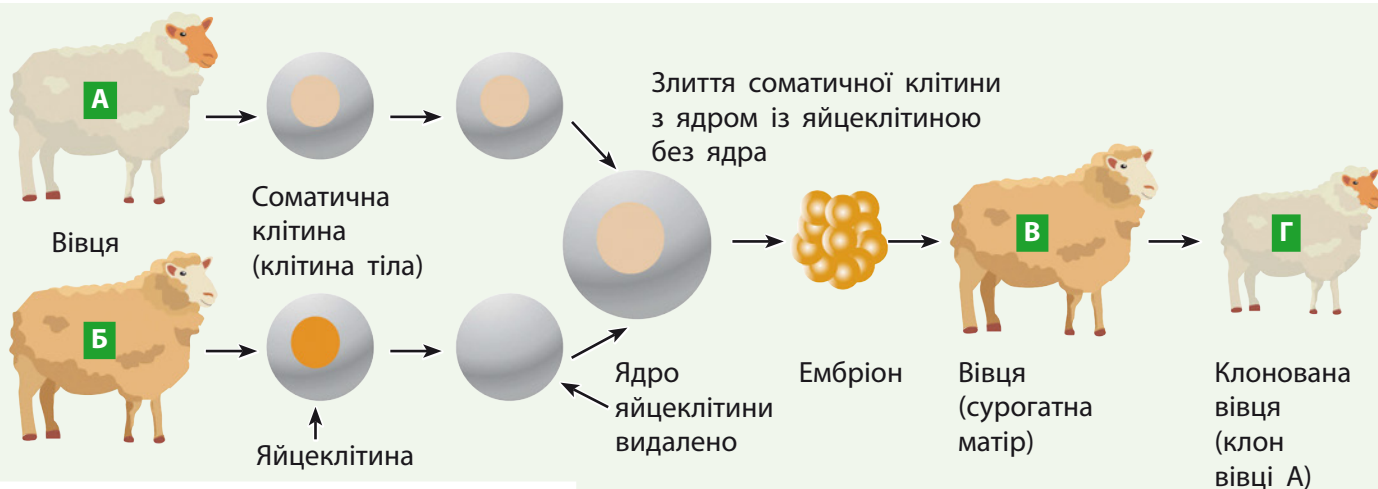
- Проєкт «Практичне використання біотехнологій у фармацевтичній промисловості та медицині».
- Проєкт «Клонування організмів: від перших спроб з амфібіями до ссавців».

Завдяки культивуванню рослинних тканин можливе **масове розмноження цінних сортів — клонування**. Клонування в культурі дає змогу швидко отримати тисячі однакових, генетично ідентичних рослин із маленького шматочка тканини (мал. 33.7). Це особливо корисно для садівництва, картоплярства, виноградарства чи вирощування декоративних культур. До речі, селекцію і гібридизацію також проводять у клітинних культурах.

Так само культивують **рідкісні і зникаючі види рослин**, які важко виростити в природних умовах. Створюють «**банки клітин**», де зберігаються унікальні види для майбутнього. Клітини деяких рослин культивують, щоб отримати біологічно активні речовини: алкалоїди, гормони та ін. Так у лабораторіях виробляють ліки із женьшеню та інших рослин.

Тваринні клітини, яких вирощують у культурі, використовують для виробництва вакцин і тестування нових ліків або косметологічних засобів.

Окремий напрям клітинних технологій — **клонування тварин**. Найвідомішим прикладом є вівця Доллі, перший ссавець, клонований 1996 року зі звичайної соматичної клітини дорослої особи.



Мал. 33.8. Схема клонування вівці Доллі

Метод, який використали вчені, полягав у тому, що ядро клітини дорослої вівці пересадити в яйце-клітину, з якої попередньо видалили власне ядро. У результаті отримали зародок, який мав такий самий генетичний набір, як і тварина-донор. Цей дослід став проривом у науці та довів, що навіть клітини дорослого організму можуть слугувати джерелом для відтворення цілої тварини (мал. 33.8).



Запитання і завдання

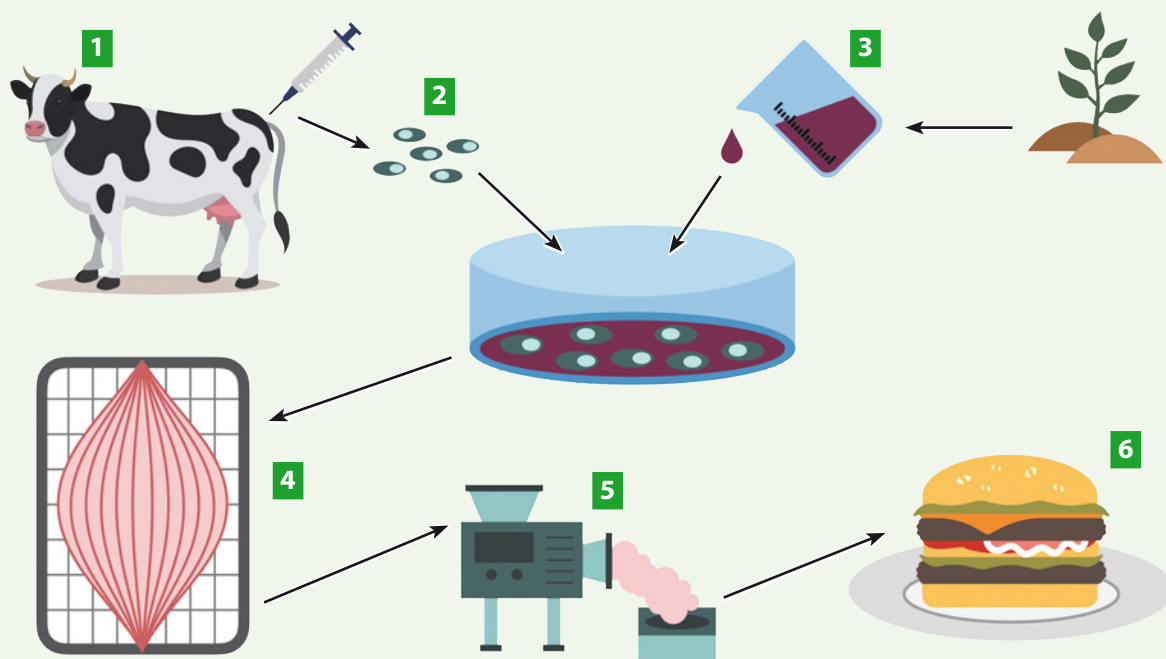
1. Які можливості дає технологія рекомбінантних ДНК?
2. Які властивості надають рослинам штучно введені гени?
3. Порівняйте тестування ліків на клітинах у пробірці та на тваринах. У чому переваги й обмеження кожного підходу?
4. У фільмі «Шостий день» (The 6th Day, 2000) Арнольд Шварценеггер грає людину, яка стикається з власним клоном після незаконного клонування. Які проблеми можуть виникнути, якщо така фантастична ситуація відбудеться насправді? Які етичні питання це породжує?
5. Існують біотехнологічні розробки вирощування м'яса в пробірці. Розгляньте малюнок. Поясніть схему розробки. Як зміниться світ, якщо ця ідея буде реалізована? Наведіть приклади використання продуктів сучасної біотехнології у своєму житті.



Опорні точки

Сучасна біотехнологія дає змогу цілеспрямовано змінювати організми та створювати нові біологічні продукти за допомогою знань про генетику й клітини. Генна інженерія — це можливість модифікувати ДНК, створюючи організми з потрібними властивостями для медицини та сільського господарства. Клітинна інженерія застосовується у виробництві ліків, відновленні органів, клонуванні організмів, розмноженні рослин.

Як виготовляється м'ясо, вирощене в лабораторії





rnk.com.ua/
113311

§ 34

Біологічна систематика



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Уявіть, що у вас є опис десятків тисяч різноманітних рослин і тварин. Вам треба якось це все впорядкувати, щоб інформацію можна було використовувати для досягнення певної важливої мети.

Із чого ви б почали? У який спосіб це можливо зробити?



Живий світ Землі надзвичайно різноманітний. На сьогодні вчені описали понад 2 млн видів організмів, але реальна їхня кількість, за оцінками науковців / науковців, може бути в кілька разів більшою. Рослини, тварини, гриби, бактерії та інші форми життя значно відрізняються між собою за будовою, способом живлення, розмноженням і середовищем існування. Для вивчення цього різноманіття виникла потреба в упорядкуванні живих організмів, що й стало завданням систематики.



Біологічна систематика — це розділ біології, який вивчає різноманіття організмів, установлює їхню спорідненість і створює наукову класифікацію. Вона допомагає не лише впорядкувати знання про живий світ, а й зрозуміти еволюційні зв'язки між організмами, їхнє походження та розвиток.

Біологічна систематика охоплює кілька напрямів, основними з яких є **таксономія** та **біологічна номенклатура** (схема 30). Таксономія визначає принципи класифікації організмів, а біологічна номенклатура встановлює правила їхнього наукового найменування.

Створені вченими системи живого світу можуть бути різними. Наприклад, виділяють штучні та природні системи. У **штучних системах** класифікація



Схема 30. Напрями біологічної систематики

видів здійснюється на основі їхньої подібності за вибраними ознаками. За таких умов не враховується еволюційна спорідненість організмів. **Природні (філогенетичні) системи** відображають еволюційні взаємозв'язки та спільне походження організмів.

Сучасна біологічна систематика ґрунтується на еволюційному принципі. Організми об'єднують



Відкритий мікрофон

У процесі створення штучної системи класифікації можна зараховувати до птахів усіх, хто має крила й літає. А як треба вирішувати проблему класифікації, якщо ви хочете створити природну систему? Чим схожі й чим різняться тварини, зображені на малюнках? Чи можна їх усіх об'єднати в одну таксономічну групу? За якими ознаками? Як виглядає їхня природна класифікація?





Схема 31. Зразок філогенетичного дерева

у групи відповідно до ступеня їхньої спорідненості та походження від спільних предків. Для класифікації використовують різні критерії:

- особливості клітинної будови;
- тип живлення й обміну речовин;
- будову органів і систем;
- особливості розмноження;
- дані молекулярної біології (послідовності ДНК і білків).

Важливу роль у сучасній систематиці відіграють методи молекулярної біології, зокрема, аналіз послідовностей ДНК і білків, адже подібність їхньої будови свідчить про спільного предка.

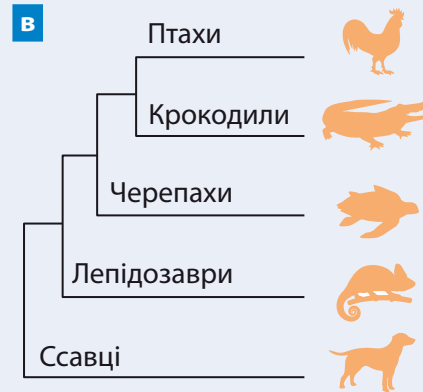
На основі таких даних створюють **філогенетичні дерева** — схематичні зображення еволюційних зв'язків між організмами, які показують їхніх спільних предків і послідовність розходження різних груп у процесі еволюції. Кожна гілка такого дерева відповідає певній еволюційній лінії. Точки розгалуження означають спільних предків. Чим ближче розташовані організми на дереві, тим ближча їхня спорідненість. Філогенетичні дерева можна створювати не лише для таксонів, а й для певних біополімерів, як-от білки або нуклеїнові кислоти, і таким чином простежувати їхню еволюційну історію (схема 31).

Основними одиницями систематики є **таксони** — групи організмів, об'єднаних за певними ознаками. Таксони розташовані в ієрархічному порядку, тобто одні групи входять до складу інших.



Завдання

Розгляньте різні варіанти класифікації однієї групи тварин: а, б — за різними морфологічними ознаками, в — за молекулярно-біологічними даними. У якій із класифікацій черепахи та лепідозаври виявилися найбільш близькою ріднею?



Домен → Царство → Відділ (Тип) → Клас →
Порядок (Ряд) → Родина → Рід → Вид

Базовим таксоном сучасної систематики є **вид**. Для визначення виду використовують цілий комплекс ознак, тобто **критеріїв виду** (схема 32, с. 172). Жоден критерій окремо не є абсолютним. Наприклад, морфологічний критерій не завжди працює, оскільки відомі **види-двійники**, які зовні не відрізняються, але мають різні генетичні набори і не схрещуються між собою. Репродуктивний критерій показує реальну біологічну ізоляцію, але його неможливо визначити на вимерлих групах. Тому види визначаються не за одним критерієм, а за їхнім поєднанням.

! **Вид** — це сукупність особин, які мають спільне походження, подібні за будовою та життєдіяльністю, вільно схрещуються між собою й дають плідне потомство.

Видова назва організмів складається з двох латинських слів: назви роду і власне видової назви. Наприклад: *Passer domesticus* — горобець хатній, *Triticum aestivum* — пшениця культурна. Ця система іменування видів була запропонована Карлом Ліннеєм і дістала назву **бінарна номенклатура**.

! **Бінарна номенклатура** — це система найменування видів латиною, за якою назва кожного виду складається з назви роду і назви виду.



Робота в групі

Проект «Визначення систематичного положення організмів своєї місцевості»

1. Оберіть по 2–3 рослинних об'єкти й по 2–3 тваринних об'єкти вашої місцевості.
2. Визначте їхні видові назви й систематичне положення. Складіть окремо таблицю для видів рослин і таблицю для видів тварин, де зазначте назви таксонів, до яких вони належать.
3. Зробіть висновки.



Робота в парі

Розгляньте опис трав'яної жаби. Дізнайтеся, що означає в опису запис (L., 1758).

Тип: ХОРДОВІ — *CHORDATA*
Клас: Амфібії — *Amphibia*
Ряд: Безхвості земноводні — *Anura*
Родина: Жаби — *Ranidae*
Вид: Жаба трав'яна (*Rana temporaria* (L., 1758))



Робота в групі

Використовуючи додаткові джерела інформації, складіть повний перелік усіх таксономічних одиниць для видів *Elephas maximus* L., 1758; *Ursus arctos* L., 1758; *Canis lupus* L., 1758. Який із цих видів був описаний Карлом Ліннеєм?





Схема 32. Основні критерії виду



Робота в групі

Існує кілька видів конвалії, зокрема, конвалія травнева (*Convallaria majalis*) — найпоширеніша, з багатьма видами садових форм (наприклад, рожеві та махрові квітки); конвалія Кейске (*Convallaria keiskei*) з більшими квітками; та конвалія гірська (*Convallaria montana*), яка вища й має ширше листя.

Орієнтуючись на цей приклад, дізнайтеся, за якими ознаками відрізняються такі види ведмедів: Ведмідь бурий *Ursus arctos*, Ведмідь білий *Ursus maritimus*, Ведмідь гімалайський *Ursus thibetanus*. Надайте різним видам ведмедів коротку характеристику.



Опорні точки

Біологічна систематика створює наукову систему класифікації живих організмів. Базовим таксоном у систематиці є вид. Для визначення видів використовують комплекс ознак (критеріїв виду). Назва виду складається з назви роду й назви виду латиною (бінарна номенклатура).



Запитання і завдання

1. Що вивчає біологічна систематика? У чому її користь?
2. Використовуючи додаткові джерела інформації, складіть перелік тих методів досліджень, на яких базується сучасна біологічна систематика.
3. Чому для визначення виду використовують не якусь одну ознаку, а цілий комплекс ознак?
4. Із-поміж комарів існують види-двійники, деякі з них можуть переносити малярію, а деякі — ні. За зовнішньою будовою вони не відрізняються. Запропонуйте способи, за допомогою яких ці види можна розрізнити.



rnk.com.ua/
113312



§ 35

Сучасна система живого світу

Сучасна система живого світу

На різних етапах історії вчені по-різному уявляли, як упорядкувати живі організми, і створювали системи, що відповідали рівню знань свого часу (мал. 35.1; мал. 35.2, с. 174). Першу наукову систему живої природи у XVIII столітті запропонував **Карл Лінней**. Він поділив усі відомі організми на два царства: Рослини й Тварини, спираючись здебільшого на зовнішню будову. Така система була зручною для опису й упорядкування видів, але не враховувала мікроорганізми та еволюційні зв'язки між групами.

Подальший розвиток мікроскопії й клітинної теорії показав, що існують організми, які не можна віднести ні до рослин, ні до тварин. 1866 року **Ернст Геккель** запропонував виділити третє царство: Протисти, до якого він відніс одноклітинні організми.

У XX столітті, з розвитком біохімії, екології та еволюційної біології, стало зрозуміло, що для класифікації організмів важливі не лише будова клітини, а й спосіб живлення та роль в екосистемах. 1965 року **Роберт Віттакер** запропонував п'ятицарственну систему, виокремивши царства Бактерії, Протисти, Гриби, Рослини і Тварини. Ця система вже значною мірою відображала еволюційні та екологічні особливості організмів.



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Наука біологія постійно розвивається, з'являються нові факти, теорії, нові галузі біологічної науки.

Як ви вважаєте, чи може біологічна систематика бути незмінною? Чи може система живого світу залишатися такою самою, яка вона була в часи Карла Ліннея? Адже саме він створив 1758 року першу наукову систему класифікації, у якій рослини й тварини дістали статус царств (мал. 35.1).

1758 р.

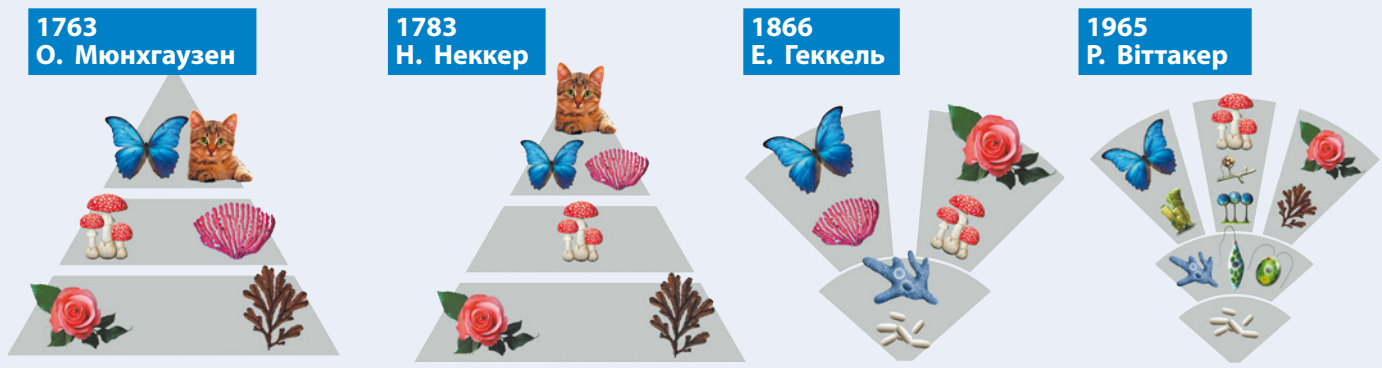


Мал. 35.1. Система царств живих організмів, створена Карлом Ліннеєм

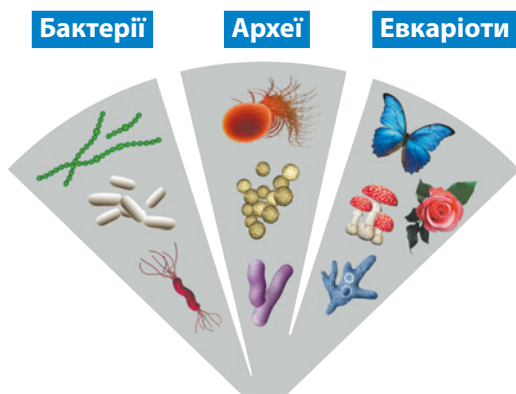


Відкритий мікрофон

Розгляньте зображення системи царств живих організмів, створеної Карлом Ліннеєм, на с. 174 (мал. 35.2). Як ви думаєте, за якими критеріями, тобто ознаками, Карл Лінней об'єднав в одне царство гриби й рослини?



Мал. 35.2. Різні системи царств живих організмів



Мал. 35.3. Три домени — класифікація, яка враховує сучасні наукові уявлення про виникнення й еволюцію живих організмів

У подальшому, завдяки розвитку молекулярної біології й генетики, з'ясувалося, що прокаріоти, які належали до царства Бактерій, насправді є еволюційно неоднорідними. Було виявлено принципові відмінності між справжніми бактеріями та **археями** — організмами, які за будовою клітини подібні до бактерій, але за молекулярними та біохімічними ознаками ближчі до евкаріотів.

На основі цих відкриттів у другій половині ХХ століття була запропонована **тридоменна система** органічного світу, яка виділяє три надцарства (домени): **Бактерії**, **Археї** та **Евкаріоти** (мал. 35.3, схема 33).

У цій класифікації вперше з'явилася нова гілка — Археї. Архей спочатку було виявлено в екстремальних середовищах, але потім їх знайшли в усіх типах екосистем. Це прокаріоти, одна з найдавніших форм життя на Землі. Мембрани їхніх клітин побудовані з унікальних ліпідів, а генетичний матеріал є особливим.

Схема 33. Характеристика domenів Бактерії, Археї та Евкаріоти

ХАРАКТЕРИСТИКА ТРЬОХ ДОМЕНІВ		
БАКТЕРІЇ	АРХЕЇ (архебактерії)	ЕВКАРІОТИ (рослини, тварини, гриби)
Одноклітинні прокаріотичні організми без оформленого ядра. Поширені в природі та відіграють важливу роль у колообігу речовин. Прикладами є кишкова паличка, молочнокислі бактерії, ціанобактерії	Одноклітинні прокаріоти. Суттєво відрізняються від бактерій за будовою клітинних мембран, складом ферментів і генетичними особливостями. Багато архей живуть в екстремальних умовах: за високих температур, солоності або кислотності. Прикладами є археї гарячих джерел, галофіли солоних озер	Евкаріотичні організми, одноклітинні та багатоклітинні, клітини яких мають оформлене ядро та мембранні органели. До цього домену належать протисти, гриби, рослини й тварини

Загальний спільний предок

Сучасні еволюціоністи висловили думку про те, що існував гіпотетичний найближчий загальний предок усіх живих організмів, які сьогодні є на Землі. Вони назвали його LUCA, тобто «останній універсальний спільний предок» (від англ. "last universal common ancestor", LUCA).

Визначити остаточно, коли жив LUCA, неможливо, але, спираючись на дослідження, можна говорити, що LUCA вже існував 3,5 млрд років тому, а можливо, і набагато раніше. Саме від нього, цього універсального спільного предка, виникли три домени життя: бактерії, археї та еукаріоти.

Викопних доказів існування LUCA не існує, але про його характеристики вчені можуть дізнатися, вивчаючи спільні риси геномів сучасних організмів (мал. 35.4).

Сучасні дослідження

Сьогодні вже досліджені послідовності нуклеотидів певних генів сотень видів організмів. Геноми деяких видів розшифровані повністю. Це дає змогу біологам-еволюціоністам порівнювати різні групи організмів між собою і встановлювати їхні родинні зв'язки. Так, завдяки дослідженню геномів було визначено спорідненість архей та еукаріотів. Пропозиція об'єднати їх в один домен обговорюється науковою спільнотою.

Широкого застосування в сучасній еволюційній біології також набув метод **метагеномного аналізу**.

Домен — це таксон найвищого рангу, який охоплює кілька царств живих організмів.



Поділіться своїми думками

Користуючись текстом підручника і схемою 33, дайте порівняльну характеристику трьох доменів. Нагадаємо, що порівняти означає визначити спільні риси цих трьох доменів, зауважити про наявність суттєвих відмінностей між ними та зробити висновок.

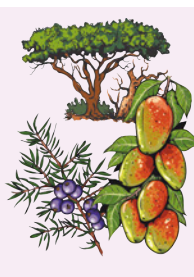
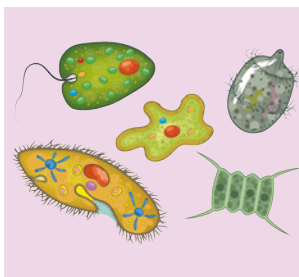
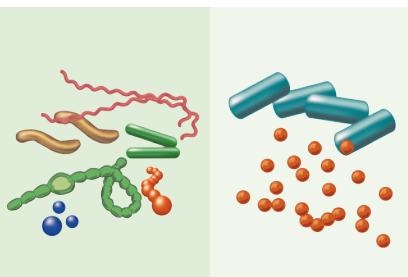


Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Розгляньте мал. 35.4, що відображає еволюційні взаємозв'язки між різними таксонами, які мають загального предка. Дізнайтеся, хто такі протисти.

Прокаріоти

Еукаріоти



Бактерії

Археї

Різні одноклітинні еукаріоти

Рослини

Гриби

Тварини

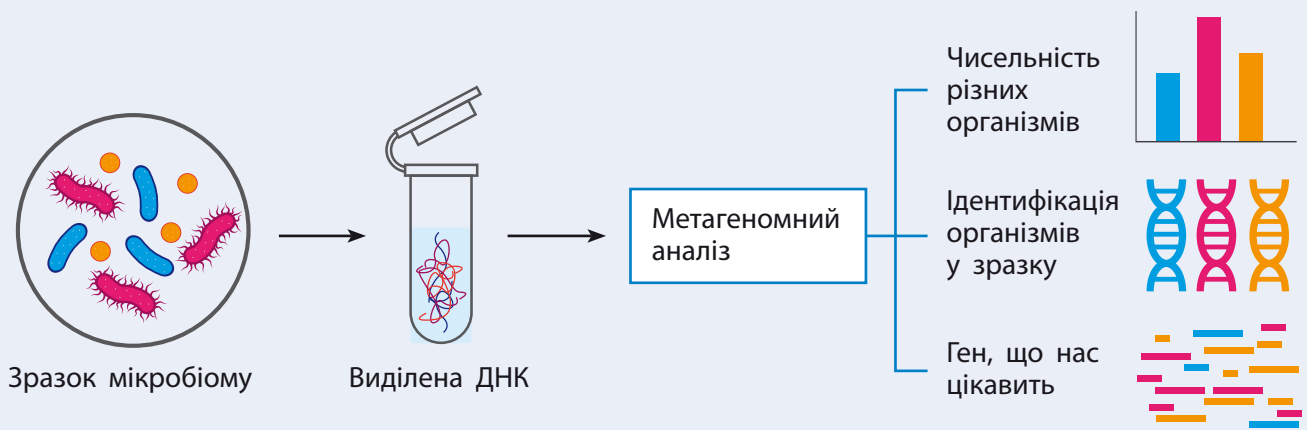
Бактерії

Археї

Еукаріоти

Загальний предок LUCA

Мал. 35.4. Сучасне еволюційне дерево, яке відображає еволюційні взаємозв'язки між різними таксонами, що мають спільного предка



Мал. 35.5. Етапи метагеномного аналізу

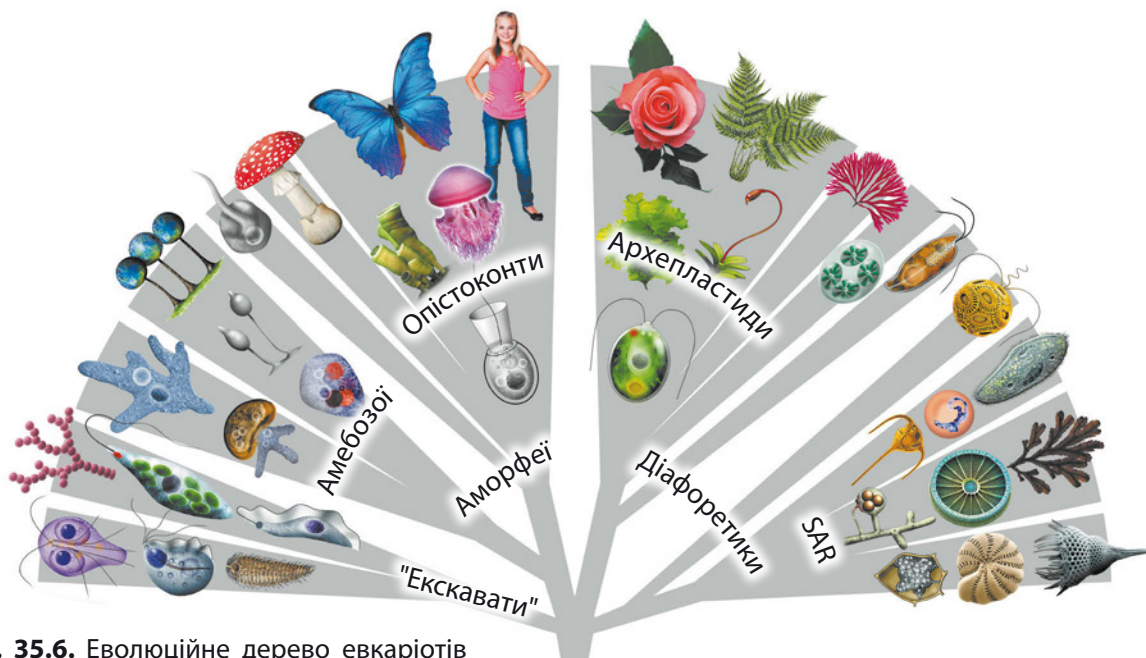
Мікробіом — сукупність усіх мікроорганізмів та їхніх генів у певному середовищі.



Анімація
«Систематика
евкаріотів»
rnk.com.ua/113462

Метагеномний аналіз — це сучасний метод дослідження біорізноманіття, який дає змогу виділяти та вивчати ДНК безпосередньо з природних зразків (ґрунту, води, мулу, кишківника) без попереднього вирощування мікроорганізмів у лабораторії (мал. 35.5). Це має велике значення, оскільки більшість мікроорганізмів не здатні рости на штучних поживних середовищах.

Застосування метагеномного аналізу засвідчило, що **кількість невідомих науці мікроорганізмів значно перевищує кількість уже описаних видів!** Було виявлено цілі групи організмів, які існують у природі, але досі не піддаються культивуванню в лабораторних умовах. У цьому разі ученим відома лише послідовність їхньої ДНК, а будову клітин і особливості життєдіяльності доводиться відновлювати за генетичною інформацією.



Мал. 35.6. Еволюційне дерево еукаріотів

Таблиця 13. Характеристика субдоменів Екскарвати, Аморфеї й Діафоретики

Субдомен	Біологічна роль
Екскарвати	До субдомену належать лише одноклітинні організми. Вони можуть бути вільноживучими, або вести паразитичний спосіб життя, або ставати симбіонтами багатоклітинних організмів. Наприклад, евглена зелена — вільноживучий організм, трипаносома — збудник сонної хвороби, а гіпермастигінні є симбіонтами, які живуть у кишечниках термітів і тарганів
Аморфеї	Надцарство Амебозої. Представлено одноклітинними й колоніальними організмами, а також справжніми слизовиками, здатними утворювати багатоклітинний плазмодій. Представниками амебозоїв є, наприклад, різноманітні амеби
	Надцарство Опістоконти. Представлено одноклітинними, колоніальними або багатоклітинними організмами. До цієї групи належать царства Справжні гриби та Справжні тварини
Діафоретики	Надцарство Архепластиди. Представлено фотосинтезуючими еукаріотами, пластидами яких виникли в результаті симбіозу із ціанобактеріями. З-поміж них є одноклітинні, колоніальні й багатоклітинні організми. Найбільш відомими представниками цієї групи є царство Червоні водорості й царство Зелені рослини
	Надцарство SAR. Назва надцарства SAR утворена за першими літерами назв трьох царств, які входять до його складу: страменофіти (<i>Stramenopiles</i>), альвеоляти (<i>Alveolata</i>) та ризарії (<i>Rhizaria</i>). Надцарство SAR представлено одноклітинними, колоніальними та багатоклітинними організмами. З-поміж них є фотосинтезуючі еукаріоти, хлоропласти яких утворилися завдяки симбіозу з іншими еукаріотами (наприклад, із представниками червоних або зелених водоростей). Автотрофними представниками SAR є бурі, діатомові та золотисті водорості, а гетеротрофними представниками — форамініфери, радіолярії, інфузорії, споровики

Більшість цих організмів, за результатами аналізу геномів, належать до прокаріотів і часто утворюють окремі гілки на філогенетичних деревах. Усе це свідчить про те, що різноманітність життя на Землі значно складніше, ніж уважалося раніше.

Нові технології досліджень також сприяли точнішому відображенню еволюційних зв'язків між окремими групами еукаріотів. Згідно з новою системою, домен Еукаріоти поділяється на субдомени, утворені надцарствами (мал. 35.6; табл. 13).



Опорні точки

Загальна картина систематики живого світу постійно змінюється. Ці зміни виникають завдяки розвитку біологічної науки, появі її нових галузей, важливим відкриттям, які відбуваються в процесі вивчення всіх рівнів організації живого, особливо молекулярного.



Запитання і завдання

1. Чому археї були відкриті лише у XX столітті? У чому складність їхнього вивчення?
2. До якого домену належать субдомени Екскарвати, Аморфеї й Діафоретики?
3. До якого субдомену належать Справжні гриби та Справжні тварини?
4. Який субдомен містить лише одноклітинні організми?



rnk.com.ua/
113313



§ 36

Різноманіття рослин і тварин. Екосистемне біорізноманіття та його збереження



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Уявіть собі, що кількість видів рослин і тварин зменшилася настільки, що на всій планеті залишилося лише 50 видів рослин і 50 видів тварин. Що б відбувалося? Як би виглядали тоді екосистеми? Які наслідки спричинило б таке одноманіття?

Різноманіття рослин

Наземні рослини походять від зелених водоростей. Характерними особливостями наземних рослин є багатоклітинність, наявність тканин і органів та адаптація до життя на суходолі. Ця група рослин є дуже різноманітною. Наприклад, були часи, коли деякі з плаунів мали форму дерев. Наприклад, лепідодендрон і сигілярія (мал. 36.1, 36.2). А всі сучасні плауни — це багаторічні трав'янисті рослини, як-от Плаун булавоподібний (мал. 36.3).

Сучасні папороті й хвощі є більш різноманітними, ніж сучасні плауни. Зараз на планеті



Мал. 36.1. *Lepidodendron aculeatum* — Лепідодендрон — був гігантським плауноподібним деревом, яке утворювало величезні ліси від кам'яновугільного до пермського періодів



Мал. 36.2. *Sigillaria* — це дерева, які жили з карбону до початку пермського періоду в болотах і заплавах лісах у теплих і вологих умовах



Мал. 36.3. Плаун булавоподібний (*Lycopodium clavatum*) — трав'яниста тіньовитривала рослина



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Дізнайтеся, скільки видів плаунів трапляється в Україні, чи застосовуються вони в промисловості та медицині та чи є з-поміж видів плаунів такі, що занесені до Червоної книги України. Зробіть доповідь про ці рослини, дізнайтеся про них цікаві факти й поясніть, чому сучасні плауни є невеликою групою.

папоротей — понад 9000 видів, а хвощів — 15 видів. Більшість сучасних представників цієї групи — трав'янисті рослини, наприклад, папороть чоловіча та хвощ польовий (мал. 36.4, 36.5).

Найбільш різноманітними з-поміж наземних рослин є насінні рослини. Вони поділяються на два класи: голонасінні та покритонасінні. Головна відмінність насінних рослин у тому, що вони можуть здійснювати запліднення без наявності води. Це стало можливим тому, що спермії під час запліднення доставляються до яйцеклітини завдяки проростанню пилкової трубки. Після запліднення утворюються захищені оболонкою насінини, які містять запас поживних речовин і зародок спорофіту.

Голонасінних рослин на сучасній планеті існує приблизно від 800 до 1000 видів. Найбільш поширеними голонасінними рослинами є хвойні, кількість видів яких понад 600 (мал. 36.6). Окрім хвойних, до голонасінних належать саговникові (саговник, бовенія), гінкгові (гінкго), гнетові (вельвічія, ефедрa, гнетум). У Мезозойську еру ці



Мал. 36.4. Папороть чоловіча, або щитник чоловічий (*Pteridium aquilinum*), — найпоширеніший в Україні вид папоротей



Мал. 36.5. Хвощ польовий (*Equisetum arvense* L.) — найпоширеніший в Україні вид хвощів (місцеві назви илець, падиволос, сосонка польова, хвойка, тінички)



Мал. 36.6. Хвойні рослини: Сосна звичайна *Pinus sylvestris* L. — дуже світлолюбне дерево, невибагливе до ґрунту (а); Модрина європейська (*Larix decidua* Mill.) росте в гірських районах Європи, зокрема, в Альпах і Карпатах (б); Тис ягідний (Тис європейський) *Taxus baccata* L., занесений донаприклад, Червоної книги України, реліктовий вид (в)

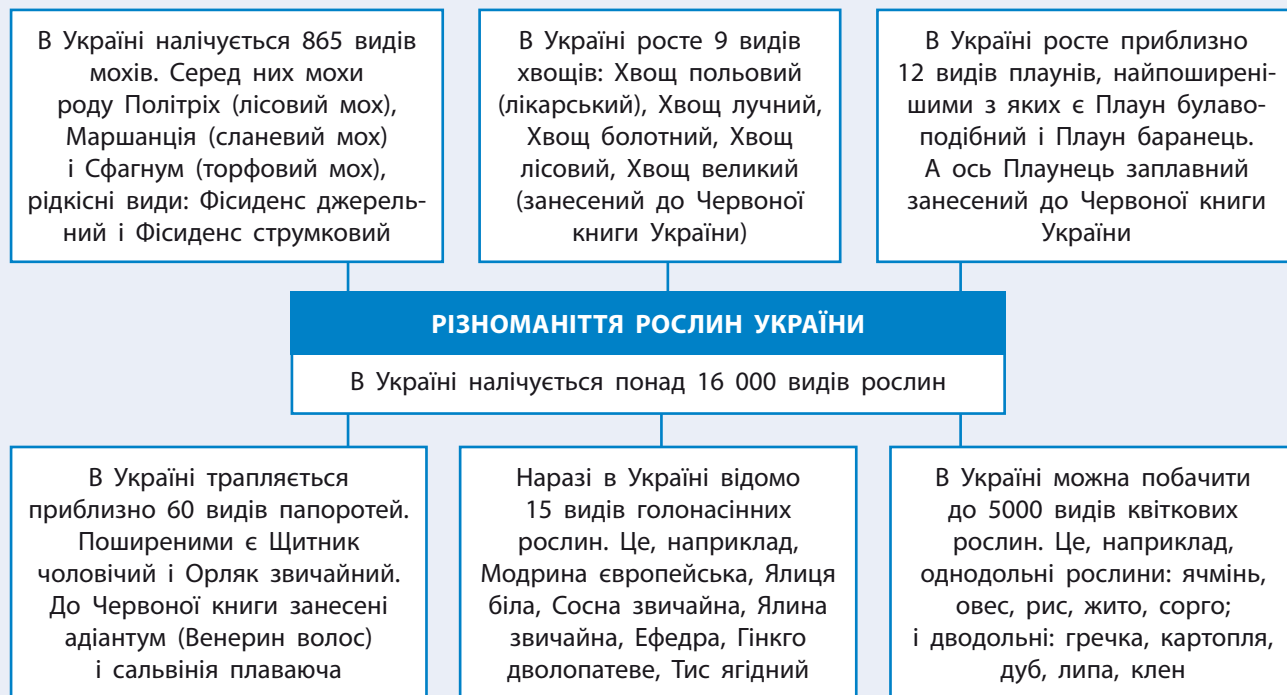


Схема 34. Різноманіття рослин України



Відкритий мікрофон

Користуючись схемою 34, розкажіть про різноманіття рослин України.

Проект «Визначення та дослідження різноманіття рослин і тварин своєї місцевості за допомогою мобільних застосунків» (наприклад, iNaturalist)

Екскурсія до ботанічного саду, зоопарку або музею природи (може бути у віртуальному форматі)



групи були численними та різноманітними, а наразі представлені невеликою кількістю видів.

Різноманіття квіткових рослин вражає. Їх налічується на нашій планеті понад 250 000 видів, що значно перевищує кількість видів інших груп вищих рослин разом узятих. Квіткові рослини поширені на всіх континентах, окрім Антарктиди. Вони ростуть в усіх кліматичних умовах: у тундрі, пустелі, горах тощо. Ця група об'єднує багато життєвих форм: трави, кущі, дерева та ліани. В Україні трапляється понад 5000 видів квіткових рослин, поширених у різних екосистемах: від степів до Карпат (схема 34).

Різноманіття тварин

Наукова спільнота й досі не знає точної кількості видів тварин на планеті. Уважається, що їх приблизно 7 млн. Понад 2 млн видів тварин уже офіційно описані. Щорічно зоологи / зоологині описують від 14 до 18 тис. нових видів (схема 35, мал. 36.7).



Відкритий мікрофон

Користуючись схемою 35, розкажіть про різноманіття тварин України.



Мал. 36.7. Різноманіття тварин

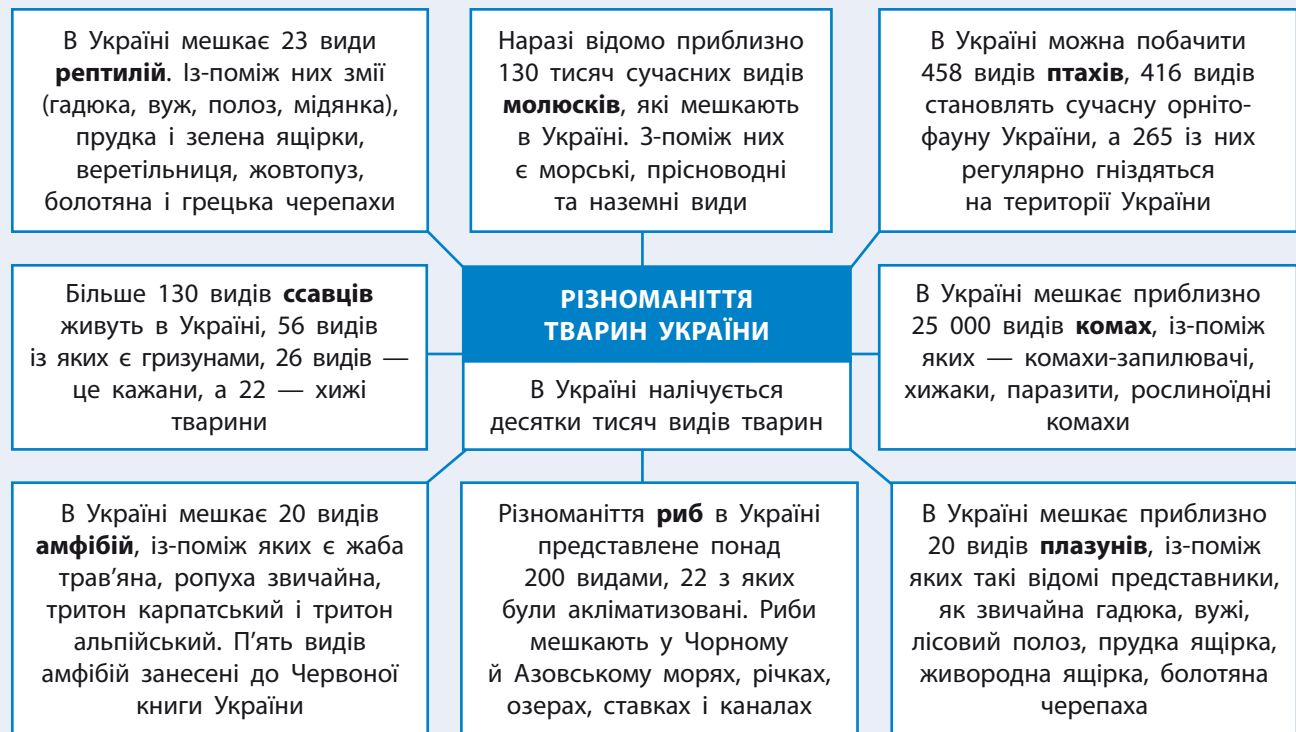


Схема 35. Різноманіття тварин України



Завдання

Запропонуйте текст для екскурсій у ботанічний сад і зоопарк, у змісті якого має бути інформація про різноманіття рослин і тварин України та світу й необхідність збереження цього різноманіття. Поясніть у цьому тексті, яку роль відіграють ботанічні сади й зоопарки в процесі збереження видового різноманіття рослин і тварин.



Екскурсія до ботанічного саду



Екскурсія до зоопарку

Екосистемне біорізноманіття. Значення та збереження біорізноманіття

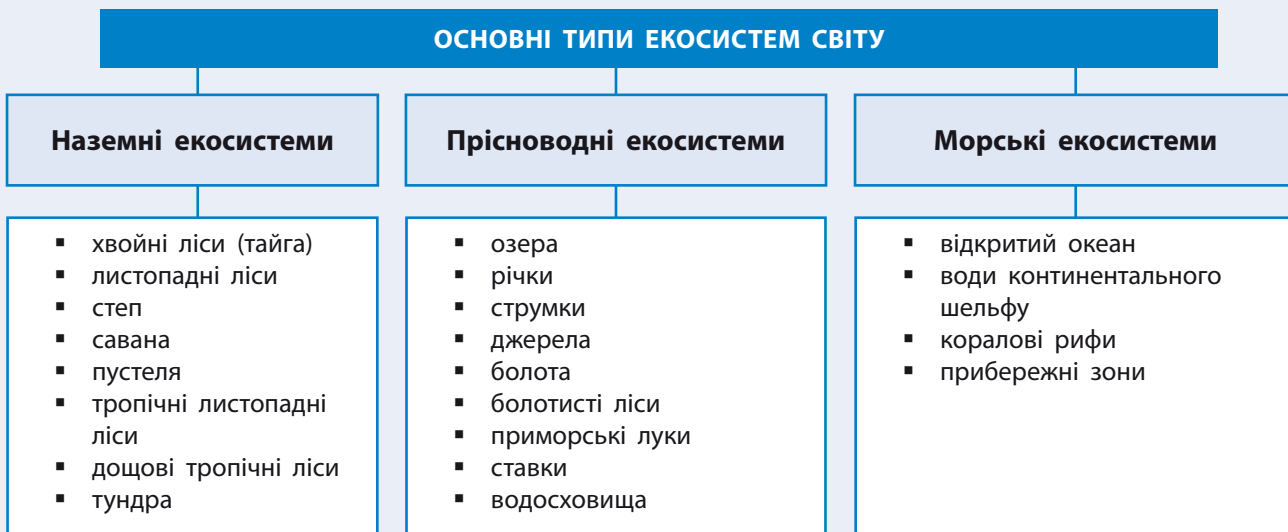
На відміну від видового різноманіття, **екосистемне біорізноманіття** — це термін, який стосується природних угруповань (екосистем), що охоплюють суходільні, водні й інші природні комплекси, які є складниками біосфери. Різноманіття екосистем визначається різноманітністю природних умов і діяльністю людини.



Відкритий мікрофон

Користуючись схемою 36 і додатковою інформацією, розкажіть про основні типи екосистем світу й необхідність екосистемного біорізноманіття.

Схема 36. Типи екосистем



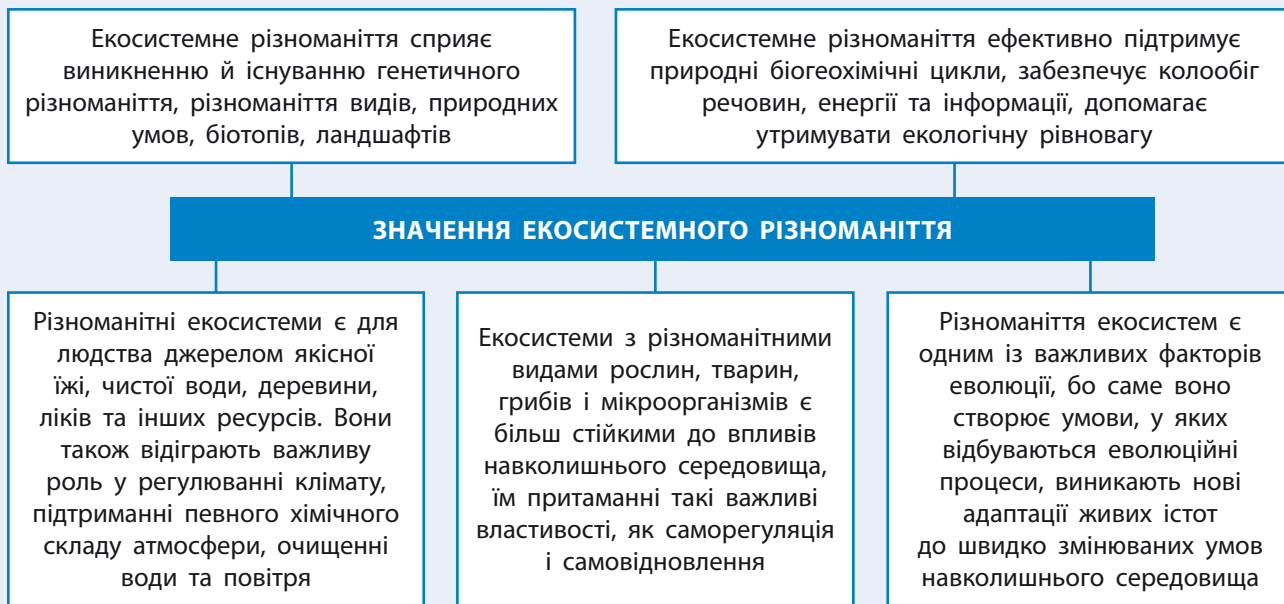


Схема 37. Екосистемне різноманіття

Збереження різноманіття екосистем передбачає комплекс заходів, спрямованих не лише на охорону окремих видів і їхніх популяцій, а й на охорону екосистем загалом. Це сприяє стабілізації біосфери, регуляції клімату, продовольчій безпеці. Важливо зберігати екосистемне біорізноманіття ще й тому, що воно забезпечує й підтримує життєво необхідні біогеохімічні процеси, як-от колообіг речовин і енергії, і є джерелом ресурсів для людства.

Пошук, систематизація та критичний аналіз інформації щодо охорони та збереження біорізноманіття в Україні й світі.



Відкритий мікрофон

Користуючись схемою 37 і додатковою інформацією, розкажіть про значення екосистемного різноманіття нашої планети.



Робота в групі

Як біорізноманіття пов'язане зі стійкістю та саморегуляцією екосистем? Чому необхідно зберігати біорізноманіття?



Запитання і завдання

1. Запропонуйте власну низку заходів, які сприятимуть збереженню різноманіття видів і різноманіття екосистем вашої місцевості.
2. Наведіть приклади тих екосистем, які існують саме у вашій місцевості. Які види рослин у них ростуть і які види тварин мешкають? За допомогою яких методів можна вивчати їхнє різноманіття?
3. Дізнайтеся, які рослини називають ендеміками, які ендемічні види квіткових рослин є в Україні, скільки з них занесені до Червоної книги України. Доведіть, що різноманіття квіткових рослин є важливим для збереження екосистемного різноманіття.



Опорні точки

Різнманіття рослин, тварин та екосистем є важливим фактором еволюції, від якого суттєво залежить можливість існування живих організмів на нашій планеті. Постійне спостереження й вивчення видового, екосистемного та генетичного різноманіття планети дає змогу забезпечувати його дбайливе використання та збереження для майбутніх поколінь.



rnk.com.ua/
113314



§ 37

Екологія як наука. Екологічні чинники. Пристосування живих організмів до дії екологічних чинників



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Слово «екологія» походить від давньогрецького οἶκος (дім) і «λόγος» (учення). Слово «економіка» походить від «οἶκος» (дім) та «νόμος» (закон). Фактично, екологія є наукою про будову нашого спільного дому, а економіка — наукою про закони правильного ведення господарства. Як ви вважаєте, чи можна ефективно вести хатнє господарство, не розуміючи, як саме побудований дім?

Предмет і завдання екології

Екологія — це наука про взаємодію живих організмів та їхніх угруповань одне з одним і з навколишнім середовищем (схема 38).

На **популяційному рівні** екологія вивчає характеристики популяцій (наприклад, чисельність, щільність, просторову структуру) й характер взаємозв'язків між організмами (наприклад, внутрішньовидову конкуренцію). На **рівні екосистем** екологія вивчає міжвидові трофічні зв'язки, через які відбувається перенесення поживних речовин і енергії в екосистемі. На **рівні біосфери** екологія вивчає процеси планетарного масштабу, наприклад, колообіг речовин та енергії.

Схема 38. Основні завдання екології

ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ЕКОЛОГІЇ

Вивчення взаємодії організмів із факторами навколишнього середовища

Вивчення структури й функціонування біологічних угруповань: популяцій, екосистем, біосфери

Розроблення наукових основ раціонального використання природних ресурсів

ЕКОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ (ФАКТОРИ)

Абіотичні	Біотичні	Антропогенні
Фактори неживої природи. До них належать температура, світло, вологість, склад повітря й води, тиск, солоність, pH середовища, рельєф, ґрунт. Вони визначають фізіологічні межі існування організмів. Наприклад, температура впливає на швидкість обміну речовин, а світло — на процес фотосинтезу в рослин	Пов'язані із впливом одних організмів на інші. Це взаємодії між рослинами, тваринами, грибами й мікроорганізмами: конкуренція за ресурси, хижацтво, паразитизм, симбіоз, запилення, розповсюдження насіння. Такі взаємозв'язки формують структуру екосистем і регулюють чисельність популяцій	Зумовлені діяльністю людини. До них належать вирубування лісів, розорювання земель, забруднення повітря, води й ґрунтів, застосування пестицидів, урбанізація, зміна клімату. Ці чинники можуть як негативно впливати на живі організми (наприклад, знищення лісів), так і створювати нові умови для їхнього існування (створення заповідників)

Середовища існування

Усі живі організми існують у певному **середовищі існування** — сукупності природних умов, у яких вони живуть, розмножуються та взаємодіють з іншими організмами. Розрізняють чотири основні типи середовищ існування: **водне, наземно-повітряне, ґрунтове та організмове**. Середовище визначає доступність води, світла, поживних речовин, температурний режим та інші чинники, що впливають на життя організмів. У процесі еволюції живі істоти виробили різноманітні адаптації, які дають змогу виживати в конкретних умовах.

Екологічні чинники, їхня класифікація і вплив на живі організми

Екологічні чинники — це всі умови й елементи навколишнього середовища, які впливають

Схема 39. Класифікація екологічних чинників



Анімація
«Абіогенні, біогенні
та антропогенні
екологічні
фактори»
rnk.com.ua/113467



Відкритий мікрофон

Користуючись світлинами нижче, розкажіть про основні середовища існування на планеті Земля. Яке, на вашу думку, з них є найбільш комфортним? Аргументуйте.

ОСНОВНІ СЕРЕДОВИЩА ІСНУВАННЯ НА ПЛАНЕТІ ЗЕМЛЯ



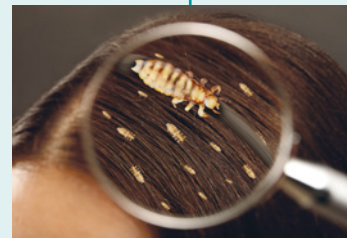
Водне середовище



Наземно-повітряне середовище



Ґрунт як середовище існування

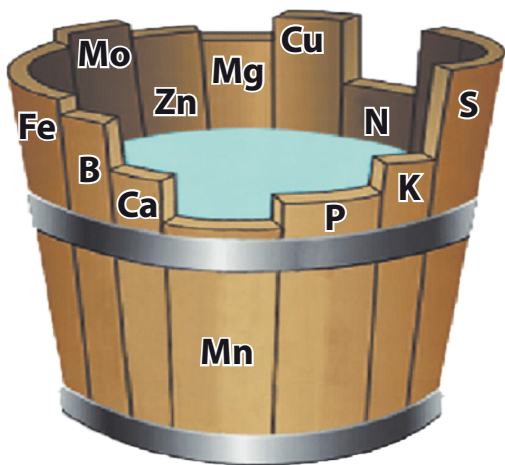


Живі організми як середовище існування



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Розгляньте малюнок, на якому зображена «Бочка Лібіха» — наочна модель, що ілюструє закон мінімуму, який був сформульований німецьким хіміком Юстусом фон Лібіхом. Поясніть, чому в цієї бочки всі дошки різної довжини. Навіщо на них написані символи хімічних елементів? Що визначає найкоротша дошка? Який принцип ілюструє «Бочка Лібіха»? Чому цей принцип є важливим для розуміння, які добрива та поживні речовини потрібні рослинам для отримання максимального врожаю?



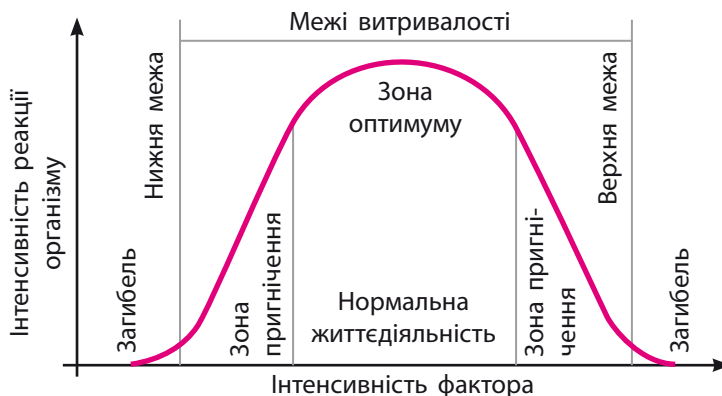
Класифікація
і приклади
екологічних
чинників (факторів)
rnk.com.ua/113466

на життєдіяльність, розвиток, розмноження й поширення живих організмів (схема 39, с. 185). Кожен організм постійно перебуває під дією багатьох чинників, і саме їхня сукупність визначає можливість існування виду в певному середовищі. За походженням екологічні чинники поділяють на абіотичні, біотичні та антропогенні. Кожен організм може жити й розвиватися в певному діапазоні значень кожного екологічного чинника.

Найсприятливіші умови для життя організмів певного виду називають **зоною оптимуму** (мал. 37.1). У цій зоні організми найкраще ростуть і активно розмножуються. Наприклад, для більшості культурних рослин оптимальними є помірна температура, достатня кількість світла та вологості. Для людини оптимальною є температура повітря 18–23 °С.

За умов відхилення від оптимальних умов дія екологічного чинника стає пригнічувальною — це **зона песимуму**. У таких умовах організм ще може виживати, але його ріст і розмноження сповільнюються. Наприклад, рослини можуть рости повільніше за нестачі світла, а тварини стають менш активними за низьких температур.

Мінімальні та максимальні значення чинника, які організм іще здатний витримати, називають **критичними точками**. За їхніми межами існування організму неможливе, і він гине. Екологічний чинник, значення якого виходить за ці межі організму, стає **лімітуючим (обмежувальним) фактором**, таким, що обмежує існування. Так, більшість прісноводних риб не може жити у воді з дуже низьким умістом кисню, а кактуси гинуть за надмірної вологості.



Мал. 37.1. Крива толерантності (графічне зображення закону оптимуму)

У природних умовах завжди діє комплекс екологічних чинників, але життєдіяльність організмів обмежується тим чинником, якого найменше. Наприклад, ріст рослин може стримуватися нестачею мінеральних речовин у ґрунті, навіть якщо світла й води достатньо.

Пристосування живих організмів до дії екологічних чинників

У процесі еволюції живі організми пристосовуються до умов середовища існування та дії різноманітних екологічних чинників. Такі пристосування називають **адаптаціями**. Вони допомагають організмам виживати, розмножуватися й займати певне місце в природі. Адаптації можуть виникати на різних рівнях організації живого: від окремого організму до екосистеми.

Еволюційні адаптації формуються впродовж багатьох поколінь унаслідок природного добору й передаються в спадок. Вони є характерними для всіх особин популяції або виду. Так, рослинам пустель притаманні добре розвинені тканини для запасання води, видозмінені листки (колючки) та знижена транспірація. Корінні жителі високогірних районів мають спадкові адаптації до нестачі кисню: збільшений об'єм легенів, велику грудну клітку та підвищену кількість еритроцитів у крові.

До еволюційних адаптацій належать і **сезонні реакції організмів**, зокрема, **фотоперіодизм** — спадкова реакція на зміну тривалості світлового дня. Завдяки фотоперіодизму рослини цвітуть у певну пору року, відбувається листопад, а тварини переходять у стан спокою, сплячку, розмножуються або мігрують у визначений час.

Фізіологічні адаптації пов'язані зі змінами в роботі органів і біохімічних процесів в організмі. Вони мають індивідуальний, швидкий і зворотний характер. Наприклад, під дією ультрафіолетового випромінювання в шкірі людини посилюється утворення пігменту меланіну, унаслідок чого виникає загар. Інший приклад — риби, які мігрують між морською й прісною водою, здатні змінювати роботу нирок і зябер, пристосовуючись до різної концентрації солей.

Адаптації відбуваються також на рівні **екосистем**. До них належать процеси саморегуляції, коливання чисельності видів і **екологічні sukcesії** — послідовні зміни екосистем, під час яких одні види замінюються іншими, більш пристосованими до



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Журавлі починають свій осінній переліт на початку серпня. Ще тепло, достатньо їжі, умови навколишнього середовища є комфортними. Але птахи починають свою подорож. Чому? Що викликає фізіологічну та поведінкову готовність до перельоту? Який фактор є основним?



Осінній переліт журавлів



Робота в парі

Прочитайте текст.

Hummingbird beaks are usually thin and long. The beak of the spear-billed hummingbird reaches 12 cm in length and is larger than the rest of the bird's body. Hummingbird beaks are usually dark in color, but can be brightly colored. At the edges of the beak are slit-like nostrils, which are usually covered by a lid.

Про яку адаптацію йдеться в тексті? Чи є така адаптація коадаптацією? Чи можна її навести як приклад коеволюції?



Поділіться своїми думками

Розгляньте світлини. Чому навіть найсильніша засмага в європейців не може зрівнятися з кольором шкіри корінних мешканців / мешканок Африки? Про яку адаптацію йдеться?



Запитання і завдання

1. Чому один і той самий екологічний чинник може бути корисним для одного виду й шкідливим для іншого? Наведіть приклад.
2. На світлині зображений листок рослини, поширеної, зокрема, у Перу та Коста-Риці. Пристосуванням до яких екологічних факторів є форма й особливості будови листків цієї рослини?
3. Що небезпечніше для екосистеми: різка зміна одного екологічного чинника чи повільна зміна багатьох чинників одночасно? Відповідь поясніть.
4. Чи можна вважати людину «універсально адаптованим видом»? Обґрунтуйте відповідь.
5. Чи можна вважати технічні винаходи людини (одяг, житло, кондиціонери) формою адаптації? Поясніть.
6. Порівняйте адаптації кактуса й водяної лілії. Який екологічний чинник став вирішальним для формування їхньої будови?



Опорні точки

Екологія є наукою, яка вивчає взаємозв'язки між організмами, їхніми угрупованнями та довкіллям, а також закономірності функціонування систем надорганізмowego рівня: популяцій, видів, біоценозів, екосистем і біосфери.



Практичне дослідження «Адаптація людини до кліматичних умов»

Знайдіть інформацію про адаптації різних етносів до конкретних кліматичних умов (холодний і жаркий клімат) і на їхньому прикладі проаналізуйте:

- а) анатомічні та фізіологічні адаптації людини до різних кліматичних умов;
- б) як клімат впливає на спосіб життя, житло, одяг, харчування та види діяльності людей.

Практичне дослідження «Адаптація людини до життя в горах»

1. Ознайомтеся з основними екологічними чинниками гірського середовища (знижений атмосферний тиск, нестача кисню, низька температура, підвищене ультрафіолетове випромінювання).
2. Опишіть вплив цих чинників на організм людини.
3. Проаналізуйте адаптації людини до життя в горах (фізіологічні, анатомічні та поведінкові).
4. Наведіть приклади змін у способі життя людей, які мешкають у гірських районах.



rnk.com.ua/
113315

§ 38

Популяція як екологічна одиниця. Екологічні стратегії популяцій

Характеристики популяції

! **Популяція** (лат. "populatio" — народ, населення) — це сукупність особин одного виду, що займає протягом низки поколінь певну територію (ареал), вільно схрещується між собою, дає плодюче потомство та є відносно ізольованою від інших груп того самого виду.

Популяція є генетичною одиницею, оскільки вона становить собою сукупність особин одного виду, які мають спільний генофонд. Кожен ген у популяції існує в різних алельних формах, їхнє співвідношення визначає **генетичну структуру популяції**.

Популяція є еволюційною одиницею, бо саме на рівні популяції відбуваються еволюційні зміни, що стають причинами формування адаптацій і утворення нових видів. **Популяція є екологічною одиницею**, бо саме популяції — це основні елементи екологічних систем, які відіграють ключову роль у функціонуванні природних середовищ.

Важливою ознакою популяції є спільна територія існування. Особини одного виду живуть у подібних умовах і користуються спільними ресурсами, що забезпечує формування внутрішньовидових взаємин: конкуренції, співпраці, ієрархії.

Ще однією ознакою є вільне схрещування, унаслідок якого формується спільний генофонд популяції, що визначає здатність популяції пристосовуватися до змін середовища. Зазвичай особини в популяції розподілені нерівномірно. У складі популяцій виділяють більш дрібні угруповання (субпопуляційні групи): родини, зграї, сімейні групи, колонії, деми тощо (мал. 38.1).



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Чому саме популяція, а не окремий організм, є справжнім суб'єктом еволюції?



Мал. 38.1. Субпопуляційні угруповання: зграя вовків (а); сімейна група левів (б)

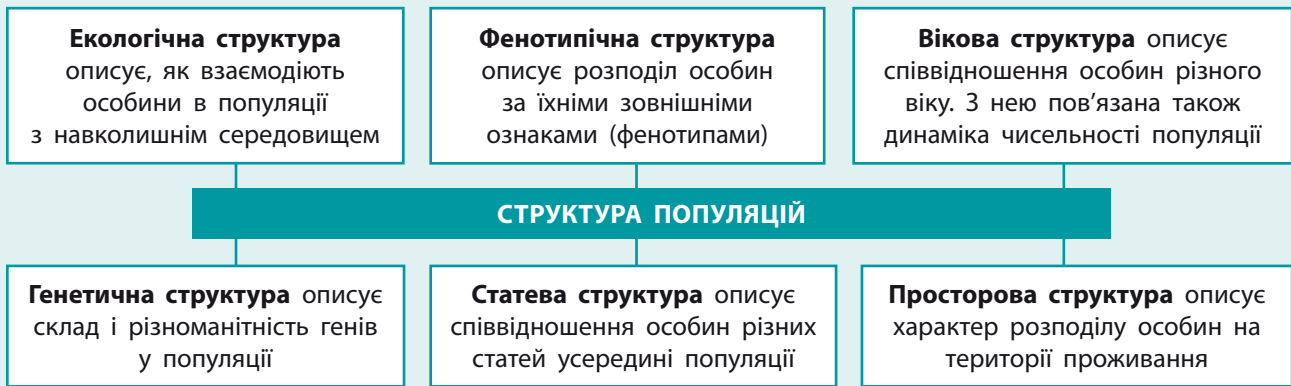


Схема 40. Структура популяцій



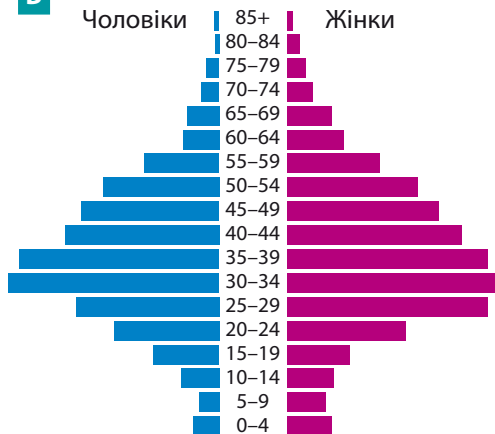
Завдання

Розгляньте статево-вікові піраміди. Поясніть, як вони побудовані і що відображають. Яка з популяцій, А чи Б, має більший потенціал до зростання?

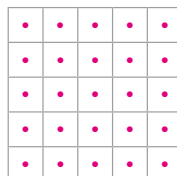
А



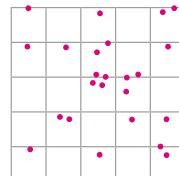
Б



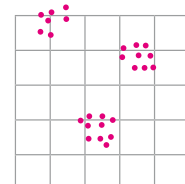
Виділяють **просторову, вікову, статеву, генетичну та етологічну структури популяції** (схема 40, мал. 38.2). Кожна популяція характеризується чисельністю або, якщо особин неможливо порахувати, щільністю.



Рівномірний



Випадковий



Груповий (мозаїчний)

Мал. 38.2. Типи просторового розподілу особин у популяції

Чисельність популяції — це загальна кількість особин певного виду на визначеній території або в певному об'ємі середовища. **Щільність популяції** показує, скільки особин припадає на одиницю площі або об'єму (наприклад, кількість рослин на 1 м² або риб в 1 м³ води). Надто висока або низька щільність може негативно впливати на виживання популяції.

Чисельність популяції зазвичай не є сталою і зазнає коливань. Вони можуть бути сезонними (наприклад, у багатьох комах чи рослин) або багаторічними, пов'язаними зі змінами клімату, кормової бази чи чисельності хижаків. Основними показниками **динаміки популяцій** (таких, що змінюються в часі) є народжуваність, смертність, приріст чисельності та коливання чисельності.

Народжуваність — це кількість нових особин, що з'являються в популяції за певний проміжок часу, а **смертність** — кількість особин, які за цей час гинуть. Співвідношення між народжуваністю та смертністю визначає, чи зростає чисельність

популяції, чи зменшується, чи залишається відносно стабільною. На ці показники впливають доступність ресурсів, умови середовища, хижацтво, хвороби та конкуренція.

Приріст популяції — це різниця між народжуваністю і смертністю. Якщо народжуваність перевищує смертність, чисельність популяції зростає; якщо навпаки — зменшується. За сприятливих умов чисельність може зростати дуже швидко, але із часом це зростання обмежується ресурсами середовища.

Внутрішньовидові взаємини

У межах популяції між особинами одного виду виникають **внутрішньовидові взаємини**, які відіграють важливу роль у регуляції чисельності популяції й розподілі ресурсів (мал. 38.3).

Найпоширенішим типом внутрішньовидових взаємин є **конкуренція**. Вона виникає через обмеженість життєво необхідних ресурсів: їжі, води, простору або партнерів для розмноження. Прикладом є боротьба самців оленів за самиць або конкуренція рослин за світло, воду й мінеральні речовини. Конкуренція особливо посилюється за умов високої щільності популяції, коли багато особин одночасно користуються одними ресурсами.

Поряд із конкуренцією важливе значення має **співпраця (кооперація)**, коли спільні дії підвищують шанси на виживання. Такі взаємини характерні для соціальних тварин. Наприклад, вовки полюють зграями, що дає змогу їм здобувати велику здобич, а птахи спільно захищають гнізда й потомство від хижаків.

У багатьох популяціях формується **ієрархія** — система підпорядкування між особинами. Вона визначає доступ до ресурсів і зменшує кількість конфліктів у групі. Прикладами є ієрархічні стосунки в зграях приматів або з-поміж курей, де кожна особина має певне місце в групі.



Мал. 38.3. Внутрішньовидова конкуренція (а) і кооперація у тварин (б)

Важливою формою внутрішньовидових взаємин є **територіальність**. Окремі особини або групи займають і захищають певну ділянку, що сприяє рівномірному розподілу ресурсів і регулює щільність популяції. Наприклад, співочі птахи охороняють гніздові території від інших особин свого виду.



Запитання і завдання

1. Чим популяція відрізняється від стада, зграї або колонії? Чому ці поняття не є синонімами?
2. Чому для збереження виду важливо зберігати саме популяції, а не окремих особин?
3. Чому популяція не може нескінченно збільшувати свою чисельність?
4. Чому надто висока щільність популяції може бути такою ж шкідливою, як і дуже низька?



Опорні точки

Популяція — це сукупність особин одного виду, що займає певний ареал, вільно схрещується між собою, дає плодюче потомство та є відносно ізольованою від інших груп того самого виду. Популяції мають певні показники щодо їхньої структури, чисельності й динаміки.



rnk.com.ua/
113316



§ 39

Екосистеми. Агроценози. Трофічні ланцюги. Екологічні піраміди



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Екологія є наукою, що вивчає системи надорганізмowego рівня. Але такі системи дуже різноманітні за своєю структурою. Популяція антилоп, вид Ковила дніпровська, біоценоз озера Синевир, екосистема коралового рифу, тропічний дощовий ліс, пустеля, поле пшениці, яблуневий сад, біосфера Землі — усі ці системи є системами надорганізмowego рівня. Запропонуйте способи, завдяки яким їх можна класифікувати, вивчати, порівнювати.

! **Біом** — велика природна зона Землі, що об'єднує численні екосистеми та біоценози, подібні за кліматичними умовами, типами рослинності й тваринним світом.

! **Біоценоз** — сукупність різних видів живих організмів, які мешкають на певній території та взаємодіють між собою.

! **Біотоп** — ділянка середовища з однаковими абіотичними умовами (ґрунт, вологість, освітлення тощо), у якій мешкає певне угруповання організмів (біоценоз).

Екосистеми, біоми, біоценози, біотопи

! **Екосистема** — це сукупність живих організмів і середовища їхнього існування, які взаємодіють між собою, обмінюючись речовинами й енергією.

Кожна екосистема складається з біоценозу й біотопу. **Біоценоз** — це угруповання живих організмів екосистеми. Складниками біоценозу є **фітоценоз** (угруповання рослин), **зооценоз** (угруповання тварин), **мікоценоз** (угруповання грибів) і **мікробіоценоз** (угруповання мікроорганізмів). Абіотична компонента середовища існування цих організмів дістала назву **біотоп**. Біотоп є «місцем проживання» для конкретних популяцій. Це можуть бути лісова галявина, ставок, болото, ділянка степу.

Крім природних екосистем, існують штучні екосистеми, створені людиною, як-от агроценози.

Сукупність усіх екосистем планети має назву **біосфера**, а великі групи екосистем — це **біоми**. Наземними біомами є тропічні ліси, савани, пустелі, прерії, помірні луки, помірні ліси, тайга, арктична тундра. Водні біоми представлені прісноводними озерами, річками та струмками, а морські — океанами й морями.

Сукцесія

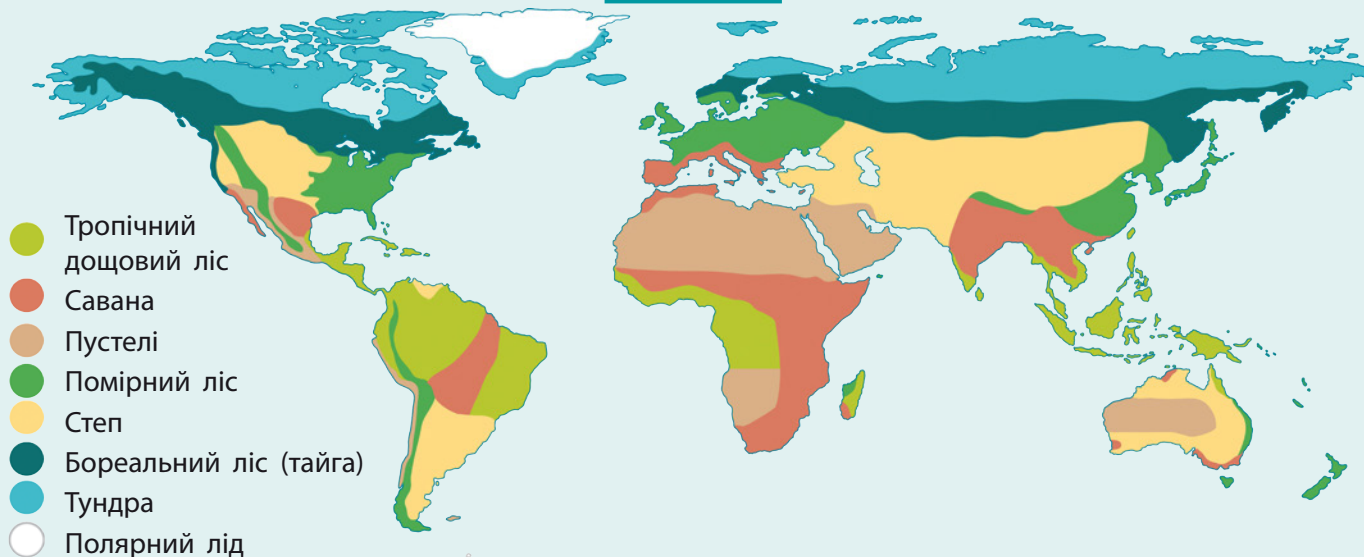
У природі відбувається закономірна зміна одних біоценозів на інші. Таке явище дістало назву **сукцесія** (від лат. "succesio" — наступність, спадкування). У природі екосистеми часто зазнають певних порушень. Це відбувається внаслідок різноманітних катаклізмів, як природних (землетруси,



Робота в парі

Розгляньте карту «Біомі Землі». На яких континентах є бореальний ліс? Який клімат притаманний цим територіям? На якому континенті розташована найбільша пустеля? Про що свідчить різноманітність біомів Землі? Яка неточність допущена на цій карті щодо екосистем України? Визначте, які біомі є на території нашої держави. Назвіть характерні види рослин і тварин для кожного.

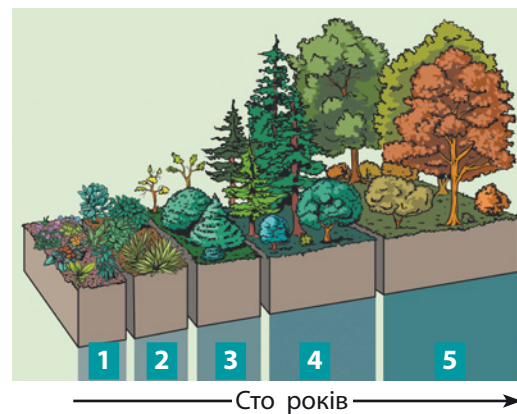
Біомі Землі



виверження вулканів, пожежі, повені, зміни клімату), так і антропогенних (техногенні аварії, вирубування лісів, осушення боліт, ведення бойових дій). Із часом на порушеній ділянці відновлюється рослинність: проростають мохи, лишайники й трави, потім з'являються чагарники й дерева. Поступово формуються молоді, а потім — і зрілі ліси (мал. 39.1). Такі угруповання, що перебувають на «вершині» розвитку екосистеми та є найстабільнішими за певних природних умов, називаються **клімаксними угрупованнями** (від грец. "klimax" — сходи, вершина).

Взаємодія між видами в екосистемах

В екосистемах різні біологічні види взаємопов'язані й часто існують у симбіозі. Основними



Піонерні види

- 1 — Невеликі однорічні рослини
- 2 — Багаторічні трави та чагарники
- 3 — Чагарники та молоді дерева

Проміжні види

- 4 — Молоді клімаксні ліси (трави, чагарники, сосни, молоді дуби)

Клімаксні угруповання

- 5 — Зрілі клімаксні ліси (зрілий дубово-грабовий ліс)

Мал. 39.1. Екологічна сукцесія



Завдання

Дізнайтесь, як відбувається сукцесія на території колишнього Каховського водосховища. Які організми були першими колонізаторами (первинними видами) та як вони змінили умови для інших видів? Складіть схему послідовності змін рослинності та тваринного світу.



Схема 41. Форми симбіозу

формами симбіозу є конкуренція, хижацтво, паразитизм, мутуалізм і коменсалізм (схема 41).

! **Симбіоз** — це взаємодія та співіснування різних біологічних видів в екосистемі.

Екологічна ніша

! **Екологічна ніша** — це сукупність умов існування виду та його роль в екосистемі.

! **Принцип конкурентного виключення** — екологічне правило, згідно з яким два види з однаковими екологічними нішами не можуть тривалий час співіснувати в одному середовищі: один із них буде витіснений або перейде до іншої ніші.

У природі різні види можуть мешкати в одному середовищі й не заважати один одному, тому що кожен вид займає свою **екологічну нішу**. Екологічна ніша характеризує спосіб життя виду: де він мешкає, чим живиться, коли є активним, як взаємодіє з іншими організмами. Саме завдяки поділу екологічних ніш різні види розподіляють ресурси й можуть співіснувати в одній екосистемі.

Розгляньмо особливості екологічних ніш комахоїдних птахів у лісах України. Дятли спеціалізуються на пошуку комах під корою дерев і в товщі деревини. Синиці живляться комахами та їхніми личинками на поверхні гілок і листя, пересуваючись між кронами дерев. Мухоловки ловлять комах у повітрі, здійснюючи короткі стрімкі польоти. Повзики збирають комах із кори дерев, пересуваючись по стовбурах униз головою. Крім того, ці види відрізняються за часом активності та місцями гніздування. Одні гніздяться в дуплах, інші — на гілках або в чагарниках.

Рослини степу також демонструють розподіл ніш. Одні види, наприклад, ковила, мають глибоке коріння, яке тягне вологу з нижніх шарів ґрунту. Інші — типчак або тонконіг — використовують поверхневу вологу й швидко ростуть навесні.

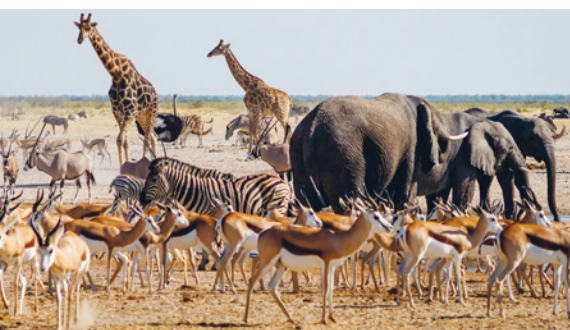
Агроценози

На відміну від природних екосистем, створені людиною називаються штучними, як, наприклад,



Робота в парі

Жирафи, слони, антилопи й зебри — рослиноїдні копитні африканських саван. Як вони уникають конкуренції за їжу?



парки, лісозахисні смуги, водосховища тощо. До них належать і **агроценози**, створені для отримання сільськогосподарської продукції: це поля, городи, сади, пасовища. Агроценозами зайнято приблизно 37 % поверхні суші, усього вісім видів рослин (пшениця, рис, кукурудза, соя, рис, картопля, цукрова тростина та банан), що вирощуються на них, становлять 80 % харчового раціону людства.

Агроценози не здатні до саморегуляції, адже склад видів тут дуже обмежений, а зв'язки між ними слабкі.

У природній екосистемі всі поглинуті рослинами елементи згодом повертаються в ґрунт. В агроценозі значну їхню частину людина вилучає з урожаєм. Щоб відшкодувати втрати, необхідно постійно вносити в ґрунт добрива.

У природних екосистемах діє природний добір, спрямований на формування конкурентоздатних видів, стійких до дії несприятливих чинників середовища. В агроценозі провідним є штучний добір, що спрямовується людиною на створення рослин із максимальною продуктивністю. Агроценози мають малу стійкість, їхнє існування цілком пов'язане з діяльністю людини.

Трофічні ланцюги та екологічні піраміди

В екосистемі всі організми пов'язані між собою через споживання їжі та обмін речовин. Рух енергії та поживних речовин від одних видів до інших називається трофічною структурою екосистеми. Елементом трофічної структури є **трофічний ланцюг** — послідовність організмів, у якій один вид живиться іншим. Наприклад, у лісовій екосистемі **трофічний ланцюг** може мати такий вигляд:

деревна рослина → комаха → птах → хижий птах

Насправді взаємодії між видами складніші, тому між ними утворюються **трофічні мережі**. Вони



Робота в парі

Розгляньте світлини, на яких зображені агроценоз і природний луг із польовими квітами. Яку відмінність між агроценозом і природною екосистемою ви бачите? Укладіть про це порівняльну таблицю.



Завдання

Чиста первинна продуктивність (приріст живої біомаси внаслідок використання сонячної енергії) на ділянці листопадного лісу склала 12 т/га за рік за акумуляції 0,06 % сонячної енергії. Яка частина енергії Сонця використовується в болотяних екосистемах, де приріст біомаси становить 20 т/га за рік? (Інтенсивність випромінювання вважати однаковою.)



Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

Як взаємопов'язана різноманітність взаємозв'язків між популяціями різних видів зі стійкістю та саморегуляцією екосистем?



Робота в групі

Розгляньте харчову мережу. Визначте продуцентів, консументів і редуцентів. Поясніть, на якому трофічному рівні перебуває кожна з груп організмів, які входять до цієї мережі.

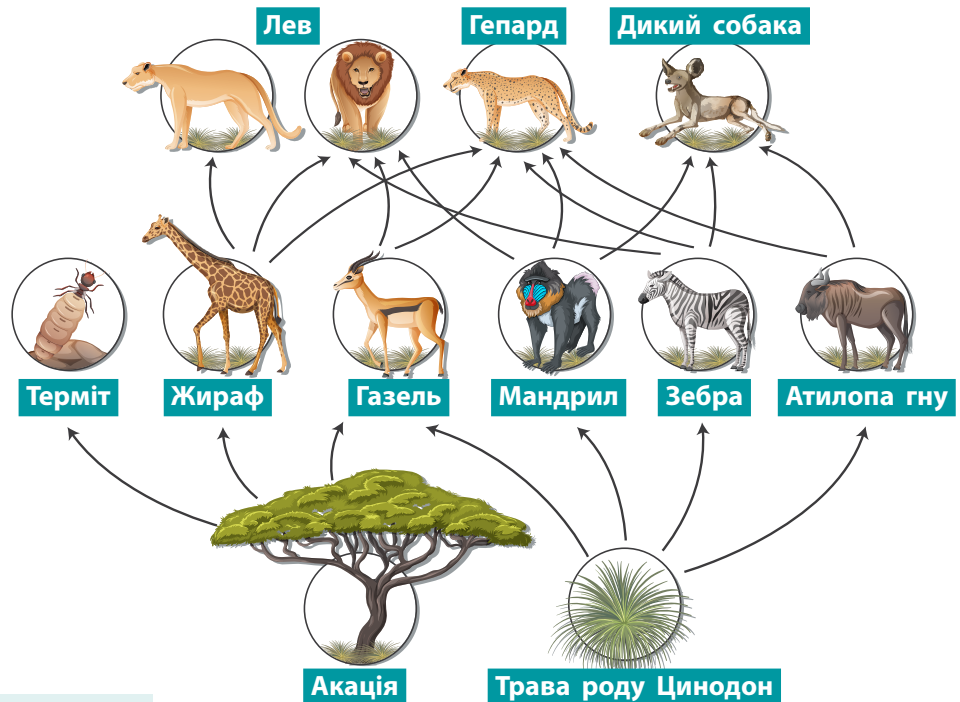
Харчові мережі

Трофічний рівень

Вторинні консументи

Первинні консументи

Продуценти



Відеоролик
«Продуценти,
консументи,
редуценти»
rnk.com.ua/113474

об'єднують кілька ланцюгів, показуючи, що один вид може споживати кілька інших видів і водночас бути здобиччю для різних хижаків. Наприклад, дрібні гризуни в лісі харчуються насінням різних рослин і служать їжею для сов, лисиць і змій.

Кожен організм у трофічній структурі займає певний **трофічний рівень**.

Продуценти — зелені рослини, водорості та фотосинтезувальні бактерії, які перетворюють сонячну енергію на органічні речовини. Вони є основою всіх екосистем і забезпечують їжею консументів.

Консументи — тварини, що споживають готову органіку. Вирізняють **первинних консументів** (травоядних), що живляться рослинами (олені, зайці, бабки); **вторинних консументів** (хижаків), що живляться травоядними (лисиці, змії, сови); **консументів вищих порядків** (топ-хижаків), які полюють на інших хижаків (орли).

Редуценти — гриби, бактерії та інші мікроорганізми, які розкладають мертву органіку,



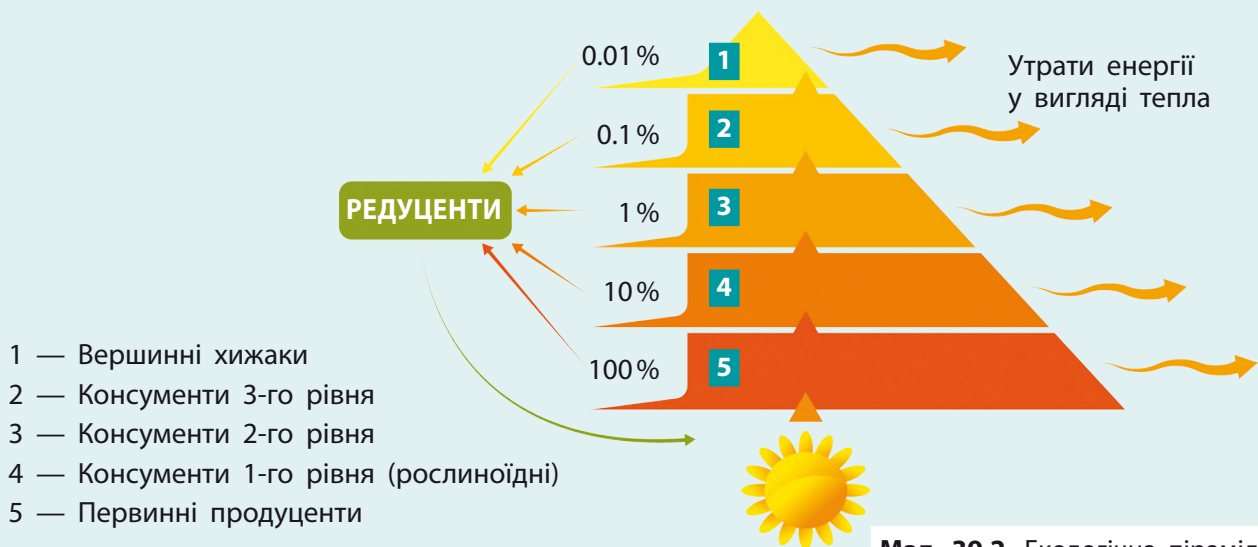
Завдання

Яка кількість левів може прогодуватися на ділянці території савани, на якій за рік утворюється 75 000 кг біомаси, якщо маса одного лева становить 150 кг, лев живиться антилопами, які, своєю чергою, споживають траву?



Відкритий мікрофон

Чому хижаків у біоценозах завжди менше, ніж рослиноїдних тварин?



Мал. 39.2. Екологічна піраміда

повертаючи елементи живлення в ґрунт і воду, забезпечуючи колообіг речовин в екосистемі.

Для наочного відображення трофічної структури застосовують **екологічні піраміди** (мал. 39.2), які показують розподіл енергії, біомаси або чисельності організмів на різних трофічних рівнях. **Піраміда чисел** відбиває чисельність особин на кожному трофічному рівні; в основу **піраміди біомаси** покладено кількість сухої органічної речовини; **піраміда енергії** базується на кількості енергії.

В екологічних пірамідах на кожному наступному трофічному рівні піраміди зменшуються енергія, біомаса або чисельність організмів порівняно з попереднім рівнем. Це відбувається через утрати енергії на дихання, рух, тепло та інші процеси життєдіяльності. Прийнято вважати, що на кожному наступному рівні залишається лише 10 % енергії, чисельності або біомаси, тоді як 90 % утрачається. Таку закономірність називають **правилом екологічної піраміди**.



Завдання

1. На основі правила екологічної піраміди визначте, скільки потрібно планктону, щоб у морі виросла одна особина морської видри масою 30 кг, якщо ланцюг харчування має такий вигляд: фітопланктон, нехижі риби, хижі риби, морська видра.
2. Яка кількість мартинів може прогодуватися на ділянці акваторії моря, на якій упродовж року утворюється 1200 кг сухої маси фітопланктону? Маса чайки становить 1 кг (суха речовина — 40 %), чайка живиться рибою, а риба — фітопланктоном.



Робота в групі

Схарактеризуйте город як екосистему (вид екосистеми, її компоненти, взаємозв'язки між організмами, стійкість екосистеми). Презентуйте свої напрацювання.



Опорні точки

Екосистема містить угруповання живих організмів і середовище їхнього проживання, між якими відбувається постійний обмін речовиною та енергією.



Запитання і завдання

1. У луговому угрупованні живуть гусениця, жайворонок, люцерна, шуліка. Складіть харчовий ланцюг.
2. Розподіліть організми за трофічними рівнями й побудуйте екологічну піраміду: комахи, чагарники, гриби, мухоловки, дерева, яструби, бактерії, сови, синиці, гусениці.
3. Середня маса однорічної лисиці становить 7 кг. Припустімо, що з двомісячного віку, коли маса лисеняти становила 1400 г, воно перейшло на живлення суто куріпками (середня маса дорослої куріпки становить 500 г). Яка площа (у га) необхідна для того, щоб одна лисиця виросла, якщо продуктивність рослинної біомаси становить 1,5 т/га?



rnk.com.ua/
113317

§ 40

Біосфера як глобальна екосистема. Структура та межі біосфери



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Свого часу академік
В. І. Вернадський писав:
«Людина і людство найтіснішим
чином пов'язані із живою
речовиною, що населяє нашу
планету, від якої вони реально
ніяким фізичним процесом
не можуть бути відокремлені.
Це можливо лише в думках».

Як ви вважаєте, що мав на увазі
Вернадський? Чи може людство
залишити біосферу, у якій воно
народилося, та існувати окремо
від усього живого на планеті,
жити за її межами?



Анімація
«Біосфера»
rnk.com.ua/113471

Біосфера (від грец. "bios" —
життя, "sphaira" — сфера) —
це оболонка Землі, що охоплює
всі живі організми планети й усі
середовища їхнього існування.
Біосфера разом із літосферою,
гідросферою й атмосферою
формує чотири основні оболонки
Землі.

Біосфера як глобальна екосистема. Її структура та межі

Термін «біосфера» запропонував геолог Е. Зюсс
1875 року для позначення простору на поверхні
Землі, де існує життя. Більш повне визначення
поняття біосфери було сформульовано українським
ученим В. І. Вернадським на початку XX ст. Він
розглядав живі організми як геологічну силу, що
спроможна змінювати планету, заселяючи її гідро-
сферу, літосферу й атмосферу (мал. 40.1).

Біосфера почала формуватися приблизно 4 млрд
років тому. Сучасну Землю населяє орієнтовно
3 млн видів різноманітних живих істот. Загальна
маса живих організмів оцінюється в $2,43 \cdot 10^{12}$ т.

Біосфера має складну **ієрархічну структуру**.
Окремі організми утворюють популяції, декілька
популяцій, що взаємодіють між собою, становлять
біоценоз. Біоценози, що населяють певні біотопи,
утворюють екосистеми. Біосфера — це екосисте-
ма вищого порядку, що поєднує решту екосистем
Землі.

Для біосфери характерні всі властивості екоси-
стем. Вона містить у собі живі організми, які насе-
ляють Землю, а також середовище їхнього існуван-
ня: океани, суходіл, атмосферу. У біосфері наявні
всі компоненти трофічних ланцюгів: продуценти
(автотрофи), консументи й редуценти (гетеротрофи).
У біосфері відбувається колообіг речовин і енергії.
Оскільки біосфера поєднує в собі всі екосистеми на
планеті, її називають **«глобальною екосистемою»**.

Біосфера — це та ділянка Землі, яка охопле-
на впливом живої речовини, тому межі біосфери
визначаються можливістю окремих організмів



Мал. 40.1. Сфери Землі

виживати в певних умовах їхнього навколишнього середовища.

Верхня межа життя в атмосфері визначається збільшенням рівня ультрафіолетового випромінювання. На висоті 25–27 км велику частину ультрафіолетового випромінювання Сонця поглинає тонкий шар розташованого тут озону — озоновий екран. Усе живе, що піднімається вище від захисного шару озону, гине. Атмосфера ж над поверхнею Землі насичена різноманітними живими організмами, які переміщуються в повітрі в активний чи пасивний спосіб. Спори бактерій і грибів можна виявити на висоті 20–22 км, але основна частина аеропланктону зосереджена в шарі до 1–1,5 км.

Нижня межа біосфери визначається високими температурами в земних надрах. Углиб Землі живі організми проникають на невеликі відстані. У літосфері життя обмежує насамперед температура гірських порід і підземних вод, яка поступово підвищується, що далі організми проникають углиб. Найбільша глибина, на якій у породах земної кори були виявлені бактерії, становить 7 км. Межа життя на дні океанічних западин простягається завглибшки до 12 км. На поверхні Землі цілком позбавлені живих істот лише сучасні ділянки великих заледенінь і кратери діючих вулканів.

Розподіл життя в біосфері вирізняється крайньою нерівномірністю. Воно слабо розвинене в пустелях, тундрі, глибинах океану, високо в горах, проте в інших ділянках біосфери життя надзвичайно рясне й різноманітне.

Найбільш висока концентрація живої речовини на межах поділу основних середовищ — у ґрунті, тобто прикордонному шарі між літосферою



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Живі організми заселили літосферу, гідросферу й атмосферу. Як їм це вдалося? Які ресурси планети Земля й ті, що є за її межами, вони використовували й використовують? Із яких джерел рослини, тварини, гриби, мікроорганізми отримують енергію?



Анімація
«Озон: корисний чи небезпечний?»
rnk.com.ua/113475



Робота в парі

У горах на висоті понад 6000 метрів життя тварин практично неможливе. Дізнайтеся, уплив яких факторів є в цьому разі критичним. Які несприятливі умови негативно впливають на організм?



У горах межа поширення наземного життя — приблизно 6 км над рівнем моря

■ **Довідка. Літораль** (лат. "litoralis" — «прибережний») — зона узбережжя між рівнем найвищого припливу і найнижчого відпливу.

й атмосферою, у поверхневих шарах океану, на дні водойм і особливо — на літоралі, у лиманах, де всі три середовища — ґрунт, вода й повітря — близько сусідять одне з одним. Місця найбільшої концентрації організмів у біосфері В. І. Вернадський назвав «плівками життя».

Отже, біосфера — це площа існування та життєдіяльності організмів, яка пронизує нижні шари атмосфери, майже всю гідросферу й верхню частину літосфери. Тобто це літосфера, гідросфера й атмосфера, заселені живими організмами.

Вчення В. І. Вернадського про біосферу та ноосферу

Вивчення діяльності живої речовини дало змогу В. І. Вернадському виділити виконувані нею біогеохімічні функції, на сьогодні до них належать енергетична, газова, окисно-відновна, концентраційна, деструктивна та функція утворення середовища існування (докладніше про це — див. схему 42).

Основною властивістю біосфери є біогеохімічні цикли (**колообіг речовин**). **Біогеохімічний цикл** — це повторюваний процес взаємопов'язаного перетворення, переміщення речовин у природі, який має циклічний характер і відбувається за обов'язкової участі живих організмів. Термін «біогеохімічний цикл» був уведений В. І. Вернадським.

Схема 42. Функції живої природи



Головними біогеохімічними циклами, що забезпечують життя на планеті (крім колообігу води), є цикли Карбону, Оксигену, Нітрогену, Фосфору, Сульфуру.

Біогеохімічний цикл Карбону. З атмосфери Карбон у складі CO_2 засвоюється автотрофними організмами в процесі фотосинтезу. По трофічних ланцюгах у складі органічних сполук Карбон передається в організми тварин. Повернення Карбону в навколишнє середовище відбувається в процесах дихання або розкладання органічної речовини (виділення CO_2). Істотна частина Карбону залишається в ґрунті, мулі, торфовищах, вугіллі. Частина атмосферного вуглецю надходить з атмосфери в гідросферу (мал. 40.2).

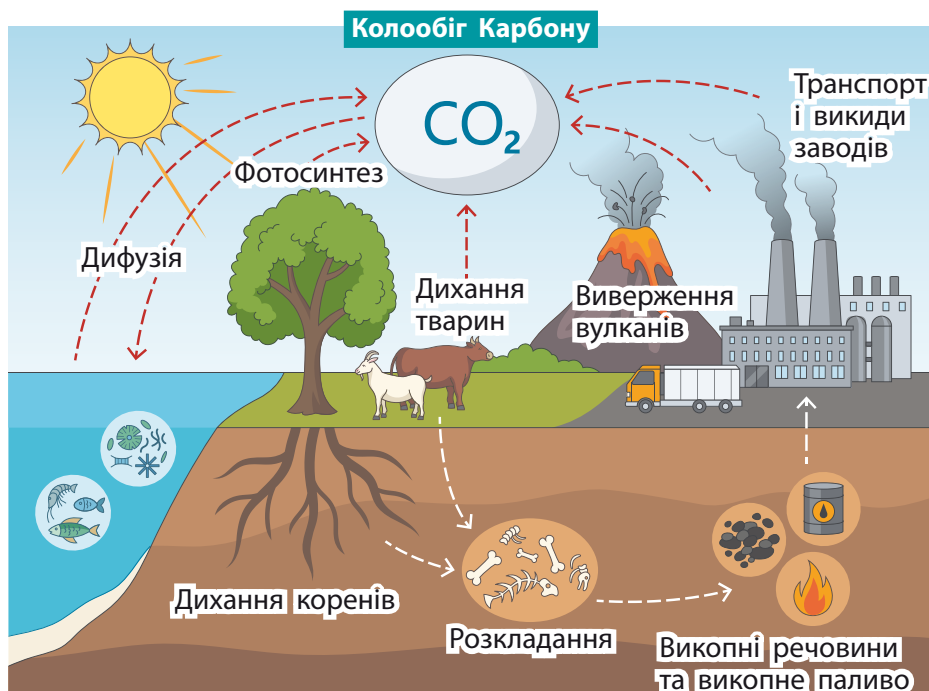
Біогеохімічний цикл Оксигену. Загальна схема колообігу Оксигену в біосфері складається з двох гілок: утворення вільного кисню під час фотосинтезу й поглинання кисню в окисних реакціях (мал. 40.3, с. 202).

Ноосфера

Концепція **ноосфери** ("νόος" — розум, "σφαῖρα" — сфера) була запропонована В. І. Вернадським. Вона описує сферу розуму, де людська діяльність є важливою геологічною силою, яка перетворює біосферу. Володимир Вернадський уважав, що в певний час розум і наукова думка людини стають головними



Довідка. 1000-гривневі банкноти містять на аверсі портрет видатного українського науковця, засновника геохімії, біогеохімії та радіогеології, а також учення про біосферу й ноосферу Володимира Вернадського



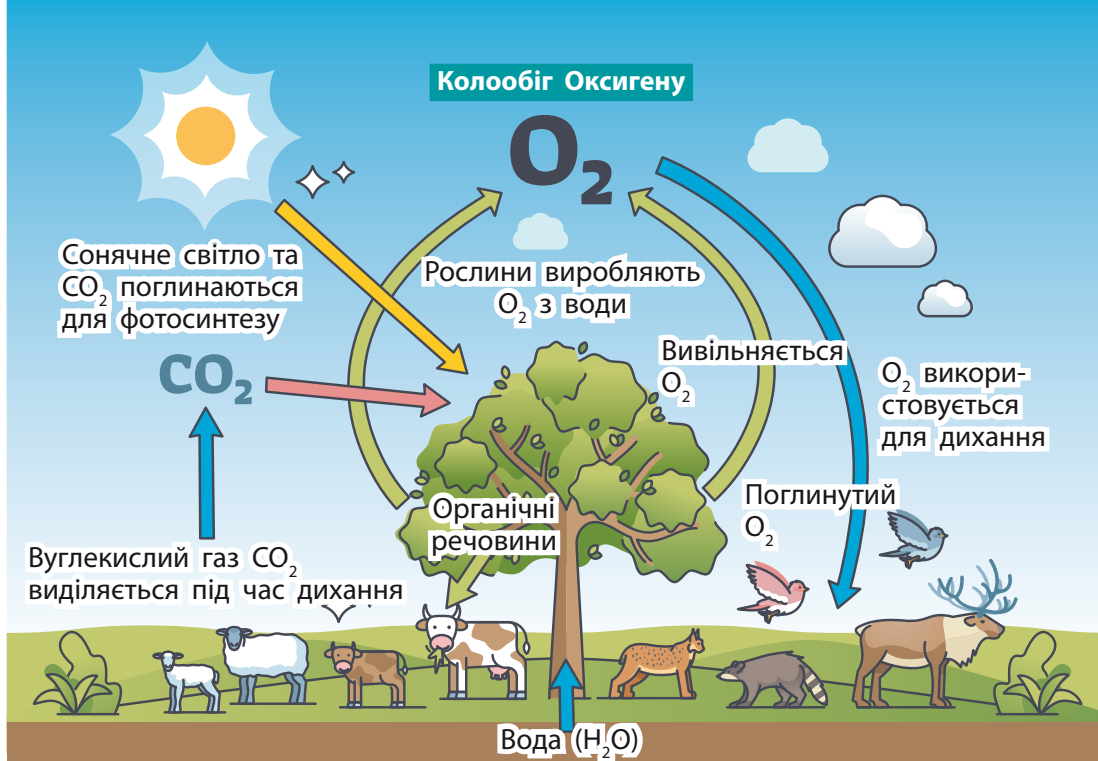
Анімація
«Колообіг
Карбону»
[rnk.com.ua/
113476](http://rnk.com.ua/113476)

Мал. 40.2. Колообіг Карбону



Анімація
«Колообіг
Оксигену»
[rnk.com.ua/
113477](http://rnk.com.ua/113477)

Мал. 40.3. Колообіг
Оксигену



Біогеохімічний
цикл Нітрогену
rnk.com.ua/113490

чинниками розвитку планети. Це нова стадія еволюції біосфери, пов'язана з появою людства, його знань, праці та технологій.

За поглядами науковця, ноосфера формується завдяки тому, що людство як єдине ціле розробляє ефективні засоби зв'язку й обміну інформацією, відкриває нові джерела енергії. Водночас війна як спосіб вирішення конфліктів виключається, а натомість постає концепція єдиної світової історії. Для створення ноосфери потрібен синтез науки, моралі, мистецтва та філософії, а також відповідальності вчених за наслідки їхньої праці (нооетика). Важливими рисами ноосфери є екологізація всіх сфер життя і гармонізація відносин між людиною та природою.

Ноосфера охоплює антропосферу, техносферу, змінену людиною природу та соціосферу.



Запитання і завдання

1. Доведіть, що живі організми активно змінюють планету і є рушійною силою її еволюції.
2. Які компоненти трофічних ланцюгів наявні в біосфері?
3. Які біогеохімічні цикли, що забезпечують життя на планеті, ви знаєте? Наведіть приклади їхнього значення для живих організмів.
4. Як ви уявляєте майбутнє своєї планети? Що ви маєте робити задля того, щоб вона була такою, про яку ви мрієте? Напишіть про це есе.



Опорні точки

Біосфера — це оболонка Землі, що містить усі живі організми планети й усі середовища їхнього існування. У біосфері відбувається колообіг речовин і енергії. Біосфера має складну ієрархічну структуру і є глобальною екосистемою, у якій відбуваються біогеохімічні цикли (колообіг речовин) за обов'язковою участю живих організмів.



rnk.com.ua/
113318

§ 41

Екологічні проблеми. Сучасні напрями охорони природи та захисту навколишнього середовища в Україні та світі

Екологічні проблеми

Біосфера є саморегульованою системою, її склад, структура та функції мають високу стійкість до змін. Проте ця стійкість не є безмежною. Сучасні зміни природного середовища, спричинені діяльністю людини, стають екологічними проблемами (схема 43). Такі проблеми впливають на умови життя людей. Наприклад, забруднення повітря або води, вирубування лісів можуть погіршувати здоров'я, змінювати клімат, зменшувати врожай.

Сьогодні людство стикається із серйозною **екологічною кризою**, яку інколи називають «кризою продуцентів». Вона пов'язана з виснаженням доступних для промислового використання рослинних ресурсів, насамперед лісів.

Упродовж багатьох століть людство вирубувало ліси планети, а сьогодні його стан погіршується

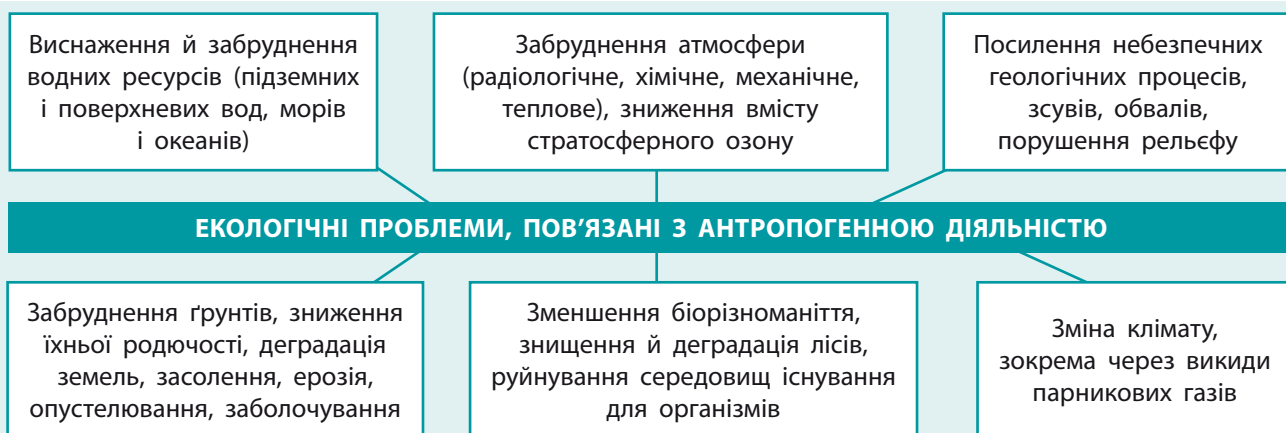


Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Статистика свідчить, що в середньому кожна сучасна людина планети викидає від 300 до 500 кг сміття на рік.

Якою буде загальна маса сміття, якщо людина прожила 95 років? Що б ви могли запропонувати для зменшення цієї цифри?

Схема 43. Екологічні проблеми, які виникли внаслідок діяльності людини





Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

1. Які способи вирішення «кризи продуцентів» на сучасному етапі розвитку людства?
2. Укладіть перелік екологічних проблем, що існують у вашій місцевості; у цілому в Україні. Опишіть ці проблеми. Як особисто ви можете допомогти їх вирішити?



Анімація
«Глобальні проблеми
навколишнього
середовища»
rnk.com.ua/113491

через забруднення повітря, кислотні дощі та інші шкідливі впливи.

Зменшення площі лісів порушує процеси колаобігу Оксигену і Карбону в біосфері та спричиняє інші негативні процеси. Воно є реальною загрозою існування самого людства, однак знищення лісів триває.

На сьогодні загальна площа лісів на планеті становить приблизно 42 млн км², однак вона щорічно зменшується на 2 %. Особливо інтенсивно знищуються вологі тропічні ліси в Азії, Африці, Америці й деяких інших регіонах світу. Так, в Африці ліси займали раніше майже 60 % її території, а зараз — усього приблизно 17 %.

Значно скоротилися площа лісів і в Україні. Суттєвим чинником деградації лісів стало забруднення навколишнього середовища радіонуклідами. У результаті аварії на Чорнобильській АЕС було уражено 2,1 млн га лісових масивів.

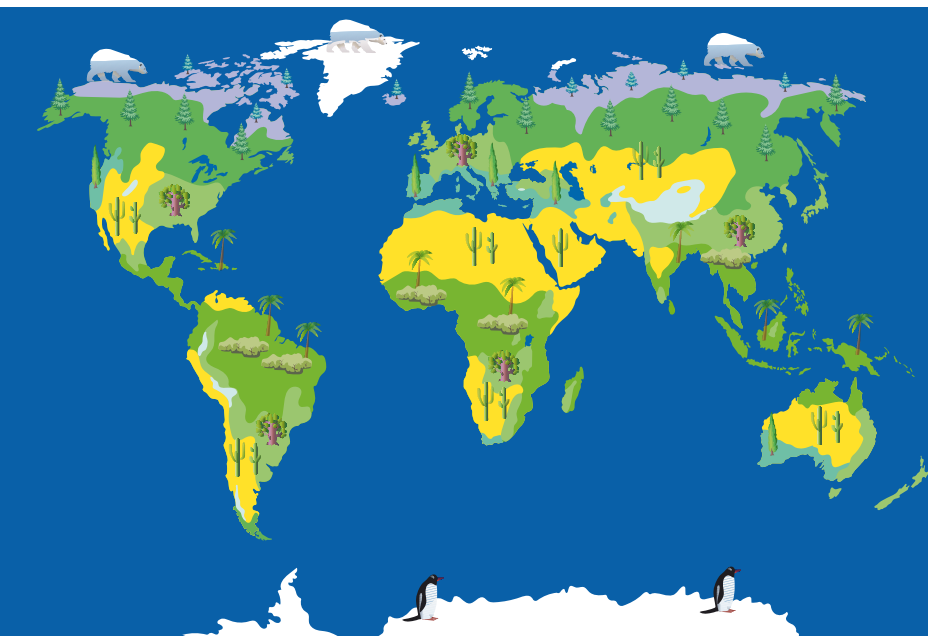
Окрім зникнення лісів, сучасні екологи виділяють іще кілька **глобальних екологічних проблем**.

По-перше, це **зростання чисельності населення Землі**. Станом на початок 2025 року вона



Завдання

Ураховуючи, що загальна площа лісів на планеті становить приблизно 38 млн км² і зменшується щорічно на 2 %, обчисліть, за який час УСІ ліси планети будуть знищені, якщо ситуація не зміниться. Побудуйте графік можливого негативного процесу зникання лісів Землі.



- Полярний лід
- Тундра
- Тайга та змішані ліси
- Широколистяні ліси
- Середземномор'я
- Степи та пустелі
- Тропічний дощовий ліс
- Гірський ліс

становить приблизно 8,09 млрд осіб. Для порівняння: 1900 року населення на Землі було приблизно 1,6 млрд осіб. Тобто народонаселення швидко зростає й потребує дедалі більшої кількості ресурсів для свого існування.

По-друге, це **парниковий ефект**, тобто підвищення температури нижніх шарів атмосфери через скупчення в ній **парникових** газів (зокрема, CO_2). Він може призвести до глобального потепління на всій планеті, підняття рівня Світового океану через танення льодовиків, затоплення суші, зміни течій та інших катастрофічних наслідків.

По-третє, це **руйнування озонового шару**. Оскільки озоновий шар захищає всю Землю від жорсткого ультрафіолетового випромінювання Сонця, його стоншення є небезпечним для існування всіх живих організмів, екосистем і біосфери в цілому.

Сучасні напрями охорони природи та захисту навколишнього середовища в Україні та світі

Сучасні напрями охорони природи та довкілля спрямовані на збереження екосистем, видів і природних ресурсів. Ідеться про захист лісів, водойм, ґрунтів і повітря від забруднення, упровадження чистих технологій і відновлення порушених екосистем. Велике значення мають раціональне використання ресурсів, сортування відходів і розвиток відновлюваної енергетики (схема 44).

Сьогодні людина розуміє, що ресурси планети не безмежні, а вплив нашої діяльності на природу може бути руйнівним. Тому з'явилася **Концепція**



Поділіться своїми думками

Відомо, що кожен рік із геосфери люди видобувають орієнтовно 100 млрд т руди, палива, мінеральних добрив тощо. У такий спосіб сучасне людство стає складником біогеохімічного циклу — колообігу Оксигену. Водночас воно споживає завдяки спалюванню мінерального й органічного палива 20 млрд т атмосферного кисню на рік. Які дії можна запропонувати для того, щоб це втручання в колообіг Оксигену не призвело до небезпечного зниження концентрації кисню в атмосфері?



Відеоролик
«Моделюємо
парниковий ефект»
rnk.com.ua/113492

Схема 44. Основні сучасні напрями охорони природи



Проектна робота

Створіть коротку презентацію або постер з ілюстраціями, схемами та прикладами за темою (на вибір).

1. «Визначення рівня антропогенного та техногенного впливу на екосистеми вашої місцевості».
2. «Джерела забруднення екосистем вашої місцевості».
3. «Природоохоронні території України».
4. «Рослини, тварини та гриби Червоної книги України» (на вибір учня / учениці).



Анімація
«Глобальні цілі
сталого розвитку»
rnk.com.ua/114543



Опорні точки

Сучасна біосфера зазнає значних антропогенних змін. Унаслідок діяльності людини порушується стійкість біосфери, виникають глобальні екологічні кризи. Людство намагається долати ці кризи за допомогою Концепції сталого розвитку, яка сформована на усвідомленні взаємозв'язку людини й природи.



Поділіться своїми думками

Із часів Ярослава Мудрого у правничому кодексі Київської Русі вже існувала чітка система правової оцінки використання ресурсів і передбачалася кара за збитки, заподіяні довкіллю. Так, за шкоду, заподіяну диким звірам і птахам, каралося так строго, як і за негідні вчинки щодо людини. Як ви вважаєте, на яких принципах будувався правничий кодекс Київської Русі? Які відносини люди того часу намагалися формувати з навколишнім середовищем, у якому вони мешкали?

сталого розвитку — такий підхід до розвитку людства, який дає змогу задовольняти потреби сучасного покоління, не ставлячи під загрозу життя та ресурси майбутніх поколінь.

Концепція містить три основні складники.

Економічний — передбачає розумне використання природних ресурсів і технологій, щоб економіка росла, але не виснажувала природу.

Соціальний — забезпечує рівність і можливості для всіх людей, підтримує стабільність суспільства і розвиток кожного з них.

Екологічний — спрямований на збереження природних систем, біорізноманіття та здатності екосистем відновлюватися після змін чи забруднень.

Тобто суть сталого розвитку полягає в тому, щоб розвивати економіку, дбати про людей і водночас берегти природу. Ефективне використання ресурсів, застосування чистих технологій, захист лісів і води, збереження біологічного різноманіття — усе це компоненти сталого розвитку.



Запитання і завдання

1. Дайте одну правильну відповідь на тестові завдання.
Парниковий ефект пов'язаний зі збільшенням в атмосфері:
А кисню **В** вуглекислого газу
Б азоту **Г** озону
Поширення організмів в атмосфері обмежене:
А температурою **В** вологістю
Б озоновим екраном **Г** освітленістю
2. Людина створює нові речовини, які раніше не траплялися в природі. Наприклад, синтетичні полімери, які не розкладаються редуцентами. Чи призведе це до чергової глобальної екологічної проблеми?
3. Сучасне людство є потужним фактором, що змінює біосферу. Як, на вашу думку, будуть розвиватися події в майбутньому?



rnk.com.ua/
113319

§ 42

Еволюційна ідея в біології

Поняття про еволюцію

Еволюція — це історичний процес змін живих організмів у часі. Під час еволюції живі істоти пристосовуються до умов середовища, які постійно змінюються. Такі зміни відбуваються на різних рівнях організації: від молекул і клітин до цілих видів і екосистем.

Еволюційні процеси **незворотні**: вони відбуваються поступово, і живі організми не можуть повернутися до свого початкового стану.

Біологічна еволюція часто має **прогресивний характер**: організми стають складнішими й досконалішими. Але іноді, навпаки, вони спрощуються, якщо це допомагає їм краще виживати (наприклад, паразити втрачають непотрібні органи).

Розвиток еволюційних ідей. Еволюційна гіпотеза Ж.-Б. Ламарка

Звернімося до праць античних філософів. Так, давньогрецький філософ, астроном, математик, інженер Фалес (624–547 до н. е.) вважав, що життя виникло з води в ході природного розвитку. Анаксімандр Мілетський (610–546 до н. е.) писав про те, що тварини походять із води, а потім, захищені від висихання лусками, переходять на суходіл (мал. 42.1, с. 208).



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Астрономи говорять про еволюцію планет і зорь, геологи — про еволюцію тектонічних плит, лінгвісти — про еволюцію мов, соціологи — про еволюцію суспільних систем, біологи — про еволюцію видів.

А що всі вони мають на увазі? Що таке еволюція? Які процеси можна назвати еволюційними?



Еволюційна біологія — це наука, що вивчає закономірності й причини розвитку живої природи та зміни видів упродовж історії Землі.



Робота в групі

Наведіть приклади історичних процесів. Доведіть, що вони є незворотними, і поясніть чому. Наведіть приклади адаптивних біологічних процесів. Поясніть їхнє біологічне значення.



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Це мурахоїд. Він належить до надряду неповнозубих ссавців. Основною їжею представників цього підряду є терміти та мурахи. Мурахоїди не мають зубів. Дізнайтеся, як пояснював Ламарк відсутність зубів у мурахоїдів.



Поділіться своїми думками

Давньогрецький філософ Емпедокл (490–430 до н. е.) спробував розібратися в процесах походження живих істот. Він уважав, що виникнення живих істот відбувається в певній послідовності. Спочатку виникають окремі компоненти (частини), не здатні з'єднатися в організм. Потім вони дістають змогу з'єднуватися. Невдалі з'єднання цих компонентів (монстри) гинуть, а вдалі — виживають.

Чим цікавою є його думка? Про яку особливість еволюційного процесу ця думка свідчить?

Давньогрецький філософ Геракліт (530–470 до н. е.) говорив, що життя є рух, бо все живе перебуває в неупинному розкладанні й відновленні.

Першу еволюційну теорію створив французький зоолог, анатом, натураліст **Жан-Батист Ламарк**. Основи своєї теорії Ламарк виклав у праці «Філософія зоології», яку він опублікував 1809 року.

Ламарк припускав, що природа створювала організми послідовно: від найпростіших форм до найскладніших.

Провідним фактором еволюційного процесу Ламарк уважав прагнення тварин до вдосконалення (принцип градації). За Ламарком, органи, які потрібні організму, працюють і розвиваються завдяки тренуванню, а ті, що не тренуються, зменшуються й навіть можуть зникати. Усі зміни, які відбулися під впливом факторів навколишнього середовища, на думку Ламарка, успадковуються нащадками.



Завдання

Розгляньте малюнок 42.1. Чи підтверджує він правильність еволюційних поглядів Фалеса й Анаксимандра Мілетського? Відповідь обґрунтуйте.

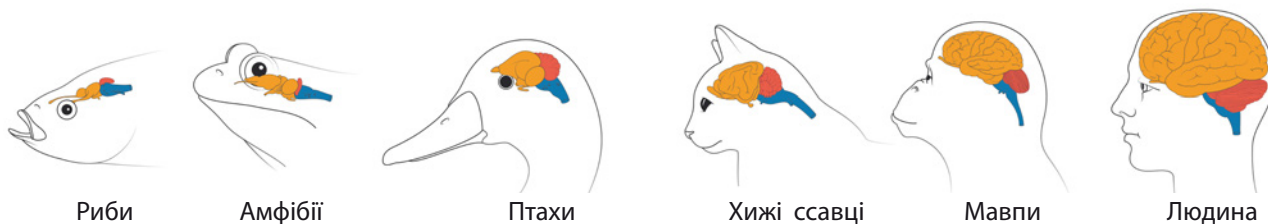


Мал. 42.1. Життя на ранніх етапах його розвитку



Відкритий мікрофон

У процесі еволюції в приматів, особливо в людини, спостерігається збільшення розмірів мозку стосовно розміру тіла. У людини мозок значно більший і важчий, ніж у більшості тварин. Поясніть із позиції Ламарка, чому це відбулося.



Риб

Амфібії

Птахи

Хижі ссавці

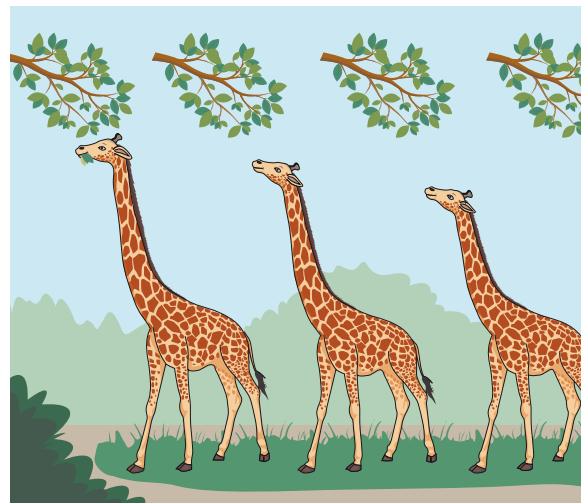
Мавпи

Людина



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Жирафа — найвища наземна тварина на планеті. Висота цих тварин може бути понад п'ять метрів! Дізнайтеся, як пояснював Ламарк високий зріст і довгу ший у жирафа. З'ясуйте, діями яких факторів еволюції пояснюють ці ознаки сучасні біологи-еволюціоністи.



Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

1. Як еволюційна гіпотеза Ж.-Б. Ламарка вплинула на розвиток еволюційних ідей?
2. Аристотель був першим філософом-натуралістом, який дослідив, що в крота є рудиментарні очі, у риб — органи слуху, у комах — органи, що видають звуки. Це він уперше описав зимову сплячку риб, повний і неповний метаморфоз у комах, перельоти птахів, міграції ссавців і риб, а також дав опис життя таких маловідомих на той час тварин, як-от дромадер (одногорбий верблюд) і гепард. Дізнайтеся, що ще зробив Аристотель як натураліст. Завдяки яким відкриттям він здобув звання «батька зоології»?

Довідка. 21 червня проводиться Всесвітній день жирафа (World Giraffe Day). Захід організований Giraffe Conservation Foundation саме в цей день, щоб відзначити найвищу тварину в найдовший день року.



Запитання і завдання

1. Яке практичне значення має виявлення закономірностей розвитку органічного світу?
2. Зачатки яких еволюційних уявлень і поглядів можна знайти в працях античних філософів?
3. Які еволюційні ідеї подарував природознавству давньогрецький філософ Геракліт?
4. Про які еволюційні погляди французького зоолога, анатома й натураліста Ж.-Б. Ламарка ви знаєте?
5. Організуйте мінідискусію на тему «Як еволюційна гіпотеза Ж.-Б. Ламарка вплинула на розвиток еволюційних ідей?».



Опорні точки

Біологічна еволюція — це історичний процес адаптивних перетворень живої природи на всіх рівнях її організації. Практичною метою еволюційної біології є виявлення закономірностей розвитку органічного світу для подальшого керування ним.



rnk.com.ua/
113320



§ 43

Еволюційна теорія Чарльза Дарвіна. Докази еволюції



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Чарльз Дарвін в автобіографії зазначав: «... ніщо не давало мені такого задоволення, як колекціонування жуків. Наведу доказ мого прагнення цієї справи. Одного разу, здираючи з дерева шматок старої кори, я побачив двох рідкісних жуків і схопив кожною рукою по одному з них, але одразу ж побачив третього, якогось нового роду, якого я не мав права втратити, і я засунув того жука, якого тримав у правій руці, у рот. На жаль! Він випустив якусь надзвичайно їдку рідину, і я змушений був виплюнути жука. Я втратив його, як і третього».

Як ви вважаєте, чому Дарвін, будучи вже дорослою, всесвітньо відомою людиною, автором еволюційної теорії, пам'ятав цей епізод зі свого дитячого життя й розповідав про нього?

Передумови створення теорії Чарльза Дарвіна

Чарльз Дарвін будував свою еволюційну теорію, спираючись на ті відкриття й погляди, які вже існували. По-перше, це роботи німецького філософа Іммануїла Канта (1724–1804) і французького математика й астронома П'єра-Сімона Лапласа (1749–1827), які вважали, що Всесвіт змінюється й еволюціонує. Вони стверджували, що Сонячна система утворилася з газово-пилової туманності. По-друге, це відкриття шотландського геолога Чарльза Лайєлла (1797–1875), який обґрунтував ідею еволюції поверхні Землі під впливом клімату, вулканічних сил та інших факторів (мал. 43.1).

Дарвіну подобалися еволюційні ідеї, і він прагнув з'ясувати, які сили керують еволюцією живих організмів. Досягти цієї мети йому допомогла навколосвітня подорож на кораблі «Бігль» (1831–1836 рр.). Під час подорожі Чарльз Дарвін вивчав геологічні породи, рослинний і тваринний світ різних континентів. Особливо його вразило різноманіття форм флори та фауни, які він спостерігав на островах. Дарвін помітив, що близькі за будовою види на різних островах трохи відрізняються між собою. Це були локальні адаптації до різних умов життя. Такі спостереження наштотували Дарвіна на думку, що всі сучасні види походять від спільних предків, а зміни в природі відбуваються поступово, під впливом добору. Зібраний під час подорожі великий фактичний матеріал став основою для створення еволюційної теорії, яка пояснила механізми розвитку живої природи.



Мал. 43.1. Дрейф континентів на планеті Земля

Основні положення еволюційної теорії Чарльза Дарвіна

Відповідно до еволюційної теорії Дарвіна, усі живі організми на Землі походять від спільних предків і змінюються із часом завдяки таким основним факторам еволюції, як **мінливість**, **спадковість**, **боротьба за існування** і **природний добір**.

Дарвін звернув увагу на те, що організми кожного з видів залишають значно більше нащадків, ніж може забезпечити середовище їхнього існування. Він також звернув увагу на те, що нащадки виявляють різноманітність за багатьма ознаками. Вживають і залишають власних нащадків саме ті, які мали такі властивості, що допомагали їм адаптуватися (приспособуватися) до наявних умов середовища.

Сукупність взаємозв'язків між особинами й різними факторами довкілля Дарвін назвав **боротьбою за існування**. Боротьба за існування є конкуренцією між живими організмами за обмежені ресурси. Це, наприклад, їжа, вода, світло, зручне місце для розмноження. Дарвін виділив три основні форми боротьби за існування: внутрішньовидова боротьба, міжвидова боротьба й боротьба з несприятливими умовами середовища. Результатом боротьби за існування стає **природний добір**.

Природний добір — виживання та переважне розмноження організмів, які є найбільш пристосованими до умов середовища.

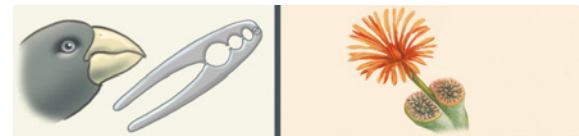
Добре пристосовані індивіди передають свої адаптивні ознаки нащадкам, і види поступово змінюються (схема 45, с. 212).



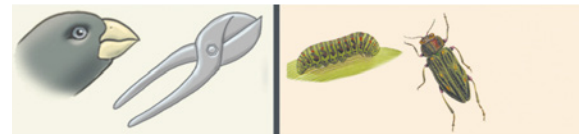
Робота в групі

Поясніть, чому дзьоби птахів змінювалися саме так. Які закони фізики покладені в основу принципу будови дзьобів в'юроків та інструментів, створених людиною?

Особливості будови дзьобів у Галапагоських зябликів (в'юроків)



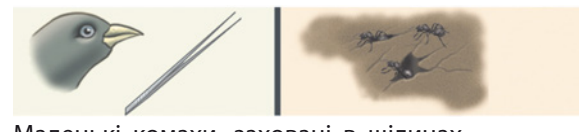
Насіння та нектар



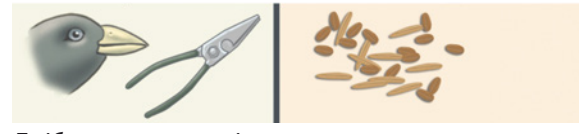
Жуки та гусениці великого розміру



Насіння дуже товсте й тверде



Маленькі комахи, заховані в щілинах



Дрібне тверде насіння

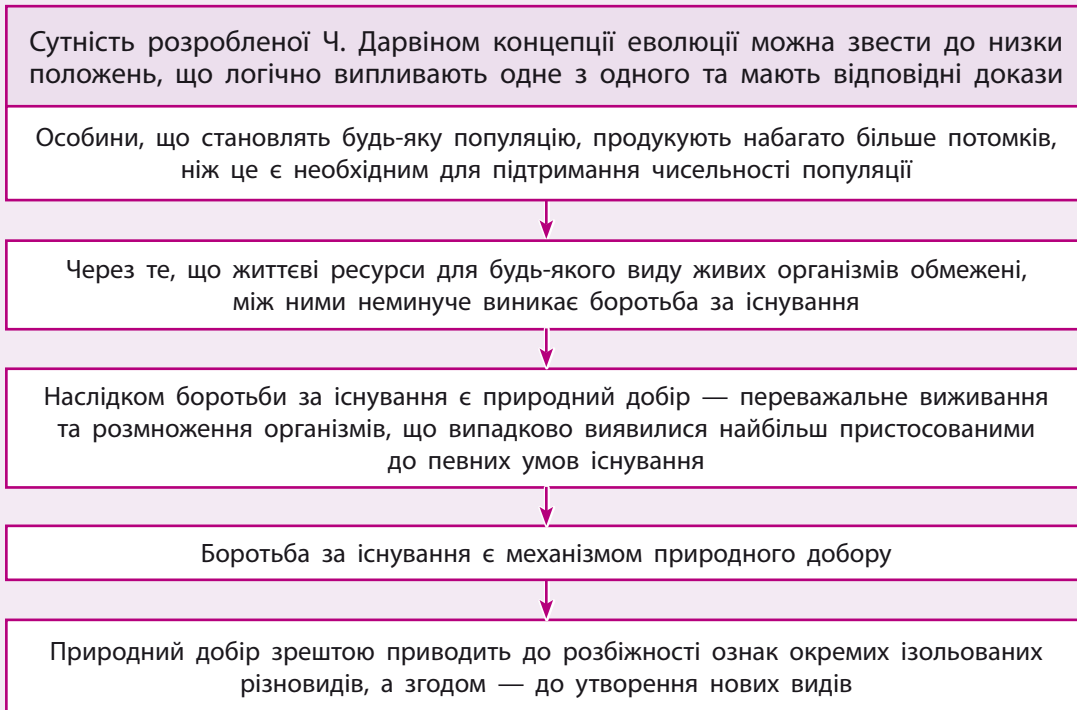
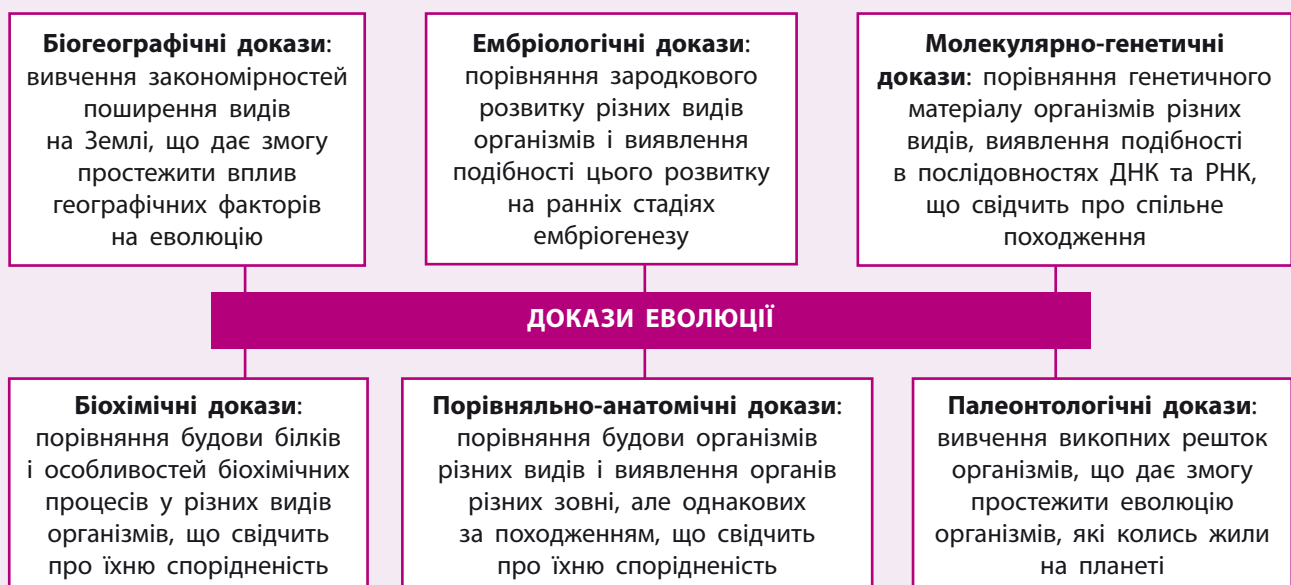


Схема 45. Концепція еволюції, за Ч. Дарвіном

Докази еволюції

Доказами еволюції є наукові дані й концепції, які підтверджують єдність усіх живих істот на Землі та їхнє походження від спільного предка. Такі дані вчені отримали на різних рівнях організації живого: від молекулярного до популяційно-видового (схема 46).

Схема 46. Докази еволюції



Дослідження «Ознайомлення зі скам'янілостями живих організмів, збережених в осадових породах» (натурна колекція або віртуально)

Скам'янілості, або **фосилії** (лат. "fossilis" — викопний), — рештки організмів або сліди їхньої життєдіяльності, збережені в осадових породах (схема 47).

Розгляньте скам'янілості (відбитки, мушлі, кістки тощо). Проаналізуйте їхні форму, розмір, колір, інші особливості. Користуючись додатковою інформацією, визначте назви скам'янілих організмів, час їхнього існування.



Поділіться своїми думками

Об'єктом вивчення якої науки є скам'янілості або фосилії? Яку практичну користь і теоретичну інформацію отримує людина, досліджуючи скам'янілості?

Схема 47. Скам'янілості деяких давніх тварин

Викопний трилобіт — членистонога тварина, яка мешкала в морях



Частина викопного іхтіозавра — морського хижого плазуна



Викопний амоніт — морський головоногий молюск



Скам'янілості археоптерикса, динозавра з пір'ям



Викопний скелет тиранозавра рекса, дванадцятиметрового хижака



Викопний скелет рослиноїдного динозавра з трьома рогами — трицератопса





Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Дарвін дослідив групу птахів, які мешкають на Галапагоських островах та острові Кокос. Ця група виникла внаслідок того, що один предковий вид розселився і започаткував 14 нових видів, які пристосувалися до різних умов існування й живлення різною їжею.

Розгляньте малюнки й дізнайтеся, які висновки зробив Дарвін на основі вивчення дзьобів і їжі цих видів.

Галапагоські «в'юрки Дарвіна»



- 1 — мешканці дерев; 2 — мешкає в чагарниках; 3 — наземні птахи;
 4 — папугоподібний дзьоб; 5 — хапальні дзьоби;
 6 — дзьоби для вишукування їжі; 7 — дзьоби для подрібнення насіння;
 8 — живляться фруктами, квітами та бруньками; 9 — живляться комахами;
 10 — живляться кактусами; 11 — живляться насінням



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Розгляньте світлини, на яких зображені світла й темна форми метеликів березового п'ядуна (*Biston betularia*).

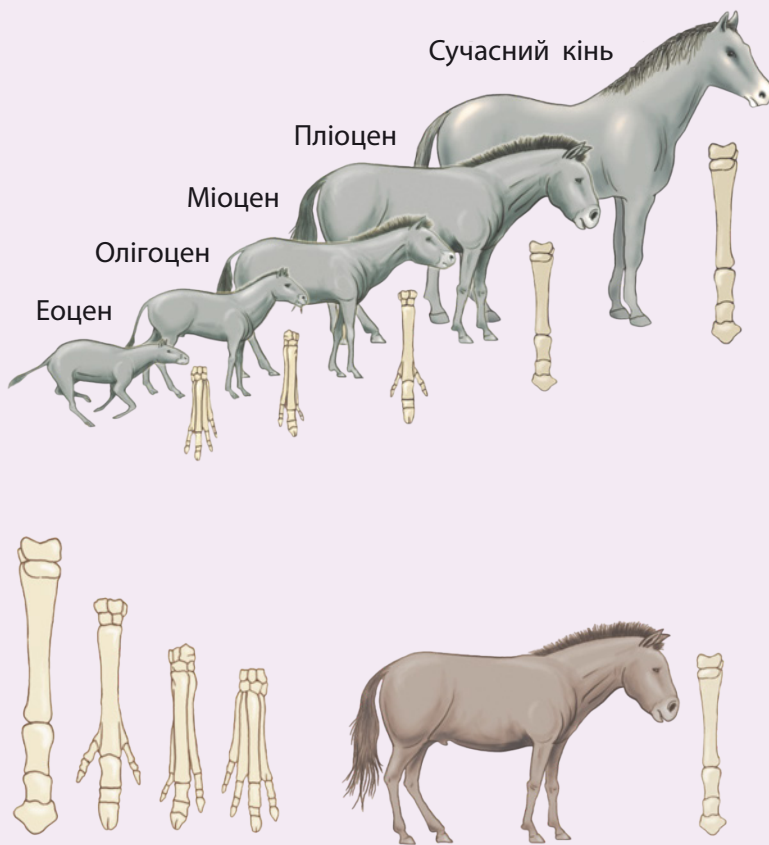
На першій світлині — метелики в незабруднених районах, де кора дерев світла, укрита лишайниками. На другій світлині — метелики в промислових районах, де кора дерев забруднена й темна.

Яка форма метеликів переважатиме в промислових районах, а яка — у незабруднених? Поясніть чому. Яку назву дістала ця форма адаптації?

Світла й темна форма метелика березового п'ядуна (*Biston betularia*)



Еволюція коня за останні 55 млн років



Мал. 43.2. Еволюція коня за останні 55 млн років



Робота в парі

Розгляньте мал. 43.2. Користуючись текстом параграфа й малюнком, поясніть, як відбувалися зміни в популяціях цих організмів. Ураховуйте, що предок коня еогіппус був невеличкою твариною, завбільшки з лисицю, він мешкав у тропічних лісах Північної Америки. Його кінцівки були тонкими, передні спиралися на чотири пальці, а задні — на три.



Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

1. Чи можна застосувати теорію Ч. Дарвіна для пояснення соціальних та економічних явищ?
2. Як теорія природного добору пов'язана з економічною теорією?



Запитання і завдання

1. Чарльз Дарвін писав в автобіографії: «Ніколи жоден поет не відчував, побачивши перший свій надрукований вірш, більшого захоплення, ніж я, коли побачив у книзі Стівенса «Зображення британських комах» магічні слова: «Пійманий Ч. Дарвіном, есквайром». Чи можуть жуки щось розповісти людям про еволюцію?
2. Чому еволюційну перевагу мають ті види, які демонструють більше різноманіття?
3. Які три основні форми боротьби за існування виділив Дарвін?
4. Чому боротьба за існування сприяє природному добору?
5. Назвіть основні положення теорії Чарльза Дарвіна.
6. Наведіть докази еволюції, які вам здалися цікавими. Аргументуйте.



Опорні точки

Чарльз Дарвін уперше довів, що всі живі організми на Землі походять від спільних предків і змінюються із часом завдяки таким основним факторам еволюції, як мінливість, спадковість, боротьба за існування і природний добір. Було зібрано багато доказів еволюції, які підтверджують єдність усіх живих істот на Землі.



rnk.com.ua/
113321



§ 44

Основні положення синтетичної теорії еволюції та її подальший розвиток. Сучасні еволюційні погляди



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

У червні 1867 року в журналі «North British Review» вийшла стаття, яку написав англійський інженер Флемінг Дженкін. Стаття мала назву «Походження видів», і в ній Дженкін критикував ідею Дарвіна щодо природного добору як рушійної сили еволюції. Він писав про те, що корисна ознака, яка випадково з'явилася в окремого організму, буде поступово зникати в процесі схрещування зі звичайними особинами, які її не мають — нібито «розчинятимуться» в низці поколінь. Дарвін сприйняв цей аргумент, як «Кошмар Дженкіна».

Чи можна було аргументовано довести в XIX сторіччі, що Дженкін помилявся?

Синтетична теорія еволюції (СТЕ) — сучасне еволюційне вчення, яке поєднує ідеї дарвінізму з досягненнями генетики та інших біологічних наук і пояснює механізми еволюційних змін.

Синтетична теорія еволюції

Класичний дарвінізм відіграв важливу роль у формуванні уявлень про еволюцію, однак він мав певні обмеження. Чарльз Дарвін довів провідну роль природного добору, але не міг пояснити, як передаються спадкові ознаки та чому виникають нові їхні варіанти.

На початку XX століття відбувся стрімкий розвиток генетики, цитології та популяційної біології. Було встановлено матеріальну основу спадковості — хромосоми, з'ясовано роль мутацій і рекомбінацій у виникненні спадкової мінливості. У 30–40-х роках XX століття, завдяки об'єднанню дарвінізму з досягненнями генетики та інших біологічних наук, сформувалася **синтетична теорія еволюції (СТЕ)**. Вагомий внесок у створення СТЕ зробили відомі вчені Теодосій Добжанський, Рональд Фішер, Джон Холдейн, Сьюелл Райт, Ернст Майр, Джордж Сімпсон та ін.

Синтетична теорія еволюції пояснює еволюційні зміни як результат дії **еволюційних чинників**, що впливають на **генофонд популяцій**. Провідну роль із-поміж них відіграє **природний добір**. Важливим джерелом спадкової мінливості є **мутаційний процес**. Більшість мутацій нейтральні або шкідливі, та інколи вони можуть бути корисними й ставати матеріалом для природного добору. Унаслідок **генетичного дрейфу** деякі алелі можуть зникати або, навпаки, закріплюватися незалежно від їхньої пристосувальної цінності. Ще одним важливим чинником є **міграції**. Переміщення особин між

популяціями сприяє обміну генетичним матеріалом. Важливою умовою еволюції та видоутворення є **ізоляція**. Вона обмежує схрещування між популяціями й сприяє накопиченню генетичних відмінностей.

Основні положення синтетичної теорії еволюції

- Еволюційним матеріалом є спадкова мінливість: мутації та рекомбінації генів.
- До факторів еволюції належать: природний добір, мутаційний процес, дрейф генів, міграції, ізоляція.
- Основним рушійним чинником еволюції є природний добір, який зберігає ті зміни, що підвищують пристосованість організмів до умов життя.
- Елементарною одиницею еволюції є популяція, у якій діють усі фактори еволюції.
- Еволюційні зміни, що відбуваються на рівні популяції, називаються мікроеволюцією. Вони можуть приводити до формування нових видів.
- Видоутворення відбувається внаслідок накопичення спадкових відмінностей між популяціями та встановлення репродуктивної ізоляції.
- Еволюція є поступовим і безперервним процесом, що має незворотний характер.



Робота в парі

Німецький зоолог Август Вайсман (1834–1914) був великим прихильником Дарвіна. Однак, на відміну від Дарвіна, Вайсман рішуче виступав проти ідеї успадкування набутих ознак. Він зробив дослідження на мишах, опис якого увійшов у підручники з генетики всіх країн світу. Дізнайтеся, що це був за експеримент і які висновки були зроблені Вайсманом. Які основні положення Вайсман сформулював у створеній ним теорії спадковості? Чому його теорія стала потужним стимулом для подальших генетичних досліджень?



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

У рамках синтетичної теорії еволюції сформувався понятійний апарат, якого раніше в науці не було. Фактично, еволюційна біологія отримала власну мову. Укладіть словничок, який буде вам допомагати розбиратися в еволюційній проблематиці. До цієї теми він може бути таким (див. нижче), а для наступних тем доповнюйте його самостійно.

Словничок для розуміння основних положень синтетичної теорії еволюції

Дрейф генів — випадкова зміна частот алелів у популяції, спричинена випадковими факторами, а не природним добром.

Макроеволюція — процес виникнення таксонів надвидового рівня (рід, родина, ряд, клас, тип, царство, домен).

Міграції (від лат. "migratio" — переселення, переміщення) — періодичне переміщення тварин між середовищами існування, які просторово віддалені одне від одного.

Мікроеволюція — сукупність еволюційних процесів, які відбуваються в популяціях одного виду.

Мутації — випадкові зміни генетичного матеріалу на різних рівнях його організації, які є джерелом спадкової мінливості.

Популяційні хвилі — періодичні або неперіодичні коливання чисельності особин у природних популяціях.

Популяція — сукупність особин одного виду, які мешкають на певній території, вільно схрещуються між собою, утворюючи спільний генофонд, і не схрещуються з представниками інших видів.

Таксон — будь-яка одиниця класифікації (вид, рід, родина, ряд, клас, тип, царство, домен).



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Ознайомтеся з деякими вченими, які створювали синтетичну теорію еволюції. Дізнайтеся, хто ще з науковців / науковиць зробив суттєвий внесок у формування основних положень синтетичної теорії еволюції, підготуйте про них доповіді.

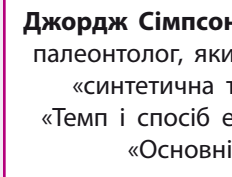
Творці синтетичної теорії еволюції



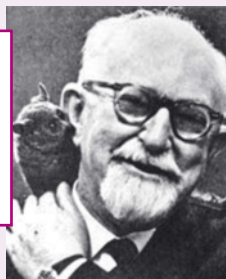
Джуліан Сорелл Гакслі (1887–1975) — англійський біолог, еволюціоніст і гуманіст, політик, автор книги «Еволюція: сучасний синтез», у якій автор довів, що експерименти, які ставилися під сумнів, не суперечили, а підтверджували теорію природного відбору. Термін «синтетична теорія» походить саме від назви цієї книги.



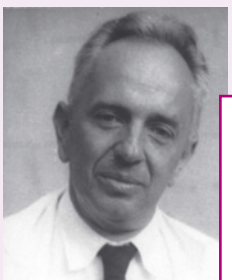
Ернст Майр (1904–2005) — німецький біолог, систематик, еволюціоніст, автор книги «Систематика і походження видів», ідеї якої сприяли створенню синтетичної теорії еволюції.



Джордж Сімпсон (1902–1984) — американський палеонтолог, який 1949 року увів в обіг термін «синтетична теорія еволюції», автор книг «Темп і спосіб еволюції», «Значення еволюції», «Основні особливості еволюції».



Феодосій Григорович Добржанський (1900–1975) — визначний український і американський еволюційний біолог, зоолог, засновник американської популяційної генетики, автор книги «Генетика та походження видів», у якій розглядаються генетичні основи еволюції. Йому належить знаменита фраза: «Нічого в біології не має сенсу, крім еволюції».



Робота в групі

Наведіть приклади альтруїзму в людини. Чи корисна така поведінка людині? Суспільству? Як альтруїзм відображається в культурі та мистецтві?



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Дізнайтеся, що таке «молекулярний годинник» і як він використовується для еволюційних досліджень.

Подальший розвиток синтетичної теорії еволюції

СТЕ продовжує розвиватися завдяки новим науковим відкриттям (схема 48). Важливу роль у цьому відіграє молекулярна генетика, яка дала змогу досліджувати еволюцію на рівні ДНК і білків, еволюційні зв'язки між видами. Сучасні дослідження зосереджені на вивченні молекулярної еволюції — процесі змін у ДНК та білках, що зумовлюють появу нових генів і функцій.

Суттєвий внесок у сучасне розуміння еволюції зробила епігенетика, яка вивчає спадкові зміни активності генів без зміни структури ДНК. Вона показала, що умови середовища можуть впливати на роботу генів і передаватися нащадкам, і це

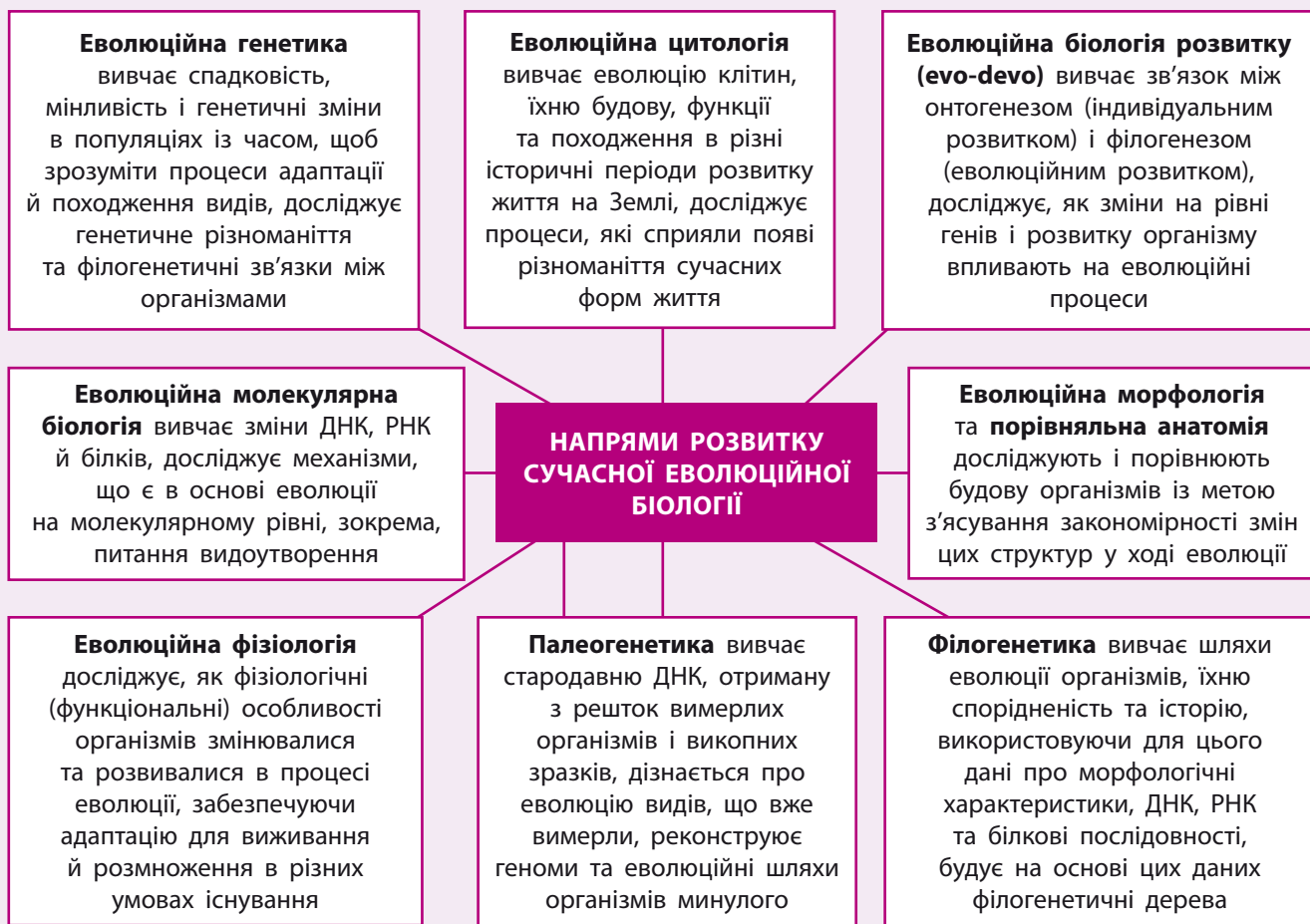


Схема 48. Основні напрями розвитку сучасної еволюційної біології

розширює уявлення про механізми спадковості та мінливості.

Важливим напрямом сучасної еволюційної біології є еволюційна біологія розвитку (англ. "evo-devo"). Вона досліджує, як зміни в регуляції розвитку організмів можуть приводити до появи нових форм і структур. Це дає змогу пояснити виникнення значних еволюційних змін на основі відносно невеликих генетичних перетворень.



Опорні точки

Дарвінівська концепція еволюції стала у XX столітті основою для створення синтетичної теорії еволюції, яка об'єднала класичний дарвінізм із генетикою, екологією та іншими сучасними біологічними науками. Основним завданням еволюційної біології є пояснення механізмів розвитку живого світу на рівні популяцій, ураховуючи такі фактори еволюції, як-от: мутаційний процес, ізоляцію, боротьбу за існування, природний добір, дрейф генів, міграції, популяційні хвилі.



Запитання і завдання

1. Чим синтетична теорія еволюції доповнює дарвінівську еволюційну теорію?
2. Чому елементарною одиницею еволюції є популяція, а не окремий організм?
3. Відомо, що лінії людини й шимпанзе розійшлися приблизно 6–7 млн років тому. Як учені про це дізналися?
4. Чому положення синтетичної теорії еволюції із часом уточнюються й коригуються?



rnk.com.ua/
113322

§ 45

Популяція як одиниця еволюції. Фактори еволюції



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Розгляньте світлини внизу.
Чим відрізняються ці популяції
людини? Чому вони
відрізняються? Як виникли такі
відмінності в популяції одного
виду?



Популяція як одиниця еволюції

Популяція є сукупністю організмів одного виду, які мають **спільний генофонд**, займають обмежений **ареал** та ізольовані від інших популяцій певного виду. **Популяція є елементарною одиницею еволюції**, адже саме на рівні популяцій починаються еволюційні зміни. Справді, окремі організми впродовж життя не змінюють своїх спадкових ознак, проте в популяціях від покоління до покоління змінюється співвідношення і генів, і ознак. Особи, у яких є корисні в певних умовах середовища спадкові зміни, краще виживають і розмножуються, чисельність їхніх нащадків зростає, і корисні зміни в популяції поширюються.

Еволюційні процеси виявляються в зміні **генофонду популяції**, тобто сукупності всіх генів її особин. Унаслідок тривалих змін різні популяції можуть значно відрізнятися одна від одної, що із часом може приводити до утворення нових видів. Оскільки популяція є елементарною одиницею еволюції, то в ній відбуваються елементарні еволюційні процеси й діють еволюційні фактори: природний добір, дрейф генів, мутаційний процес, міграції та ізоляція.

Природний добір

Творчим і формоутворювальним фактором еволюції є **природний добір**, тобто процес, у результаті якого виживають і залишають потомство переважно ті організми, у яких відбуваються корисні в певних умовах середовища спадкові зміни.

Існує кілька форм природного добору: рушійний, розривний (дизруптивний) і стабілізуючий.

Розгляньмо мал. 45.1. **Рушійний добір** спричиняє усунення особин із попередньою (старою) нормою реакції й формування популяції особин із новими ознаками. Це відбувається тоді, коли умови навколишнього середовища змінюються, але ці зміни відбуваються більш-менш повільно. Така форма природного добору приводить до підтримання однієї форми мінливості й поступового перетворення одного старого виду на один новий.

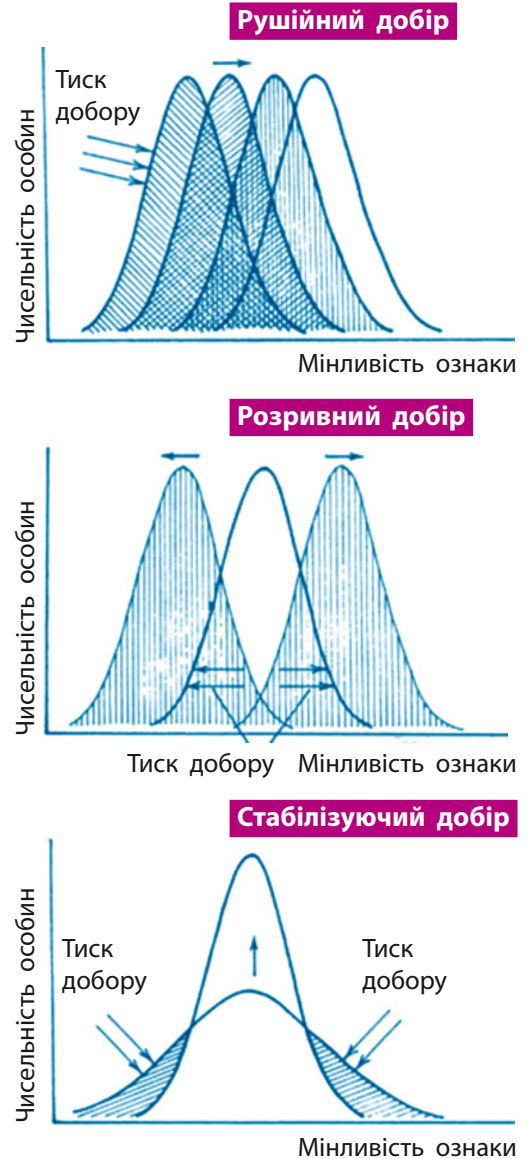
Розривний (дизруптивний) добір спричиняє знищення особин із середньою нормою реакції та збереження крайніх відхилень від неї. Це відбувається тоді, коли умови навколишнього середовища дуже швидко змінюються. Така форма природного добору призводить до підтримки кількох форм мінливості і поступового перетворення одного старого виду на два або кілька нових.

Стабілізуючий добір сприяє збереженню в популяціях середньої, раніше сформованої ознаки. Це відбувається тоді, коли умови навколишнього середовища є постійними, стабільними, такими, що майже не змінюються. Стабілізуючий добір знищує всі форми мінливості й сприяє збереженню тих організмів, ознаки яких оптимально відповідають умовам сталого середовища. Він забезпечує незмінність і сталість виду в часі.

Популяційні хвилі

Ще одним фактором еволюції є **популяційні хвилі**, тобто коливання чисельності особин у природних популяціях (мал. 45.2). Ці коливання відбуваються внаслідок впливу таких факторів навколишнього середовища, як наявність або відсутність ресурсів, бактеріальні або вірусні хвороби, збільшення чи зменшення активності хижаків, зміна температури навколишнього середовища тощо.

Популяційні хвилі мають потужні екологічні наслідки. Вони можуть спричинити конкуренцію



Мал. 45.1. Види добору



Завдання

Розгляньте графік на мал. 45.2. Що є причинами цих популяційних хвиль?

Мал. 45.2. Варіант популяційних хвиль





Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Розгляньте світлини. Дізнайтеся, чому відбуваються спалахи чисельності сарани перелітної. Які наслідки вони мають? Чи відбувається таке явище в Україні? Чим відрізняються сарана перелітна й коник? Який вигляд мають? Чим харчуються? Як боротися з перелітною сараною?



Сарана перелітна



за ресурси, негативно впливати на інші види, завдавати шкоди сільському та лісовому господарству.

Дрейф генів (генетичний дрейф)

Популяційні хвилі спричиняють **дрейф генів** — випадкову та неспрямовану зміну частот алелів у популяції, яка стає результатом дії випадкових факторів, а не природного добору. Саме тому для дрейфу генів не характерний пристосувальний характер. Але він усе ж таки є фактором еволюції й має значення, наприклад, у процесі поширення організмів на нові території.

Окремим прикладом генетичного дрейфу є **ефект засновника**, який виникає, коли невелика група особин відокремлюється від більшої популяції, утворюючи нову, ізольовану популяцію (мал. 45.3).

Ефект засновника часто є наслідком стихійних лих, як-от: раптові повені, урагани, вулканічна активність тощо. Він призводить до зниження генетичного різноманіття в новій популяції і може



Робота в парі

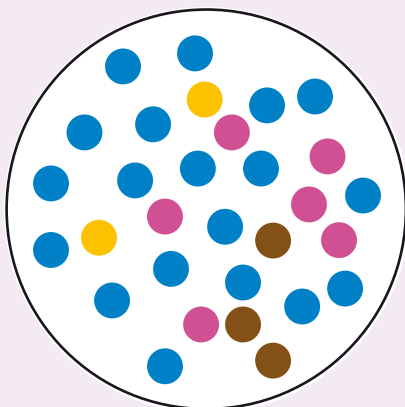
Чому популяційні хвилі та генетичний дрейф часто діють разом?



Поділіться своїми думками

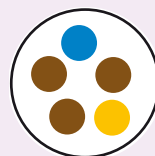
Розгляньте мал. 45.3. Поясніть, чому після різкого скорочення чисельності популяція може втратити здатність пристосовуватися до змін середовища.

Батьківська популяція



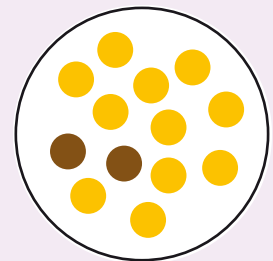
Велике різноманіття

Популяція-засновник



Скорочення чисельності або міграція невеликої групи

Нова популяція



Генетичний дрейф

Мал. 45.3. Дія генетичного дрейфу

відігравати певну роль у появі нових видів. Вид *Homo sapiens* у процесі своєї еволюції теж переживав ефект засновника в процесі формування колоній, поширюючись планетою.

Міграції

Міграції особин між популяціями одного виду супроводжуються перенесенням генів з однієї популяції до іншої. Так, завдяки міграціям у популяціях поширюються нові ознаки. Водночас міграції можуть послаблювати генетичні відмінності між популяціями, роблячи їх більш схожими.

Міграції в природі дуже різноманітні. Комахи, зокрема сарана, можуть долати значні відстані. Молоді особини вовків, лисиць, ведмедів часто залишають батьківську територію та заселяють нові ділянки. Насіння багатьох видів рослин переноситься на великі відстані за допомогою вітру, води або тварин.

Ізоляція

Ізоляція робить неможливим схрещування між особинами різних популяцій.

Географічна ізоляція виникає в процесі роз'єднання популяцій непрохідними для них географічними бар'єрами. Наприклад, коли гірський хребет виникає між двома популяціями рівнинного виду.

Екологічна ізоляція виникає тоді, коли всередині популяції з'являються певні форми з різними вимогами до умов довкілля. Наприклад, їхнє розмноження відбувається за різних температур.

Етологічна ізоляція виникає завдяки відмінностям у поведінці, особливо в шлюбний період. Наприклад, у птахів усередині популяції з'являються особини, які по-різному співають пісню, якою вони приваблюють самиць.

Сезонна або часова ізоляція виникає завдяки розмноженню особин однієї популяції в різні терміни. Наприклад, популяції риб одного виду можуть нереститися в різні пори року: одна — взимку, а інша — навесні.



Поділіться своїми думками

Невелика група особин, наприклад, слонів, заселила нову територію. Чому генофонд нової популяції може істотно відрізнятися від вихідної?



Ізоляція — це розділення популяцій через виникнення між ними фізичних, географічних або екологічних бар'єрів.



Відкритий мікрофон

Уявіть популяцію, у якій раптово зник природний добір. Чи припиниться еволюція? Які фактори продовжать змінювати популяцію?



Запитання і завдання

1. Чому окремий організм не може бути одиницею еволюції, навіть якщо він має дуже корисну ознаку?
2. Чи може природний добір діяти в популяції, де немає спадкової мінливості? Поясніть.
3. Чи може ізоляція виникнути без фізичних перешкод? Наведіть приклади.



Опорні точки

Популяція є еволюційною, екологічною та генетичною одиницею. На рівні популяції відбуваються еволюційні зміни, природний добір, мутації, дрейф генів.



rnk.com.ua/
113323



§ 46

Мікроеволюція. Способи видоутворення



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Найбільш широко визнана оцінка кількості видів еукаріотів на Землі становить 8,7 млн. Лише приблизно 1,2 млн з них описані та дістали наукові назви. Аналіз наукових знань щодо видового різноманіття планети свідчить про те, що приблизно 86 % наземних видів і 91 % морських видів залишаються не відкритими.

Як ви вважаєте, чому більшість видів нашої планети невідома науці? Чи є вивчення й описання видового різноманіття планети важливими для людства?

Видоутворення — це процес, під час якого з однієї популяції організмів виникає новий вид. Під час цього процесу накопичуються морфологічні, фізіологічні та генетичні відмінності, які роблять нащадків репродуктивно ізольованими від батьківської популяції.

Мікроеволюція. Способи видоутворення

Сукупність еволюційних процесів, що відбуваються в популяціях одного виду і є причиною зміни генофонду, формування пристосувань і насамкінець — видоутворення — це **мікроеволюція**.

У межах популяцій одного виду впродовж багатьох поколінь відбуваються певні зміни їхнього генофонду. До цих змін приводять мутації, боротьба за існування, природний добір, дрейф генів, міграції та інші еволюційні фактори. Такі зміни називають мікроеволюційними.

Завдяки мікроеволюції організми адаптуються до умов навколишнього середовища, що змінюються. За умов цього процесу виникають нові види. Видоутворення відбувається постійно, процес зникнення видів теж. За весь період її існування на Землі приблизно 90 % видів, що були створені природою, уже вимерли.

Між вимиранням і утворенням видів існує певна рівновага. Завдяки цьому балансу загальна кількість видів, що мешкає на нашій планеті, є досить стабільною. Якщо кількість видів перевищує певну величину, то швидкість вимирання зростає, а якщо кількість видів стає меншою за певну величину, то зростає швидкість процесів видоутворення.

Основними способами видоутворення є алопатричне та симпатричне видоутворення.

Алопатричне (географічне) видоутворення виникає внаслідок розширення території, на якій мешкає популяція, або просторового розділення популяцій фізичними перешкодами (гірські хребти, моря, річки). Класичним прикладом географічного

видоутворення є виявлена Дарвіном різноманітність видів в'юрків на Галапагоських островах.

Завдяки географічному видоутворенню сформувалися два види бобрів: європейського та канадського, які походять від спільних предків (мал. 46.1, 46.2). Ці предки жили в ті часи, коли Євразія та Північна Америка були з'єднані суходільним мостом. Із часом цей суходільний міст зник, що призвело до географічної ізоляції популяцій бобрів. Кожна з них розвивалася ізольовано, у результаті чого й виникли два різних види.

За умов **симпатричного (екологічного)** видоутворення новий вид формується в межах ареалу материнського виду, але різні популяції одного виду існують у різних екологічних умовах. Наприклад, дуже близькі види звичайних європейських біланів (капустяного, бруквяного й ріп'яного) утворилися від одного початкового виду в результаті харчування різною їжею на личинковій стадії розвитку. Так, гусениці білана капустяного й чортополохівки живляться культурними, а білана бруквяного — переважно дикими видами капустяних (мал. 46.3, 46.4).

Більше про способи видоутворення — див. схему 49, с. 227.



Мал. 46.1. Бобер канадський (*Castor canadensis*)



Мал. 46.2. Бобер європейський, або річковий (*Castor fiber*)



Мал. 46.3. Метелик і гусениця білана капустяного. Гусениця поїдає сортову культурну капусту



Мал. 46.4. Метелик білана бруквяного. Його гусениці поїдають грицики (*Capsella*), дикий вид із родини капустяних



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Наведіть власні приклади алопатричного (географічного) видоутворення, яке відбулося завдяки просторовому розділенню популяцій гірськими хребтами, морями або річками.

Моделювання процесу природного добору за певними варіантами ознаки в популяції

Моделювання дає змогу вивчати механізми еволюції, прогнозувати, як зміни в навколишньому середовищі впливають на формування адаптивних ознак, досліджувати різні форми природного добору, як-от: рушійний, стабілізуючий та дизруптивний. Таке моделювання передбачає аналіз процесу адаптивних змін певних ознак організмів (наприклад, ріст, вага, колір, швидкість), які відбуваються під впливом факторів навколишнього середовища. Різні види, що опиняються в однакових умовах, під час видоутворення набувають схожих адаптивних морфофізіологічних пристосувань. Так, наприклад, правило Бергмана підкреслює той факт, що види **теплокровних хребетних** у більш холодному кліматі вирізняються крупнішими розмірами, ніж види, які населяють теплі краї. Подивіться на приклад, який ілюструє правило Бергмана.



Пінгвін імператорський (*Aptenodytes forsteri*) — найвищий і найбільший серед своїх родичів, зріст може сягати до 1,30 м, а вага — до 50 кг. Імператорський пінгвін із-поміж усіх видів пінгвінів заходить щонайдалі на південь. Приблизно 300 тисяч особин імператорського пінгвіна живуть на крижинах навколо Антарктиди, але для спаровування й висиджування яєць мігрують на материк.



Пінгвін галапагоський (*Spheniscus mendiculus*) — єдиний вид пінгвінів, що мешкає на широті екватора і здатний виживати в таких умовах завдяки холодним течіям Гумбольдта й Кромвеля. Гніздиться переважно на острові Фернандіна та заході острова Ісабела. Чисельність популяції оцінюють у 1800 особин. Зріст приблизно 50 см, вага — до 2,5 кг.

Хід роботи

1. Визначте ознаки організмів і умови середовища.
У цьому разі моделюються конкретні ознаки (ріст і вага) та зовнішні фактори (температура навколишнього середовища).
2. Оберіть варіанти ознаки: низький і високий ріст, невелика й досить велика вага.
3. В умовах моделювання створюється тиск середовища. Наприклад, температура навколишнього середовища протягом року низька / температура протягом року висока.
4. Аналіз результатів добору (які організми з більш адаптивними для цих умов навколишнього середовища варіантами ознак мають більше шансів вижити та передати свої гени наступним поколінням).
5. Аналіз зміни частоти ознаки, що свідчить про процес природного добору (наприклад, із часом, якщо умови зберігаються, частота цієї ознаки в популяції зростає).
6. Оформлення висновків.

Географічне видоутворення виникає, коли популяція розділяється на ізольовані групи фізичними бар'єрами (гори, річки, океани). Із часом у кожній ізольованій групі накопичуються генетичні відмінності внаслідок дрейфу генів і природного добору, що сприяє утворенню нових видів

Екологічне видоутворення відбувається без фізичної ізоляції, коли популяції одного виду починають займати різні екологічні ніші. Різні групи особин можуть харчуватися різною їжею, жити на різних субстратах або розмножуватися в різні пори року

ОСНОВНІ СПОСОБИ ВИДОУТВОРЕННЯ

Видоутворення шляхом гібридизації виникає, коли два різних види схрещуються між собою, утворюючи гібрид, який може бути фертильним, тобто здатним до процесу розмноження

Видоутворення шляхом поліплоїдизації виникає в клітинах організму, де спостерігається збільшення кількості наборів хромосом. Це сприяє швидкому утворенню нових видів, які не схрещуються з батьківськими формами

Злиття або фрагментація хромосом, тобто зміни в структурі хромосом можуть приводити до ізоляції та подальших процесів видоутворення

Схема 49. Способи видоутворення



Відкритий мікрофон

Розгляньте світлину. Це представники Котових, або Котячих (Felidae), родини ссавців ряду хижих. Родина містить 40 сучасних видів. Як ви вважаєте, у який спосіб могло сформуватися таке різноманіття видів? Які варіанти видоутворення ви можете запропонувати?



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Існує правило щодо тих видів теплокровних хребетних, які є холодостійкими. Воно дістало назву «Правило Аллена». Дізнайтеся, як сформульовано це правило, наведіть приклади, які його ілюструють. Поясніть, чому під час видоутворення можуть виникати схожі адаптивні морфофізіологічні пристосування.



Анімація «Правила Бергмана і Аллена»
rnk.com.ua/113494



Запитання і завдання

1. Чим відрізняється географічне видоутворення від екологічного?
2. Який спосіб утворення нових видів є найшвидшим?
3. Людство створює свій антропогенний простір, особливості якого відрізняються від умов природного середовища. Як ви вважаєте, чи існують якісь особливості еволюції живих організмів, що мешкають разом із людьми в цьому просторі?



Опорні точки

Мікроеволюція — це сукупність еволюційних процесів, що відбуваються в популяціях одного виду й приводять до видоутворення. Основними способами видоутворення є алопатричне (географічне) та симпатричне (екологічне).



rnk.com.ua/
113324

§ 47

Макроеволюція. Поняття про біологічний прогрес і регрес, дивергенцію, конвергенцію та паралелізм, аналогічні та гомологічні органи, рудименти та атавізми



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Інколи ми кажемо, що якийсь явище або процес є прогресивним. А що це означає? За якими критеріями, тобто ознаками, ви визначаєте, що відбувається прогрес? Наприклад, чи є поява чотирикамерного серця в ссавців і повне розділення артеріальної й венозної крові в ньому прогресивним явищем?

Макроеволюція — це еволюційний процес, який триває впродовж довгих проміжків геологічного часу і сприяє виникненню надвидових таксонів (родин, рядів, порядків, класів, відділів, типів, царств, доменів).



Етапи еволюційних процесів
rnk.com.ua/114009

Макроеволюція, біологічний прогрес і регрес

Макроеволюційні процеси є результатом тих мікроеволюційних змін, що відбуваються протягом тривалого часу. Основна відмінність макроеволюції від мікроеволюції полягає в масштабі: мікроеволюція — це зміни в межах виду, а макроеволюція — це суттєві зміни, що сприяють появі нових структур і функцій, дають змогу живим організмам опановувати нові середовища існування.

Макроеволюція може стати причиною як біологічного прогресу, так і біологічного регресу. **Біологічний прогрес** — це збільшення чисельності виду, розширення його ареалу, збільшення внутрішньовидового генетичного різноманіття. **Біологічний регрес** — це зменшення чисельності виду, звуження його ареалу, зменшення генетичного різноманіття.

Біологічний прогрес може досягатися різними шляхами. **Морфофізіологічний прогрес** пов'язаний із появою ознак — ароморфозів, — що суттєво підвищують рівень складності організму й дають змогу опановувати нові середовища існування. **Ідіоадаптації** — поява ознак, які забезпечують пристосування організмів до конкретних умов середовища існування, але без зміни рівня складності організму. **Морфофізіологічний регрес** — зниження рівня складності організму, утрата деяких органів, систем органів і функцій. Водночас формуються адаптації, пов'язані з використанням інших органів як середовища існування.

Дивергенція, конвергенція і паралелізм, аналогічні та гомологічні органи

Дивергенція — це розходження ознак і властивостей у споріднених груп організмів унаслідок пристосування до різних умов середовища.

Коли навколишнє середовище швидко змінюється, то внаслідок конкурентної боротьби за їжу та територію організми одного виду починають займати якомога більше доступних їм екологічних ніш. Завдяки цьому відбувається розходження ознак і властивостей у споріднених груп. Таке явище називається **адаптивна радіація**. Наприклад, опанування птахами повітряного простору



Відкритий мікрофон

Розгляньте малюнки і схему 50. Поясніть, завдяки яким процесам з'явилося таке різноманіття видів птахів. Усі вони мають загального предка. Чому ж у них такий різний вигляд, розміри, середовища існування й особливості харчування?



Гусеподібні (крижень, лебідь-кликун, свійські качки й гуси)

Пінгвіноподібні (малі пінгвіни, імператорський пінгвін, великі пінгвіни)

Соколоподібні (беркут, кречет, орлан-білохвіст, боривітер, орел-могильник)

Куруподібні (тетерук, глухар, рябчик, фазан, свійські кури)

Дятлоподібні (дятел трипалий, дятел білоспинний)

Лелекоподібні (лелека білий, лелека чорний)

Журавлеподібні (журавель сірий, журавель степовий)



Маніраптори
Група динозаврів,
від якої походять птахи

Совоподібні (сова вухата, сова сіра)

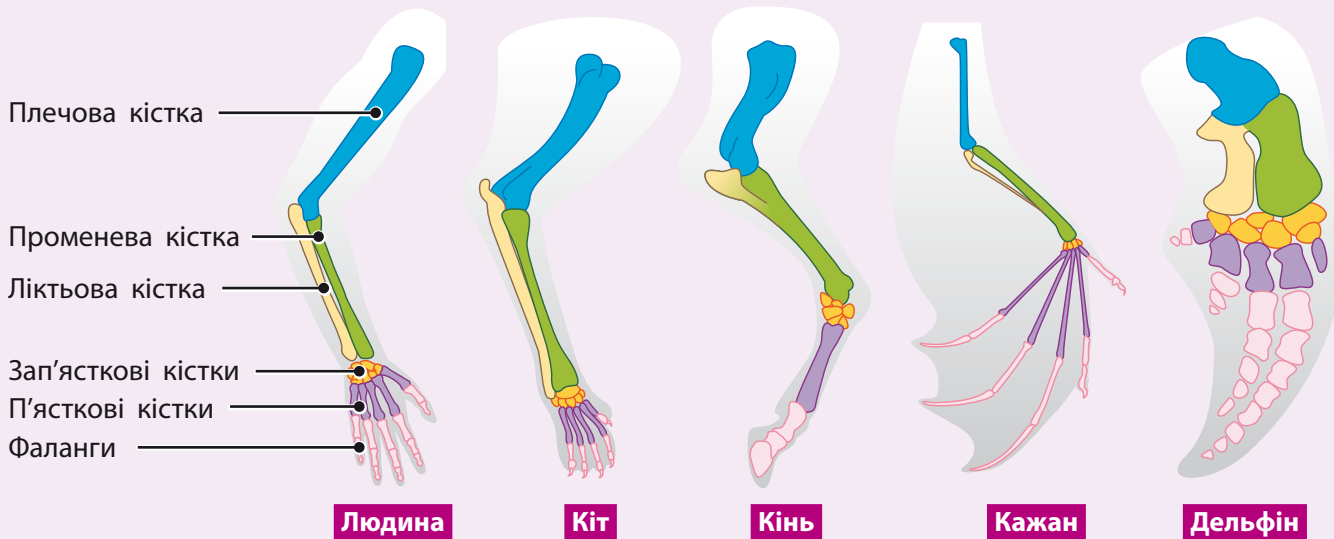
Горобцеподібні (горобець хатній, горобець польовий, ластівки, ворони, сороки)

Голубоподібні (горлиця, сизий голуб, поштовий голуб)

Пеліканоподібні (пелікан рожевий, пелікан кучерявий)

Страусові (страус африканський, страус сомалійський)

Схема 50. Різноманіття птахів



Мал. 47.1. Гомологічні органи



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Розгляньте мал. 47.1. Переконайтеся, що гомологічні органи мають спільний план будови. Поясніть, яким функціям відповідає кожен із цих п'яти планів будови. Чому органи, у яких спільне походження, мають такий різний зовнішній вигляд?

Конвергенція — незалежний розвиток схожих ознак у далеких систематичних групах, які пристосовуються до однакових умов.

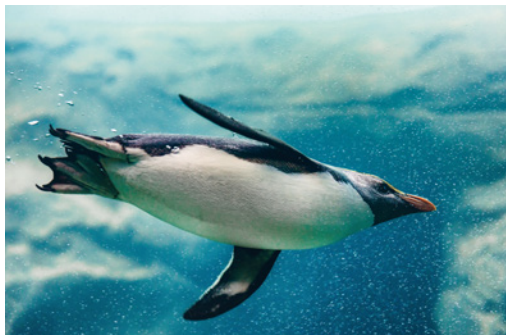


Відкритий мікрофон

Розгляньте світлини. Пінгвін — птах, акула — риба, дельфін — ссавець. Чому вони зовні такі схожі?



Велика біла акула розбиває поверхню води, коли вона настигає здобич



Пінгвін плаває поблизу поверхні



Дельфіни Індійського океану

Коли неспоріднені організми мешкають в однакових умовах існування, у них незалежно формуються подібні зовнішні ознаки попри різний план будови. Таке явище називають **конвергенцією**. У результаті конвергенції в організмів різних систематичних груп виникають **аналогічні органи** — різні за походженням і будовою, але схожі за функціями й зовнішнім виглядом.

Паралелізм — це незалежний розвиток подібних ознак у близькоспоріднених груп організмів. Наприклад, кенгуру, які належать до сумчастих ссавців, і кролики, що є плацентарними ссавцями, схожі здатністю до стрибків як способу пересування, є жертвами хижаків, тому здатні до швидкої втечі, мають високу плодючість (мал. 47.2). Вони рослиноні, у них схожа форма тіла та органів, вони гарно пристосовані до наземного способу життя. Такий паралелізм плацентарних і сумчастих ссавців є результатом конвергентної еволюції, унаслідок якої неспоріднені групи незалежно розвивають схожі адаптації до схожих умов середовища.

Рудименти та атавізми

Інколи в різних організмів вчені виявляють недорозвинені, або спрощені, органи, до того ж вони є наявними у всіх представників виду. Наприклад, у деяких печерних і риючих тварин, наприклад, кротів і протеїв, є недорозвинені очі, а в людини недорозвинені вушні м'язи. Такі органи біологи називають рудиментарними.

Слово «рудимент» перекладається з латини, як «зачаток», «першооснова». **Рудименти, або рудиментарні органи**, — це такі недорозвинені

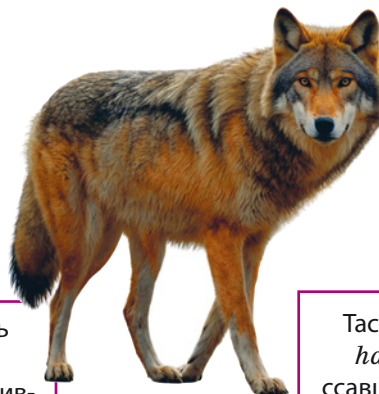


Мал. 47.2. Сірі кенгуру та зайці мають схожі адаптації, бо мешкають у схожих умовах середовища



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Розгляньте світлини. Чи є тварини, зображені на малюнку, прикладом паралельної еволюції ссавців? Обґрунтуйте свою позицію.



Вовк (*Canis lupus L.*) — хижий ссавець із роду пес (*Canis*) родини псових (*Canidae*), що добуває їжу самостійно активним пошуком і переслідуванням жертв



Тасманійський диявол (*Sarcophilus harrisii*) — вид хижих сумчастих ссавців, нині поширений винятково на австралійському острові-штаті Тасманія



Робота в групі

До волосяних сумок у шкірі людини прикріплюються гладкі м'язи шкіри, які піднімають волосся. Під час охолодження ці м'язи рефлекторно скорочуються, що спричиняє появу «гусячої шкіри». Ці найменші в тілі людини м'язи є рудиментарними.

Поясніть, чому вони стали рудиментарними, які еволюційні фактори на це вплинули.



Мал. 47.3. Скелет мавпи

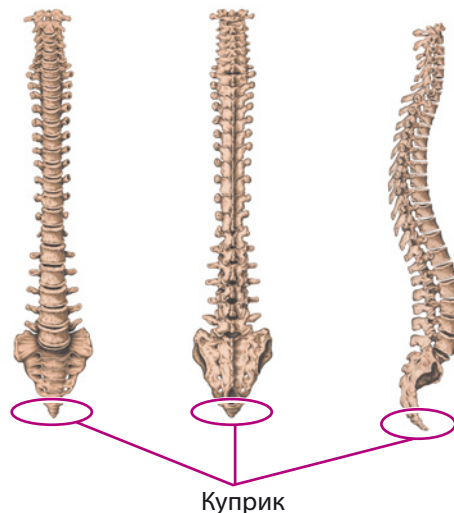
або спрощені органи, що втратили своє первинне значення в процесі еволюції й стали непотрібними. У предків такі органи виконували важливі функції. Наприклад, куприкова кістка в людини є гомологом хвостового скелета тварин. Хвіст у мавп виконує функцію опори й підтримки рівноваги під час лазіння по деревах. У людини від хвоста залишилося 3–5 рудиментарних куприкових хребців, які підтримують стабільність тіла, особливо під час сидіння. До передніх відділів куприка кріпляться м'язи та зв'язки, що беруть участь у роботі органів малого таза. Але такого важливого значення, яке мав хвіст у предків, куприкова кістка людини вже не має (мал. 47.3, 47.4).

Рудименти є у всіх представників виду. Завдяки їм можна дізнатися, який спосіб життя був притаманний предкам. Наявність рудиментів свідчать про те, що живі організми не створені досконаліми, а постійно змінюються. Рудименти є одним із доказів походження людини від тварин.

Ще одним цікавим еволюційним явищем є атавізми. Атавізм походить від латинського слова "atavus", яке перекладається, як «прапрапрадід».

Атавізм — це поява в окремих організмів якогось виду ознак, що були притаманні віддаленим предкам, але втрачені в процесі еволюції. На відміну від рудиментів, які трапляються в усіх представників виду, атавізми спостерігаються нечасто й можуть бути лише в окремих індивідів.

Гени атавістичних ознак зберігаються в генотипах особин виду, але їхня дія заблокована іншими генами. З різних причин, як-от порушення



Мал. 47.4. Куприк хребта людини



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Відомо, що так звані «зуби мудрості» в людини вважаються рудиментарними, тобто вони втратили своє первісне значення. Взагалі-то кожен із чотирьох зубів мудрості — це 8-й зуб у ряду, третій моляр. Знайдіть на малюнку зуби мудрості. Дізнайтеся, чому вони дістали таку назву й завдяки яким еволюційним факторам стали рудиментарними. Які стоматологічні проблеми пов'язані саме із зубами мудрості? Коли ці проблеми виникають і як вони вирішуються?

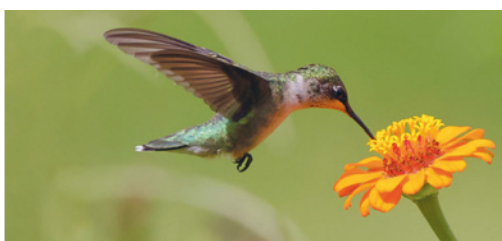


Мал. 47.5. Приклад гіпертрихозу — появи надмірного волосяного покриву в людини



Запитання і завдання

1. У чому різниця між дивергенцією й конвергенцією? Чи мають ці процеси адаптивне значення?
2. Розгляньте світлини. Крила птахів і крила метеликів призначені для польоту й зовнішньо схожі. Дізнайтеся про походження й будову цих органів і порівняйте їх. Зробіть висновки.



3. Розгляньте світлини. На них — колючки чортополоху та колючки терну. Дізнайтеся про походження й будову цих органів і порівняйте їх. Зробіть висновки.



Індивідуальна робота

Пояснить, чим рудименти відрізняються від атавізмів. Наведіть приклад, коли біологічний прогрес досягається завдяки морфофізіологічному регресу. Завдяки яким ідіоадаптаціям ссавці пристосувалися до життя у водному середовищі?



Опорні точки

Біологічний прогрес може досягатися шляхом морфофізіологічного прогресу, ідіоадаптацій і морфофізіологічного регресу.

Дивергенція, конвергенція та паралелізм є шляхами еволюції, які супроводжуються появою аналогічних і гомологічних органів, рудиментів і атавізмів.



rnk.com.ua/
113325

§ 48

Походження і розвиток життя на планеті. Сучасні погляди на первинні етапи еволюції життя. РНК-світ. Еволюція прокаріотів

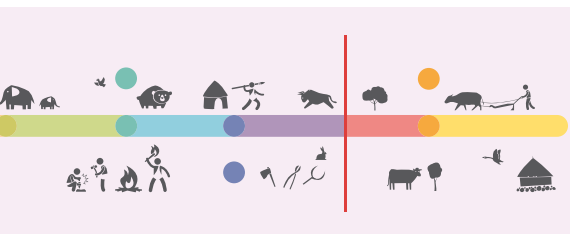


Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Людей завжди цікавило питання походження життя на нашій планеті. Існує багато різних поглядів, пояснень, гіпотез і теорій, у яких людство намагається зрозуміти й пояснити цю таємницю.

Чому це питання залишається актуальним протягом тисячоліть, якщо начебто воно не має безпосереднього практичного значення в нашому щоденному житті?

! **Геохронологічна шкала** — це зображення послідовного ряду етапів геологічної історії Землі та пов'язаної з нею еволюції життя.



Походження і розвиток життя на планеті

Життя на нашій планеті існує вже приблизно 4 млрд років. Його еволюція відбувалася поетапно.

Перший етап — це утворення біосфери. Приблизно 3,5–3,8 млрд років тому на Землі виникло життя й сформувалася первинна біосфера з певним колообігом речовин, у якому брали участь органічні сполуки. Життя існує завдяки складним біогеохімічним циклам.

Другий етап розпочався орієнтовно 3,5 млрд років тому. У цей час виникли різноманітні прокаріоти, структура біосфери ускладнилася. Головними чинниками розвитку життя стали рушійні сили біологічної еволюції, біотичні фактори.

Третій етап розпочався 40–50 тис. років тому, і пов'язаний він з еволюцією людини (антропогенезом). З'явився новий чинник, що змінює біосферу. Це — антропогенний фактор.

Походження і розвиток життя на планеті можна унаочнити на **геохронологічній шкалі** (табл. 14).

Геохронологічна шкала дає змогу датувати вік гірських порід, зіставляти їх із конкретними етапами еволюції життя, вивчати послідовність подій в історії живих організмів. Такою шкалою користуються геологи, палеонтологи, біогеохіміки, еволюційні біологи та інші фахівці й фахівчині, які займаються вивченням історії Землі.

Геологічна історія Землі була поділена на великі інтервали часу: еони, ери, періоди та інші.

Таблиця 14. Геохронологічна шкала історії біосфери

Ера	Період	Початок	Основні події
Архейська		3,5 млрд років тому	Виникли перші прокаріотичні клітини. З'явилися ціанобактерії, виник фотосинтез
Протерозойська		2,5 млрд років тому	Виникли аеробні прокаріоти, з'явилися перші багатоклітинні евкаріоти
Палеозойська	Кембрійський	570 млн років тому	Значно поширилися водорості. З'явилися всі типи безхребетних
	Ордовіцький	480 млн років тому	Розвинулися всі відділи водоростей. Переважали губки, кишковопорожнинні, черви, голкошкірі, трилобіти. З'явилися перші хребетні — безщелепні риби
	Силурійський	420 млн років тому	Рослини вийшли на сушу (риніофіти). З'явилися перші риби й наземні безхребетні (багатоніжки, скорпіони, комахи)
	Девонський	400 млн років тому	Панували риніофіти; з'явилися мохи й папороті, кистепері, дводишні й променепері риби, стегоцефали, скорпіони й комахи
	Кам'яновугільний	330 млн років тому	Густі деревоподібні папороті утворили «кам'яновугільні ліси»; зникли риніофіти, з'явилися насінні папороті. Домінували земноводні, молюски, акули. Розвивалися комахи. З'явилися плазуни
	Пермський	270 млн років тому	Вимерли деревоподібні папороті. З'явилися перші голонасінні. Вимерли стегоцефали й трилобіти. Поширилися наземні хребетні
Мезозойська	Тріасовий	230 млн років тому	Переважали голонасінні рослини, вимерли насінні папороті. Домінували земноводні, головоногі молюски, плазуни. З'явилися кісткові риби, яйцекладні й сумчасті ссавці
	Юрський	180 млн років тому	Панували голонасінні рослини й гігантські плазуни. З'явився археоптерикс. З'явилися перші покритонасінні
	Крейдовий	135 млн років тому	Поширилися покритонасінні, скоротилися папороті й голонасінні. З'явилися плацентарні ссавці й птахи. Вимерли гігантські плазуни
Кайнозойська	Палеогеновий	67 млн років тому	Поширилися покритонасінні, скоротилися папороті й голонасінні. Домінували ссавці, птахи, комахи, костисті риби. З'явилися примати. Зникло багато груп плазунів, головоногих молюсків
	Неогеновий	5 млн років тому	Формувалася сучасна флора й фауна. Виникли людиноподібні примати
	Антропогеновий	2,6 млн років тому	Еволюція людини

Сучасні погляди на первинні етапи еволюції життя. РНК-світ

Сучасні науковці та науковиці розглядають походження життя як процес, що відбувався у два етапи. Перший етап — **абіогенез**, тобто хімічна еволюція.

Другий етап — поява **складних органічних полімерів**, які стали елементами нової біологічної системи — живої клітини.



Експеримент Стенлі Міллера
rnk.com.ua/113481



Робота в парі

Грецьке слово "архаїа" перекладається, як «старі». Архейська ера, або Архей, є найбільш старою, тобто давньою, ерою, у якій починалося життя на Землі. Давньогрецьке слово "протерос" перекладається, як «перший», тобто Протерозой є першою ерою первинного життя. Поясніть, що означають назви таких наступних ер геохронологічної шкали: Палеозой, Мезозой і Кайнозой.



Відкритий мікрофон

Поясніть, чому більшість учених схиляється до гіпотези абіогенезу як найбільш правдоподібної, хоча процес перетворення простих органічних молекул на перші живі організми залишається складним і досі відкритим питанням науки.



Мал. 48.1. Модель можливої структури рибозиму

У сучасній біології абіогенез розглядають як тривалий поетапний процес хімічної еволюції, у ході якого з простих неорганічних сполук утворилися органічні молекули, потім — складніші біополімери й зрештою — перші клітинні форми життя. Наукове уявлення про абіогенез уперше було сформульоване в **гіпотезі абіогенезу Опарина—Холдейна** (1920-ті роки). Згідно із цією гіпотезою, у первинній атмосфері Землі, багатій на водень, метан, амоніак і водяну пару, під дією енергії блискавок, ультрафіолетового випромінювання та високих температур утворювалися прості органічні сполуки. Із часом вони накопичувалися в «первинному бульйоні» океанів, ускладнювалися та формували протоклітинні структури, з яких виникли перші живі організми.

На сьогодні найбільшу кількість експериментальних і теоретичних доказів має **гіпотеза РНК-світу**, згідно з якою саме молекули РНК були першими носіями спадкової інформації та виконували каталітичні функції.

Першими вченими, які 1967 року припустили, що молекула РНК може виконувати ферментативні функції, були американський мікробіолог Карл Воуз, британський молекулярний біолог Френсіс Крік і британський хімік Леслі Орджел. Через двадцять років канадський молекулярний біолог Сідні Альтман і американський молекулярний біолог Томас Чех отримали Нобелівську премію з хімії «за відкриття каталітичних властивостей рибонуклеїнових кислот».

Гіпотеза РНК-світу передбачає, що на ранніх етапах виникнення життя РНК була основною молекулою, яка виконувала дві функції: збереження спадкової інформації (цю функцію в сучасних організмах виконує молекула ДНК) і ферментативну (цю функцію в сучасних організмах виконують молекули білків).

РНК, які можуть виконувати ферментативні функції, дістали назву «рибозими» (мал. 48.1). Рибозими зазвичай є одноланцюговими молекулами РНК, які мають тривимірну структуру. У них є спеціальні ділянки, що дають змогу рибозиму прискорювати хімічні реакції.

Із часом з'явилися білки як ефективніші каталізатори й ДНК як більш стабільний носій спадкової інформації. РНК втратила провідну роль, але збереглася в клітинах як важливий посередник (мРНК, тРНК, рРНК).

Цікаво з'ясувати, де могло виникнути життя на Землі. За однією з гіпотез, життя з'явилося в океані поблизу глибоководних гідротермальних джерел. Постійний приплив енергії, мінералів і хімічних сполук створював сприятливі умови для складних хімічних реакцій.

Інша гіпотеза пов'язує походження життя з поверхнею глини, мінерали яких могли утримувати та впорядковувати прості органічні молекули. Це створювало умови для їхньої взаємодії й поступового ускладнення.

Існує кілька інших гіпотез про походження життя. **Гіпотеза стаціонарного стану** розглядає життя як феномен, який існує вічно і є даністю, до якої поняття «походження» неможливо застосувати. **Гіпотеза панспермії** стверджує, що зародки життя існують у Всесвіті завжди й були занесені на Землю з космосу метеоритами або космічним пилом.

Еволюція прокариотів

Перші клітинні форми життя на Землі з'явилися приблизно **3,8–3,5 млрд років тому**. Вони були простими за будовою й нагадували сучасних прокариотів — організмів, клітини яких не мають оформленого ядра. Найдавніші прокариоти, ймовірно, були **хемотрофами**: вони використовували вуглекислий газ як джерело Карбону, а енергію



Робота в групі

Знайдіть додаткову інформацію й проведіть обговорення гіпотез про походження життя на планеті. З'ясуйте, які аргументи наводять автори / авторки цих гіпотез задля доведення власної думки. Оцініть ці аргументи. Оберіть гіпотези, які, на вашу думку, є досить аргументованими та для вас привабливими. Поясніть, чим гіпотеза відрізняється від теорії.



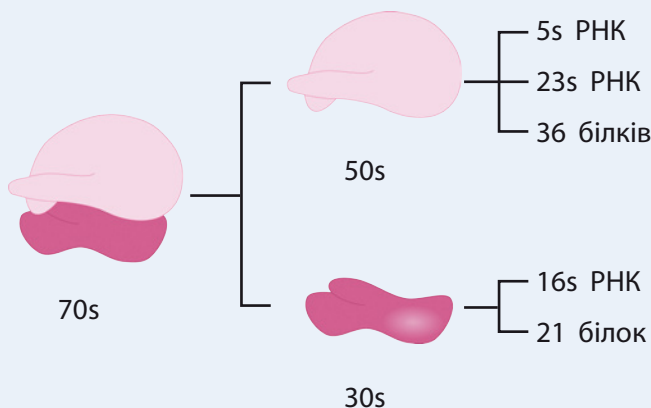
Індивідуальна робота

Розгляньте малюнок. Чи підтверджує хімічний склад рибосоми гіпотезу РНК-світу? Користуючись цим малюнком і додатковою інформацією, поясніть, чим відрізняються рибосоми прокариотів та еукаріотів і що в них є спільного.

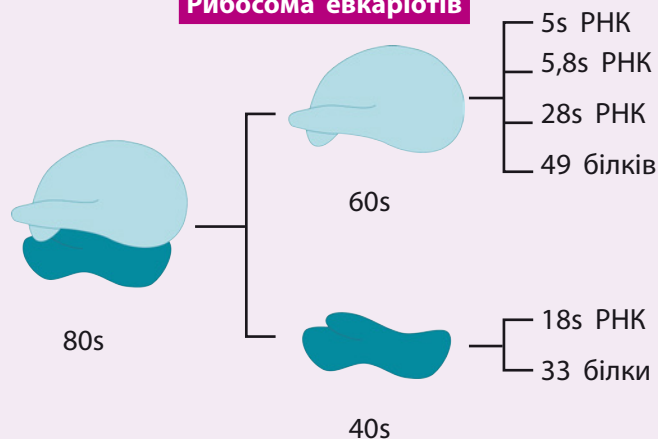
Чому $60s + 40s = 80s$, а $50s + 30s = 70s$?

Дізнайтеся, що таке одиниця седиментації Сведберга — s.

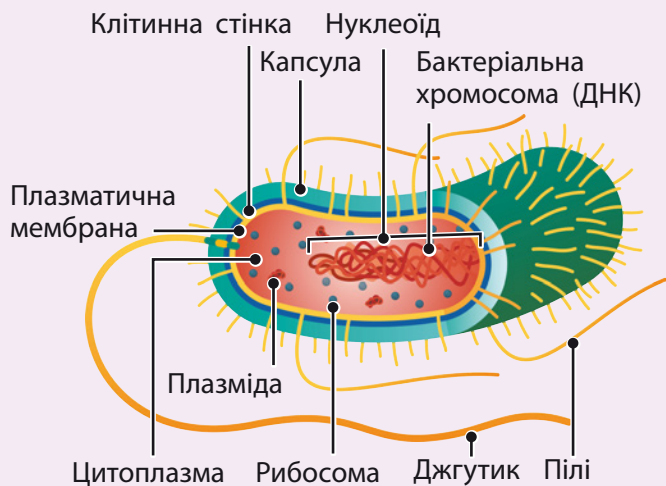
Рибосома прокариотів



Рибосома еукаріотів

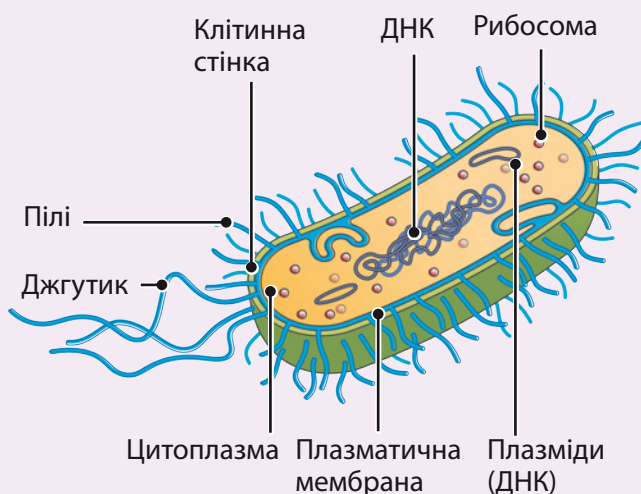


Бактерія



Бактеріальна капсула — це поверхневий захисний шар із полісахаридів, який повністю оточує клітинну стінку багатьох бактерій

Архея



Мал. 48.2. Будова бактерій і архей

Поділіться своїми думками

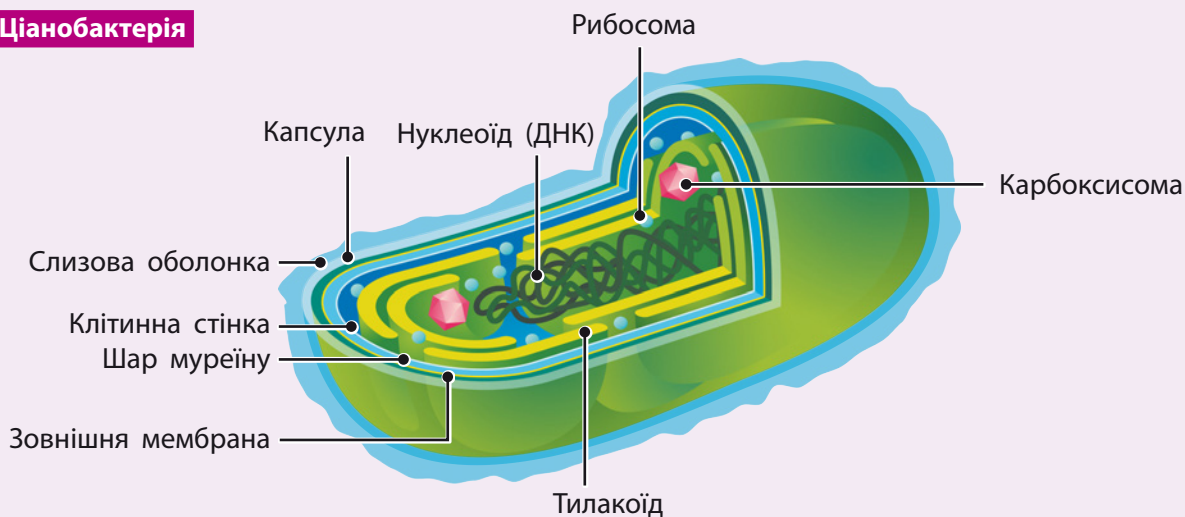
У рибосомі є каталітичний центр, який забезпечує формування пептидного зв'язку між амінокислотами, рРНК в ньому має каталітичну активність. Яке значення цієї наукової інформації для розвитку гіпотези РНК-світу?

отримували внаслідок окиснення неорганічних речовин.

Згодом у прокаріотів сформувався **гетеротрофний тип живлення** — здатність використовувати готові органічні сполуки як джерело енергії. Важливим етапом еволюції стало виникнення **гліколізу** — універсального шляху розщеплення глюкози з утворенням АТФ, що дало змогу ефективніше накопичувати енергію.

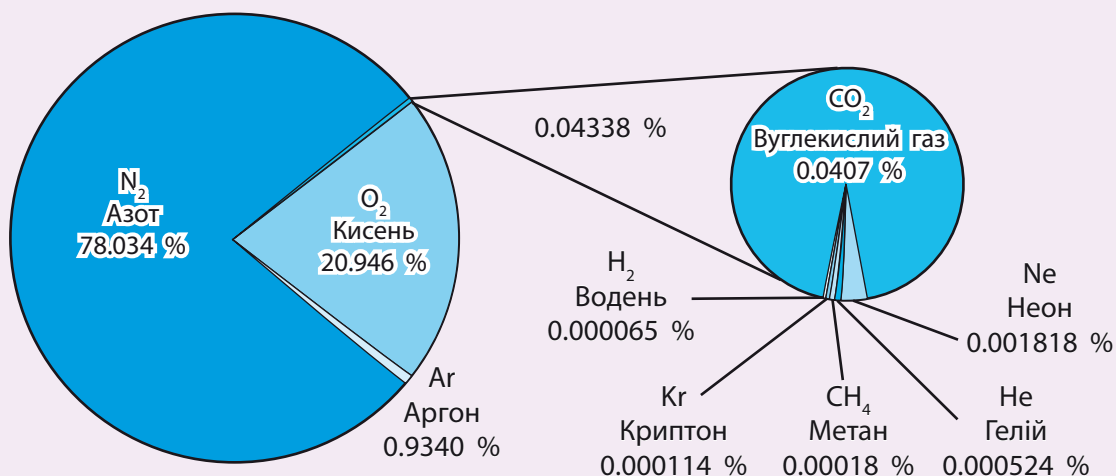
Приблизно **3,5 млрд років тому** прокаріоти вже були досить різноманітними. У цей період

Ціанобактерія



Мал. 48.3. Будова ціанобактерії, яка перейшла на кисневий фотосинтез

Склад за молекулярною кількістю, за винятком водяної пари



Мал. 48.4. Склад атмосфери Землі

відбулося розділення прокаріотів на дві основні гілки: бактерії та археї, які відрізнялися будовою клітинних мембран, ферментних систем і пристосуванням до різних умов середовища (мал. 48.2, 48.3).

Наступним важливим етапом стало виникнення фотосинтезу. Перші фотосинтезувальні прокаріоти використовували сонячну енергію, але їхній фотосинтез був аноксигенним, тобто не супроводжувався виділенням кисню. Приблизно 2,7 млрд років тому з'явилися ціанобактерії, які освоїли оксигенний фотосинтез — процес перетворення світлової енергії на хімічну з виділенням молекулярного кисню.

Поширення ціанобактерій призвело до поступового накопичення кисню в атмосфері Землі (мал. 48.4). Ця подія дістала назву «киснева катастрофа». Зростання концентрації кисню спричинило масове вимирання багатьох анаеробних прокаріотів, для яких кисень був токсичним. Анаеробні організми збереглися лише в середовищах з обмеженим доступом кисню: у ґрунті, донних відкладеннях, кишечнику тварин. Але «киснева катастрофа» водночас відкрила шлях до виникнення енергетично вигідного кисневого метаболізму та аеробного клітинного дихання.

Карбоксисома — білкова структура в клітинах ціанобактерій, яка концентрує ферменти, що беруть участь у фіксації вуглекислого газу.



Відкритий мікрофон

Які наслідки мала так звана «киснева катастрофа»? Чи були вони лише негативними? Аргументуйте.



Опорні точки

Питання походження життя ніколи не втрачало своєї актуальності. Сучасна наука вважає, що Земля утворилася приблизно 4,5 млрд років тому. Живі організми еволюціонували від простих одноклітинних істот до складних багатоклітинних форм. Еволюція прокаріотів тривала мільярди років. Прокаріоти, зокрема ціанобактерії, суттєво вплинули на атмосферу Землі й подальші еволюційні процеси.



Запитання і завдання

1. Які можливості дає вченим геохронологічна шкала? Чому нею користуються представники багатьох різних наук?
2. Назвіть особливості основних етапів еволюції прокаріотів. Чому вона зайняла так багато часу?
3. Чому РНК-світ сьогодні існує лише теоретично?



rnk.com.ua/
113326

§ 49

Еволюція еукаріотів. Еволюція рослин. Еволюція тварин



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Відомо, що прокаріоти розмножуються бінарним поділом і є одноклітинними або утворюють прості колонії. А ось еукаріоти можуть формувати багатоклітинні організми, різноманітність яких на планеті вражає.

Які особливості еукаріотичних клітин дали змогу еукаріотам еволюціонувати саме в такий спосіб і бути такими різноманітними?

Еволюція еукаріотів

Приблизно 2,1–1,8 млрд років тому з'явилися перші еукаріотичні клітини. В еволюції еукаріотів було кілька ключових подій:

- розвиток складної внутрішньої організації (ядро, органели);
- поява мітозу та мейозу;
- виникнення багатоклітинності.

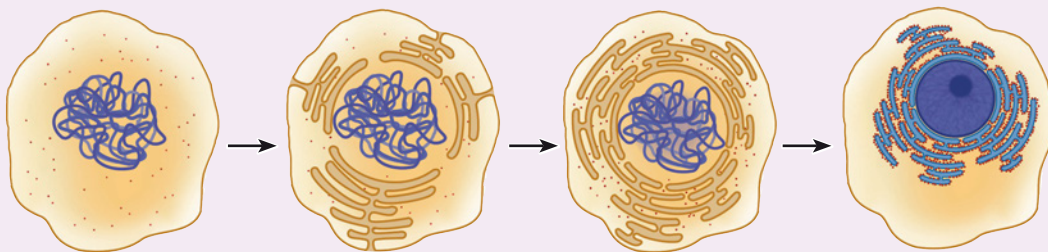
Існує багато поглядів щодо еволюції прокаріотів, яка сприяла виникненню еукаріотичних клітин. Основу для сучасного розуміння походження еукаріотів через симбіоз було закладено роботами американської біологині Лінн Марґуліс (мал. 49.1). Вона запропонувала теорію **ендосимбіогенезу**, за якою аеробні бактерії та ціанобактерії потрапили до еукаріотичних клітин і перетворилися на мітохондрії та хлоропласти.

Перший етап — поява **ядра**. За найпоширенішою гіпотезою, ядро утворилося із внутрішніх вгинань зовнішньої мембрани, що відокремило генетичний матеріал від цитоплазми. Завдяки цьому сформувалася й ендоплазматична сітка (мал. 49.2). Сучасні дослідження пропонують ще одну гіпотезу: **ендосимбіоз архей і бактерій**. Примітивна бактеріальна клітина поглинула архею, яка почала жити всередині господаря, а її мембрани згодом перетворилися на ядерну оболонку.

Виникнення ядра дало змогу точніше регулювати реплікацію і транскрипцію генів та зберігати більше генетичного матеріалу. Щоб правильно розподіляти хромосоми під час поділу, з'явилися процеси **мітозу та мейозу**.



Мал. 49.1. Лінн Марґуліс

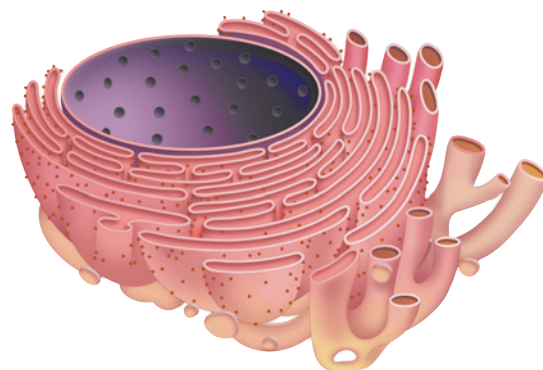


Мал. 49.2. Походження ядра та ендоплазматичної сітки

Другий етап еволюції еукаріотів пов'язаний з ендосимбіозом, за якого спочатку гетеротрофні еукаріоти поглинули аеробних протеобактерій, але не перетравили їх, а залишили як компоненти клітини, що постачають їм енергію у вигляді АТФ. Згодом ці компоненти стали напівавтономними органами, тобто перетворилися на справжні мітохондрії.

Третій етап еволюції еукаріотів охоплював поглинання еукаріотичною клітиною ціанобактерій, які теж не були перетравлені, а залишилися як компоненти клітини, що здійснюють фотосинтез. Згодом ці компоненти стали напівавтономними органами, тобто перетворилися на справжні хлоропласти (мал. 49.3).

Четвертий етап супроводжувався розвитком цитоскелета й появою інших органел, виникненням **багатоклітинності** приблизно 1,2–1 млрд років тому, подальшою дивергенцією еукаріотичних клітин, появою різноманітних груп еукаріотичних організмів (мал. 49.4, с. 242).



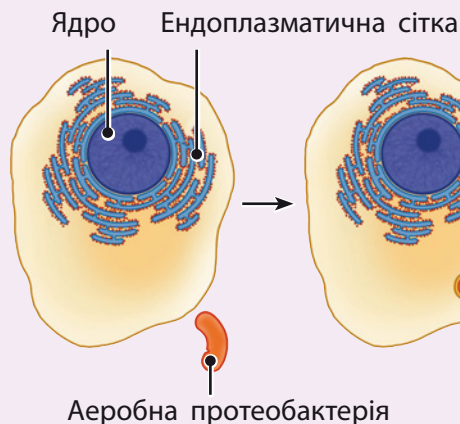
Мал. 49.3. Зв'язок оболонки ядра та ендоплазматичної сітки



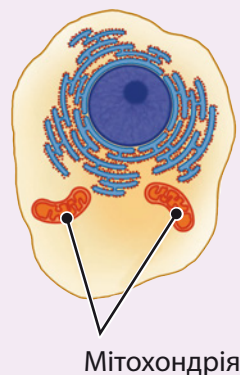
Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

Ви вже знаєте про походження мітохондрій із тексту підручника. Зважаючи на власні знання, підготуйте невелику доповідь про другий етап еволюції еукаріотів. Поясніть, чому саме поява мітохондрій дала змогу еукаріотичним клітинам стати такими складними й різноманітними та сприяла формуванню багатоклітинних організмів.

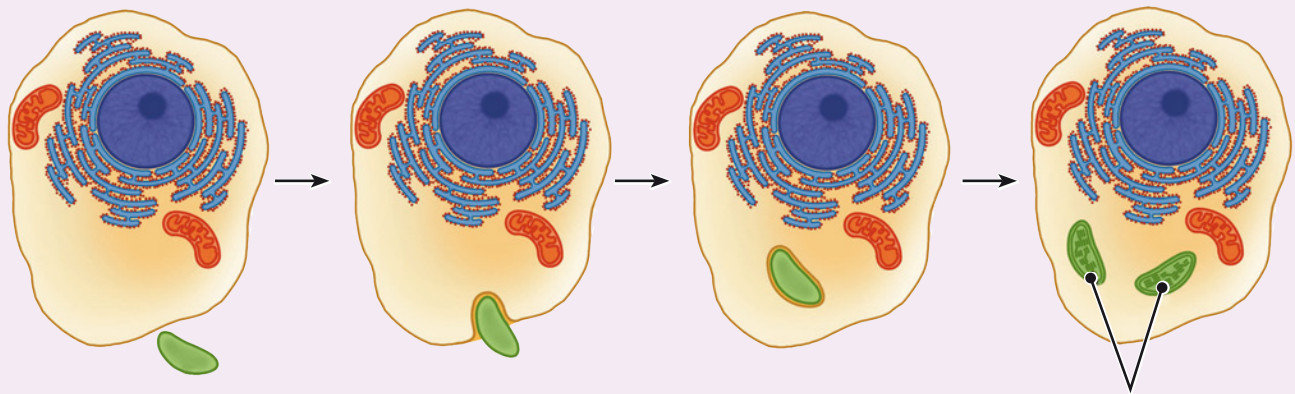
Анаеробна еукаріотична клітина



Ранні аеробні еукаріотичні клітини



Ранні аеробні еукаріотичні клітини



Ціанобактерія (бактерія, здатна до фотосинтезу)

Хлоропласти в еукаріотичній клітині, здатній до фотосинтезу

Мал. 49.4. Походження хлоропластів



Завдання
«Дізнайтеся
більше...»
rnk.com.ua/113496

Еволюція рослин

Перехід водоростей від найпростіших одноклітинних форм до складних багатоклітинних організмів відбувся приблизно 1,6 млрд років тому. Зелені водорості стали тією предковою групою, яка дала початок усім наземним рослинам. Самі ж водорості в процесі еволюції пристосувалися до різних середовищ існування.

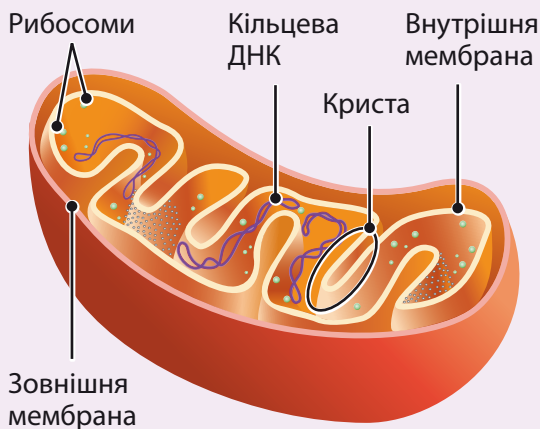
Приблизно 450 млн років тому з'явилися перші наземні рослини — риніофіти, які походили від прісноводних зелених водоростей. Вони не мали розвинених тканин, але адаптувалися до життя на суходолі й мешкали в мілководдях і на берегах водойм. Такий вихід рослин у нову адаптивну зону, тобто з води на суходіл, став можливим завдяки накопиченню кисню в повітрі й утворенню озонового шару, який давав захист від ультрафіолетового випромінювання.



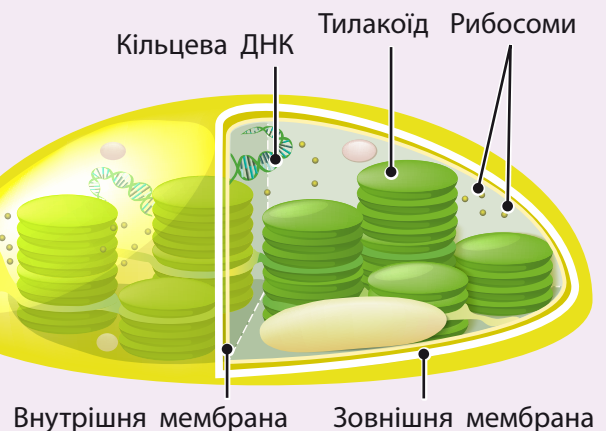
Знайдіть інформацію й виконайте завдання

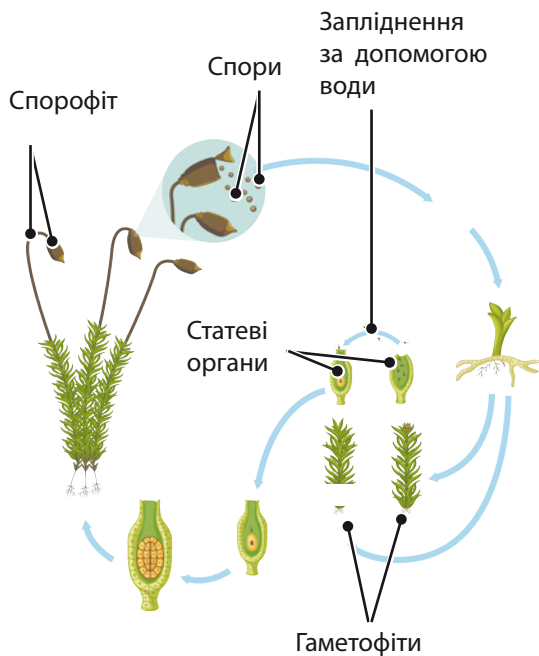
Розгляньте малюнки мітохондрії і хлоропласта. Які цитологічні факти підтверджують симбіотичне походження цих органел?

Мітохондрія

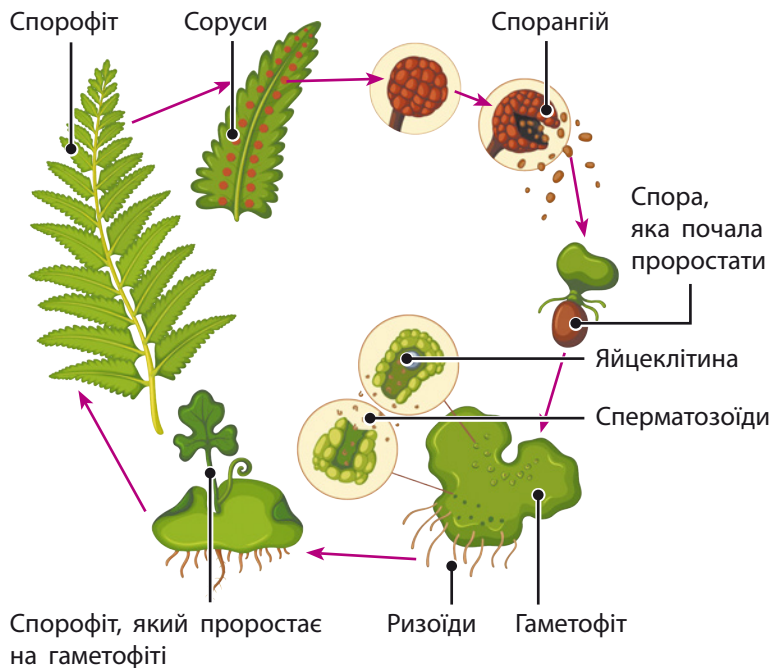


Хлоропласт





Мал. 49.5. Життєвий цикл моху
Політрих звичайний



Мал. 49.6. Життєвий цикл папоротей

Перші наземні рослини з'явилися приблизно 500–470 млн років тому під час ордовіцького періоду. Серед них першими були **мохоподібні** рослини. Вони не мали судинної системи, тому їхній ріст обмежувався невеликими розмірами. Їхня еволюція полягала в розвитку примітивних тканин і органів, появи статевого й нестатевих поколінь, розмноженню за допомогою спор (мал. 49.5).

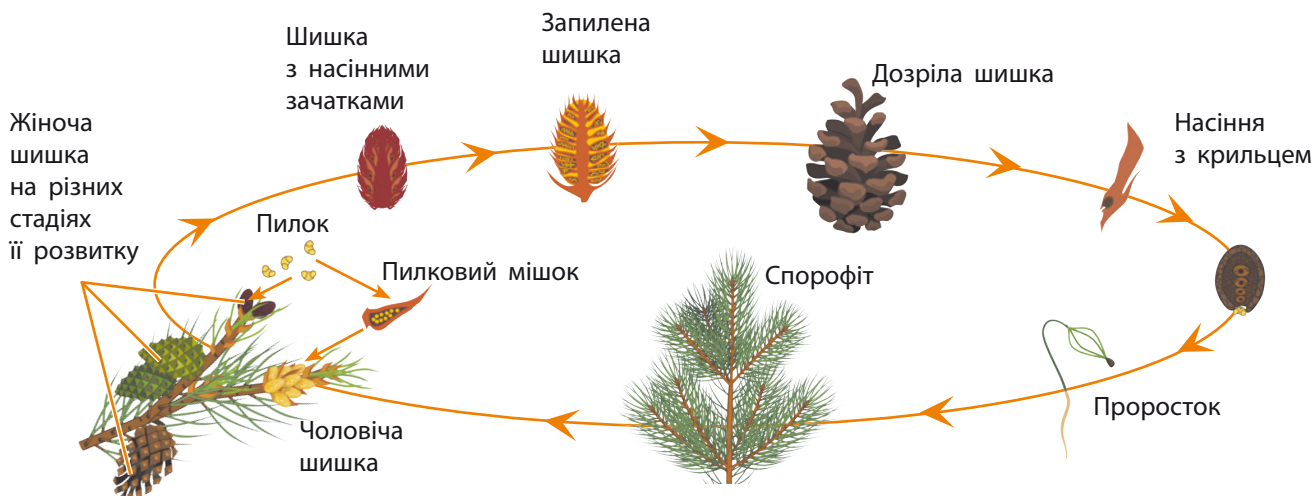
Приблизно 430–400 млн років тому, наприкінці девонського і початку силурійського періоду, з'явилися перші судинні рослини, які мали спеціалізовані тканини: ксилему та флоему. Саме тоді в рослин виникли органи: коріння, стебла й листя. Це дало змогу збільшувати розмір тіла й колонізувати нові екосистеми на суші.

У карбоні та пермі (приблизно 360–250 млн років тому) відбувся розквіт папоротеподібних і плауноподібних рослин (мал. 49.6, 49.7). Вони формували великі лісові масиви та накопичували органічні залишки, які згодом утворили вугілля.

Оскільки запліднення в спорових рослин залежить від води, то зміни клімату призводили до того, що за відсутності води вони не виживали. Природний добір сприяв тим формам рослин, у яких запліднення не залежало від води. Так з'явилися насінні рослини.



Мал. 49.7. Найбільш схожим на перші наземні рослини є сучасний вид рослин — *Psilotum nudum*, можливий нащадок тих рослин, які були поширені під час девонських і силурійських періодів. У назві *Psilotum nudum* латинське слово *nudum* означає «голий», бо рослина має голі пагони без листків і бруньок



Мал. 49.8. Розмноження сосни

■ **Довідка.** Риніофіти (*Rhyniophyta*), або псилофіти (*Psilophyta*), — викопна базальна група судинних рослин. Уважаються подібними до роду *Rhynia*, що існував у ранньому девоні (приблизно 420–393 млн років тому). Джерела різняться в ранзі цієї групи: деякі відносять її до класу *Rhyniopsida*, інші — до підкласу *Rhyniophytina* або відділу *Rhyniophyta*.

Насіння є унікальним винаходом природи, воно містить зародок, запас поживних речовин і захисні оболонки, що дає йому змогу пережити несприятливі умови та прорости, коли ці умови стають оптимальними. Поява пилку допомогла насінним рослинам здійснювати запліднення незалежно від наявності води.

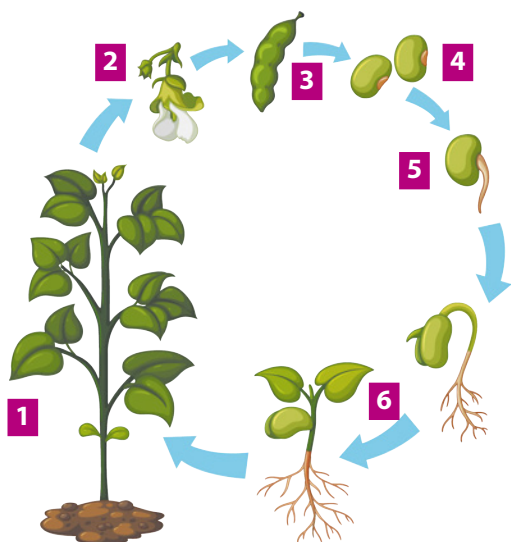
Перші насінні рослини, зокрема голонасінні, з'явилися приблизно 360–350 млн років тому (мал. 49.8). Орієнтовно 140–130 млн років тому з'являються покритонасінні рослини, які мають квітку та плід (мал. 49.9). Квітка забезпечує ефективне запилення, а плід — розповсюдження насіння за допомогою вітру, води або тварин. Покритонасінні швидко стали домінувати в більшості екосистем завдяки високій швидкості розмноження, різноманітності форм і здатності до симбіозу з комахами та іншими тваринами.

Таким чином, еволюція рослин відбувалася через поступовий розвиток структур і механізмів, які забезпечували ефективне живлення, розмноження та колонізацію суші.

Еволюція тварин

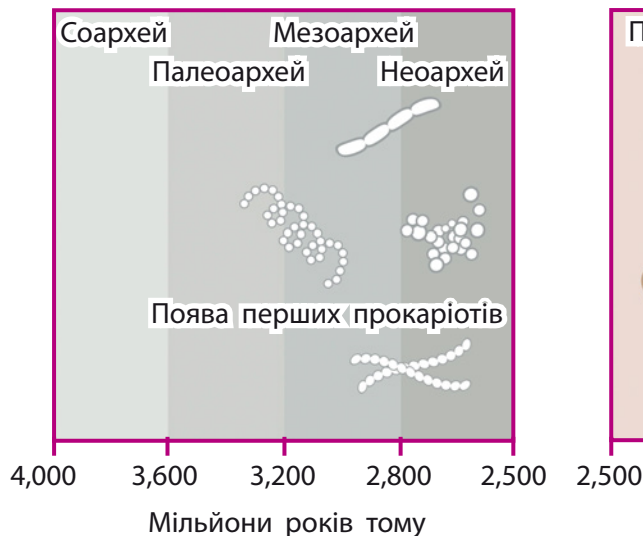
Уміст вільного кисню в атмосфері приблизно 1,2 млрд років тому досяг тієї кількості, яка зумовила можливість появи організмів, що використовують кисень для дихання, зокрема, близько мільярда років тому з'явилися перші тварини (табл. 15, с. 246).

Найдавніші тварини еволюціонували від тих еукаріотичних організмів, які існували понад 600 млн років тому. Вони були дуже простими за

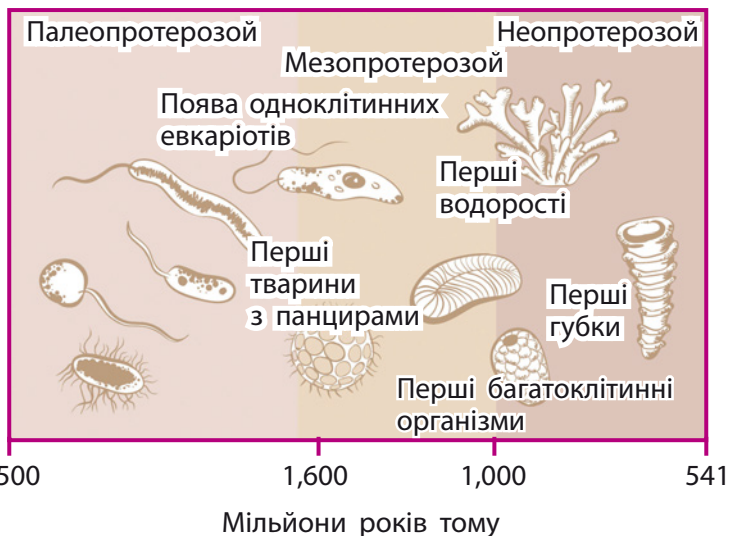


Мал. 49.9. Життєвий цикл квасолі:
1 — спорофіт; 2 — квітка; 3 — плід;
4 — насіння; 5–6 — проросток

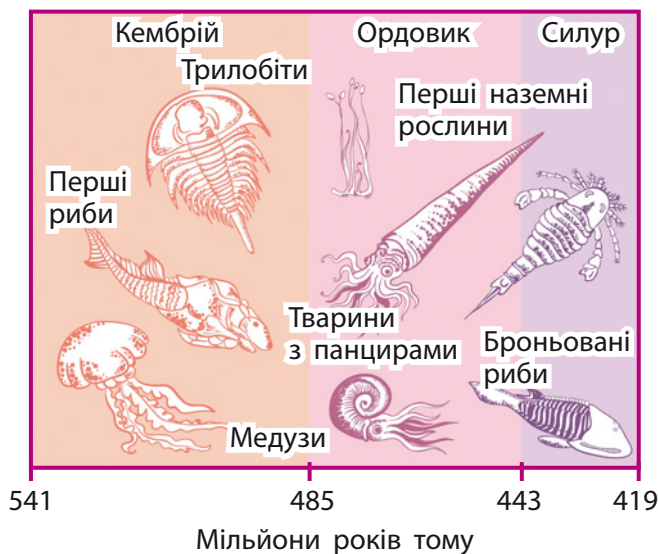
Архейська ера (Архей): періоди



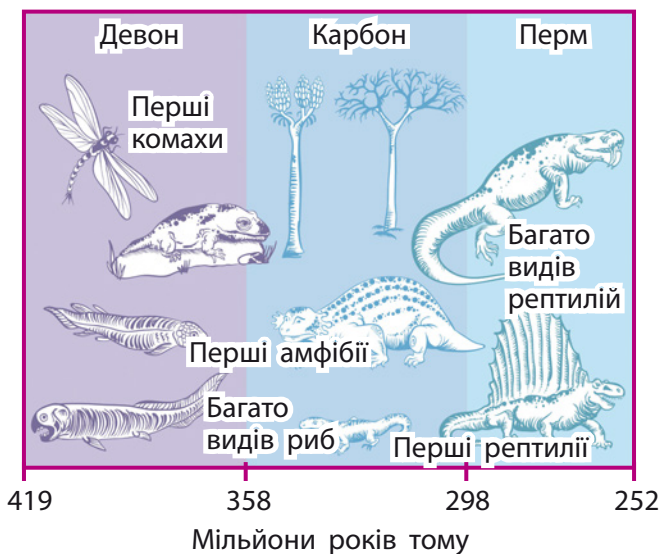
Протерозойська ера (Протерозой): періоди



Палеозойська ера (Ранній Палеозой)



Палеозойська ера (Пізній Палеозой)



своєю будовою і не схожими на сучасних тварин, рослин і грибів. Організми цієї групи не мають загальних характеристик, окрім тієї, що всі вони не містять спеціалізованих тканин.

Якщо ви хочете уявити, якими були найдавніші тварини, то розгляньте реброплавців. Вони справді схожі на медуз, але, на відміну від представників жалких, не мають жалких клітин.

У гребінчастих медуз проста дифузна нервова система, і рухаються вони у воді за допомогою восьми рядів війок, які дістали назву «гребінчасті ряди». Більшість із них є хижаками, що



Завдання щодо аналізу причин масових вимирань на планеті Земля
rnk.com.ua/113497

Таблиця 15. Еволюція тварин

Палеозой	Перші багатоклітинні тварини з'явилися приблизно 600–580 млн років тому в пізньому кембрії . Це були прості безхребетні організми, схожі на сучасних губок і медуз
	Перший значний етап еволюції тварин пов'язаний із кембрійським вибухом (≈541–485 млн років тому, кембрійський період). У цей час з'являються майже всі основні типи безхребетних: членистоногі, черви, молюски та перші хордові. Ключовими подіями цього періоду були поява симетрії тіла, тканин і органів, а також скелетів, що дало змогу організмам захищатися й рухатися активніше
	Протягом ордовика і силуру (485–419 млн років тому) тварини починають освоювати нові середовища. В океанах з'являються перші хребетні , зокрема, щелепні риби , що мали скелет і щелепи, які забезпечили активне живлення
	У девоні (419–359 млн років тому) відбувається освоєння суші: з'являються перші амфібії , що виникли від риб, здатних дихати атмосферним повітрям. Основні події цього етапу: легеневі дихальні органи, кінцівки для пересування сушею, шкіра, що зменшує випаровування води
	У карбоні й пермі (359–252 млн років тому) розвиваються рептилії , які адаптувалися до повністю наземного способу життя завдяки появі амніотичного яйця й роговому покриву шкіри. У цей час формуються великі лісові екосистеми, де панують плазуни та комахи
Мезозой	У тріасовому періоді (≈252–201 млн років тому) починається еволюція ссавців . У них з'являються теплокровність, волосяний покрив, диференціація зубів, внутрішнє запліднення й турбота про потомство
	У юрському та крейдовому періодах (≈201–66 млн років тому) відбувається розквіт динозаврів і виникнення птахів . Важливими еволюційними надбаннями птахів стали поява пір'я, крила, легені з повітряними мішками та теплокровність
Кайнозой	У кайнозойську еру (≈66 млн років тому й до сьогодні) ссавці й птахи розвиваються як домінуючі групи наземних тварин. З'являються примати, предки людини та сучасна фауна



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Розгляньте світлини. Дізнайтеся більше про реброплавів і губок. Чим вони нагадують найдавніших тварин? Що в них спільного? Чим вони відрізняються? Які еволюційні переваги мають ці тварини порівняно з попередніми формами, від яких вони походили? Підготуйте про це коротку доповідь.

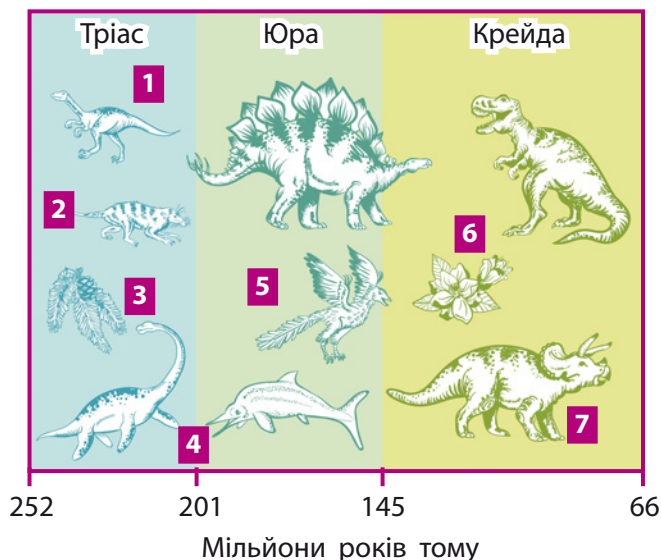


Гребінчаста медуза



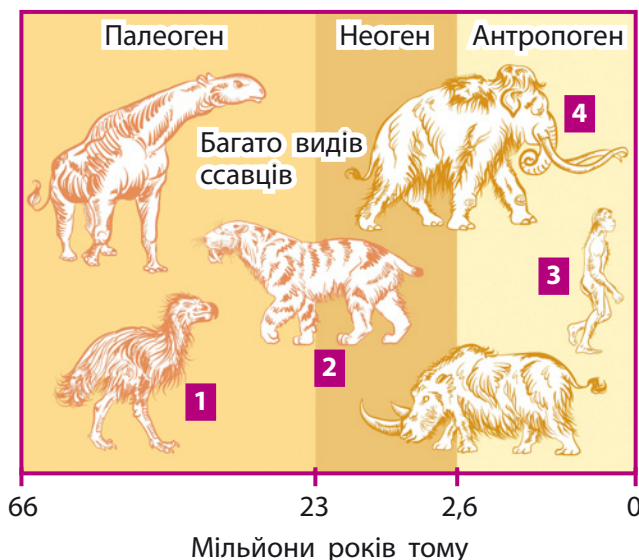
Сучасні губки

Мезозойська ера (Мезозой)



- 1 — Перші динозаври; 2 — Перші ссавці;
 3 — Голонасінні рослини; 4 — Морські рептилії;
 5 — Перші птахи; 6 — Багато видів динозаврів;
 7 — Квіткові рослини

Кайнозойська ера (Кайнозой)



- 1 — Гасторніс (*Gastornis*) — рід вимерлих великих нелітаючих птахів; 2 — Смілодон (*Smilodon*) — викопний рід хижих ссавців із родини Котових; 3 — Людина; 4 — Мамонт

харчуються дрібними мешканцями планктону, ікром та мальками риб, використовуючи для полювання клейкі клітини.

Інші тварин, схожі на тих, що були найдавнішими, є губки. Губки відрізняються найпростішою будовою, наявністю спеціалізованих клітин, які виконують різні функції, відсутністю справжніх тканин і фільтраційним способом живлення. Губки вражають тривалістю життя, яка може сягати кілька тисяч років.



Рослини давніх лісів
rnk.com.ua/113499



Запитання і завдання

- Дізнайтеся більше про дивовижних тварин, що пережили всі п'ять основних масових вимирань. Поясніть, чому саме вони змогли це зробити.
- Здійсніть прогулянку лісом кам'яновугільного та пермського періодів (див. малюнок під QR-кодом про рослини давніх лісів)! Перекладіть назви рослин, зображених на малюнку. Дізнайтеся більше про якусь із них, яка вам найбільше сподобалася. Розкажіть про неї однокласникам / однокласницям. Зробіть висновки щодо ролі цього лісу в еволюції планети.



Опорні точки

Евкаріоти еволюціонували від одноклітинних прокаріотичних предків завдяки процесам ендосимбіозу, формування мембранних і немембранних органел. Подальшими етапами еволюції евкаріотів було виникнення багатоклітинності, утворення тканин і органів, вихід на суходіл, формування сучасного біорізноманіття.



rnk.com.ua/
113327

§ 50

Еволюція людини (антропогенез). Вітчизняні вчені, які зробили вагомий внесок у розвиток еволюційної біології



Поміркуйте й обговоріть ситуацію

Найвідоміший шведський науковець-натураліст Карл Лінней у своїй праці *Systema Naturae* (1758), тобто класифікації, зарахував людину до приматів і назвав її *Homo sapiens* (Людина розумна). До роду *Homo* Карл Лінней відносив два види: Людина розумна (*Homo sapiens*) і Людина печерна (*Homo troglodytes*). Лінней описав *Homo troglodytes* як людиноподібну двоногу істоту, яка веде нічний спосіб життя, має густий волосяний покрив і позбавлена людської мови. Цей опис базувався на давніх текстах, а також на звітах голландських мандрівників XVII століття.

Як ви вважаєте, чи могла існувати така істота? Що знає сучасна наука про ті види, які були близькими за анатомо-фізіологічними й поведінковими характеристиками до людини?

Вимерлі гомініди

Палеоантропологи виявили скам'янілості понад 20 вимерлих видів, які більш тісно пов'язані з людьми, ніж із шимпанзе. Ці види відомі, як гомініди. Наприкінці минулого століття було знайдено скам'янілості чотирьох видів гомінідів, які існували понад 4 млн років тому (схема 51). Хоча ранні гомініди виявляли ознаки біпедії, їхній мозок залишався приблизно 300–450 см³ в об'ємі. У *Homo sapiens* цей показник 1300 см³.

Важливо уникати двох поширених помилкових уявлень про ранніх гомінідів. **По-перше**, не треба вважати, що вони — майже як шимпанзе або ті, хто еволюціонував від шимпанзе. Шимпанзе — це вершина окремої гілки еволюції, вони набули власних похідних ознак уже після того, як відійшли від спільного предка з людьми. **По-друге**, не треба уявляти еволюцію людини як сходи, що ведуть безпосередньо від предкової мавпи до *Homo sapiens*. У процесі еволюції багато груп відокремлюються й мандрують різними еволюційними шляхами.

Колись кілька видів гомінідів співіснували разом. Вони відрізнялися формою черепа, розміром тіла та раціоном харчування, про що свідчить будова їхніх зубів. Зрештою, усі, крім однієї лінії — тієї, що дала початок *Homo sapiens*, вимерли. Фактично, *Homo sapiens* постає не як кінцевий результат прямого еволюційного шляху, а як єдиний вид, що вижив, як одна гілочка дуже розгалуженого еволюційного дерева.

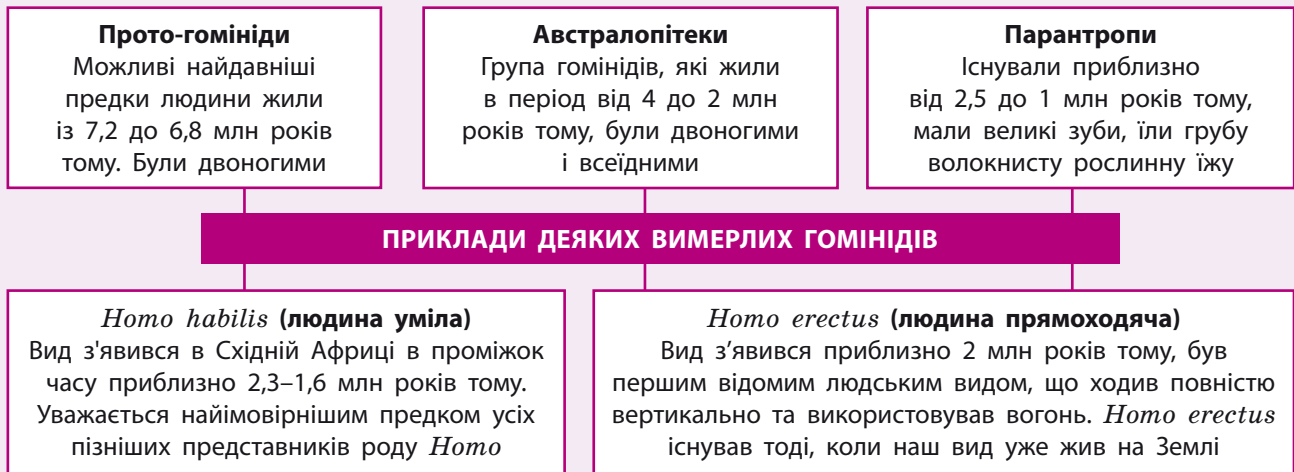


Схема 51. Приклади деяких вимерлих гомінідів

Від мавп людей відрізняє біпедія, великий і складний мозок, який забезпечує здатність до мовлення, логічного мислення та ін. Є й інші відмінності, які стосуються опорно-рухового апарату, травної й дихальної системи тощо. На молекулярному рівні геноми людини та шимпанзе ідентичні на 99 % відсотків. Але різниця в 1 % представлена 3 млрд пар нуклеотидів. Зміни в цих послідовностях мають значний вплив. Так, наприклад, люди та шимпанзе відрізняються експресією 19 регуляторних генів, які керують багатьма іншими генами. Тому відмінності між людьми та шимпанзе є значними й суттєвими.

Антропогенез — це процес походження людини та її подальшого біологічного, психологічного та соціокультурного розвитку від давніх людиноподібних мавп до сучасної людини.



Знайдіть інформацію й виконайте завдання

Розгляньте світлини, на яких зображені деякі сучасні примати. Дізнайтеся про них більше: де вони мешкають, як спілкуються, виховують потомство, за якими ознаками схожі на людей. Зробіть висновок у вигляді зразка інфографіки. Презентуйте свій результат у класі.



Кільцехвостий лемур — лемур катта, ендемік Мадагаскару



Tarsius pectumgurskyae — вид довгоп'ят, що мешкає на острові Сулавесі в Індонезії



Центральноамериканські білячі мавпи



Завдання

Порівняйте обличчя шимпанзе на світлинах з обличчями людей. Чим вони схожі? Чим відрізняються? Зробіть висновки.



Проект «Інтелект як універсальний засіб адаптації та його роль в еволюції людини»

Проект «Антропогенез: етапи, закономірності та різноманіття вимерлих видів роду *Номо*»



Пошук, оцінювання, систематизація та презентація інформації

Процеси адаптації людини до прямоходіння (біпедії).



Відкритий мікрофон

Користуючись схемою 52, розкажіть про ключові аспекти антропогенезу.

Схема 52. Аспекти антропогенезу

ФАКТОРИ АНТРОПОГЕНЕЗУ

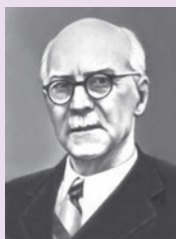
Біологічні фактори

- Спадкова мінливість (мутаційна і комбінативна). Природний добір. Ізоляція
- Внутрішньовидова та міжвидова боротьба за існування
- Популяційні хвилі (періодичні зміни чисельності популяції)
- Дрейф генів (випадкові коливання частоти генів, особливо значущі в невеликих популяціях)

Соціальні фактори

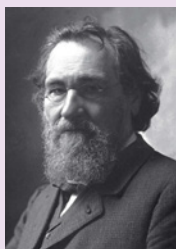
- Суспільний спосіб життя (об'єднання в групи, співпраця, спільний захист від небезпек тощо)
- Трудова діяльність (виготовлення знарядь праці тощо)
- Друга сигнальна система — мова (ефективний спосіб комунікації)
- Свідомість, абстрактне мислення, здатність до навчання
- Соціальне успадкування й соціалізація (виховання, передавання знань, культури та соціальних норм від одного покоління до іншого)

Вітчизняні вчені, які зробили вагомий внесок у розвиток еволюційної біології



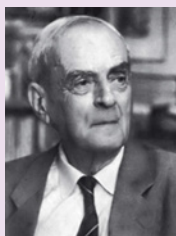
Іван Іванович Шмальгаузен
(1884–1963)

Роботи І. І. Шмальгаузена з теорії еволюції увійшли до «золотого фонду» вітчизняної та світової науки. Він написав понад 200 наукових праць з еволюційної морфології, ембріології, філогенії тварин і теорії еволюції. Уже в студентські роки Іван Шмальгаузен провів дослідження з порівняльної анатомії, які були дуже важливими для розуміння еволюційних процесів. Із часом він став визнаним лідером еволюційних морфологів і ембріологів. Праця вченого «Фактори еволюції» стала цінним внеском не лише в теорію еволюції, а й у нову галузь знань — еволюційну генетику



Ілля Ілліч Мечников
(1845–1916)

Ілля Ілліч Мечников — усесвітньо відомий учений-біолог, народжений в Україні. Свого часу він навчався на природничому відділенні Харківського університету. І. Мечников є одним із засновників еволюційної ембріології, імунології та мікробіології. Він разом з Олександром Ковалевським започаткував порівняльну ембріологію та розробив теорію зародкових листків, яка пояснює формування тканин і органів багатоклітинних тварин з ектодерми, ентодерми й мезодерми



Сергій Михайлович Гершензон
(1906–1998)

Сергій Михайлович Гершензон — український генетик, академік Національної академії наук України, видатний учений зі світовим ім'ям у галузі молекулярної біології та молекулярної генетики, один із засновників Інституту молекулярної біології і генетики НАН України та перший його керівник. Він — лауреат двох Державних премій України: за монографію «Основи сучасної генетики» та за цикл наукових робіт «Мутагенна дія нуклеїнових кислот і вірусів»



Запитання і завдання

1. Як біологічні фактори еволюції людини взаємодіяли із соціальними факторами?
2. Чому визначення чітких меж і етапів еволюції людини є для вчених-еволюціоністів складним завданням?
3. Розгляньте світлини. Чому гіпотеза «водяної мавпи», за якої еволюція людини охоплює значний водний етап розвитку, не є загальноприйнятою в науковій спільноті?



Опорні точки

Антропогенез — це процес еволюційного становлення виду *Homo sapiens*. Він характеризується біологічними, психічними й соціальними змінами, які відбувалися в часі. Важливими етапами антропогенезу є перехід до біпедії, вивільнення верхніх кінцівок для трудової діяльності, збільшення головного мозку й ускладнення нервової системи.



А

Антропогенез — процес походження людини та її подальшого біологічного, психологічного та соціокультурного розвитку від давніх людиноподібних мавп до сучасної людини.

Б

Біологічна систематика — розділ біології, який вивчає різноманіття організмів, установлює їхню спорідненість і створює наукову класифікацію.

Біом — велика природна зона Землі, що об'єднує численні екосистеми та біоценози, подібні за кліматичними умовами, типами рослинності й тваринним світом.

Біосфера — оболонка Землі, що охоплює всі живі організми планети й усі середовища їхнього існування. Біосфера разом із літосферою, гідросферою й атмосферою формує чотири основні оболонки Землі.

Біотехнологія — наука і практика, що використовують живі організми, їхні клітини, ферменти або продукти життєдіяльності для отримання корисних для людини речовин і процесів.

Біотоп — ділянка середовища з однаковими абіотичними умовами (ґрунт, вологість, освітлення тощо), у якій мешкає певне угруповання організмів (біоценоз).

Біоценоз — сукупність різних видів живих організмів, які мешкають на певній території та взаємодіють між собою.

В

Варіаційна крива — графічне зображення варіаційного ряду, яке ілюструє межі модифікаційної мінливості та частоту зустрічальності окремих варіантів.

Варіаційний ряд — послідовність кількісних показників виявів станів певної ознаки, розташованих у порядку їхнього зростання або зменшення.

Г

Ген — ділянка молекули ДНК, яка несе інформацію про певну ознаку або властивість організму.

Генеалогічний метод — метод вивчення родоходів організмів, який дає змогу простежити характер успадкування різних станів певних ознак у ряді поколінь.

Генетична інженерія — напрям біотехнології, який займається штучним перенесенням, зміною або створенням генів із метою отримання організмів із новими властивостями.

Геном — повний набір генетичної інформації організму (виду).

Генотип — сукупність генів певної особини або певної клітини.

Генофонд — сукупність усіх генних варіацій (алелей) певної популяції.

Геохронологічна шкала — зображення послідовного ряду етапів геологічної історії Землі та пов'язаної з нею еволюції життя.

Гібридизація — схрещування різних організмів (сортів, порід чи навіть близьких видів) із метою поєднання їхніх корисних ознак у нащадках.

Д

Дивергенція — розходження ознак і властивостей у споріднених груп організмів унаслідок пристосування до різних умов середовища.

Дифузія — переміщення речовин із зони з високою концентрацією в зону з низькою концентрацією.

Домен — таксон найвищого рангу, який охоплює кілька царств живих організмів.

Е

Еволюційна біологія — наука, що вивчає закономірності й причини розвитку живої природи та зміни видів упродовж історії Землі.

Елонгація — нарощування поліпептидного ланцюга.

Екологічна ніша — сукупність умов існування виду та його роль в екосистемі.

Екосистема — сукупність живих організмів і середовища їхнього існування, які взаємодіють між собою, обмінюючись речовинами та енергією.

І

Ініціація — початок синтезу поліпептидного ланцюга.

К

Каріотип — сукупність характеристик хромосомного комплексу: кількість хромосом, їхні розміри, форма, диференційне забарвлення, склад генів.

Каталізатор — хімічна речовина, яка прискорює хімічну реакцію, водночас залишаючись незмінною.

Клітина — найменша структурна та функціональна одиниця живого.

Клітинна інженерія — напрям біотехнології, який працює з окремими клітинами, тканинами або їхніми частинами для створення нових організмів, вирощування тканин або отримання корисних продуктів.

Конвергенція — незалежний розвиток схожих ознак в організмів, далеких одна від одної систематичних груп, які пристосовуються до однакових умов.

М

Мейоз — спосіб поділу клітин, у результаті якого відбувається редукція (зменшення) кількості хромосом удвічі й перехід клітин із диплоїдного стану ($2n$) в гаплоїдний (n).

Метаболізм — сукупність процесів перетворення речовин і енергії в живих організмах.

Мікробіом — сукупність усіх мікроорганізмів та їхніх генів у певному середовищі.

Мітоз — період поділу еукаріотичної клітини.

Мутації — рідкісні випадкові й неспрямовані зміни генетичного матеріалу на різних рівнях його організації.

Н

Неповне домінування — такий тип взаємодії алельних генів, за якого вияв домінантного алеля більшою або меншою мірою послаблює вияв рецесивної алелі, тому гетерозигота за фенотипом відрізняється від домінантної гомозиготи.

Нуклеїнові кислоти — речовини, макромолекули яких складаються з великої кількості взаємопов'язаних нуклеотидів.

О

Осмоз — дифузія розчинника крізь напівпроникну мембрану в більш концентрований розчин.

П

Повне домінування — усі варіанти взаємодії алельних генів, за яких у гетерозиготі спостерігається лише вияв домінантної ознаки.

Популяція — сукупність особин одного виду, що займає протягом низки поколінь певну територію (ареал), вільно схрещується між

собою, дає плодюче потомство та є відносно ізольованою від інших груп того самого виду.

Природний добір — виживання та переважне розмноження організмів, які є найбільш пристосованими до умов середовища.

Р

Реплікація — процес матричного синтезу молекул ДНК на матриці — молекулі ДНК за принципом комплементарності нітрогенових основ.

С

Селекція — наука і практика створення нових та вдосконалення наявних порід тварин, сортів рослин і штамів мікроорганізмів.

Симбіоз — взаємодія та співіснування різних біологічних видів в екосистемі.

Сукцесія — закономірна зміна одних біоценозів на інші.

Т

Термінація — припинення синтезу поліпептидного ланцюга.

Транскрипція — процес синтезу всіх типів РНК, що відбувається в ядрі на матриці ДНК за принципом комплементарності нітрогенових основ.

Трансляція, або біосинтез білка, — етап, під час якого за інформацією, що міститься в мРНК, синтезується поліпептидний ланцюг молекули білка.

Ф

Ферменти (ензими) — спеціальні білки, що прискорюють хімічні реакції.

Х

Хроматиди — дві копії однієї молекули ДНК, які після реплікації, тобто подвоєння, ДНК залишаються разом.

Ш

Штучний добір — процес, коли людина цілеспрямовано відбирає організми з потрібними властивостями та розмножує їх, вибраковуючи менш придатних.



Список
використаних
джерел
rnk.com.ua/114143

Передмова.....	3
----------------	---

ТЕМА 1. ВСТУП. БІОЛОГІЯ ЯК ПРИРОДНИЧА НАУКА. ОСНОВНІ ГАЛУЗІ БІОЛОГІЇ ТА ЇЇ МІСЦЕ З-ПОМІЖ ІНШИХ НАУК

§ 1. Основні галузі біології та її місце з-поміж інших наук. Рівні організації біологічних систем. Роль біології в житті людства	4
§ 2. Наукове дослідження як метод пізнання природи. Форми представлення даних	9

МОДУЛЬ А. ТЕМА 2. БІОХІМІЯ ЖИТТЯ

§ 3. Хімічні основи життя.....	16
§ 4. Структура та біологічна роль ліпідів	21
§ 5. Структура та біологічні функції вуглеводів.....	26
§ 6. Структура та біологічні функції білків	32
§ 7. Властивості та принцип роботи ферментів.....	37
§ 8. Структура та біологічні функції нуклеїнових кислот	42
§ 9. Практичне значення біологічних макромолекул.....	47

ТЕМА 3. КЛІТИННА БУДОВА — ФУНДАМЕНТАЛЬНА ВЛАСТИВІСТЬ ЖИВОГО

§ 10. Клітина — елементарна структурно-функціональна одиниця живого. Клітинна теорія	51
§ 11. Методи дослідження клітин. Наука цитологія.....	55
§ 12. Будова та функції немембранних компонентів клітин (цитоплазма, цитоскелет, клітинний центр, веретено поділу). Органели руху клітин	59
§ 13. Будова й функції клітинних мембран. Плазматична мембрана. Надмембранні структури (клітинна стінка, глікокалікс).....	65
§ 14. Транспорт речовин крізь клітинну мембрану.....	69
§ 15. Будова й функції ядра та одномембранних органел (ендоплазматична сітка, апарат Гольджі, лізосоми). Транспорт і виділення	73
§ 16. Осмос. Плазмоліз і деплазмоліз. Вакуолі	78
§ 17. Будова й функції двомембранних органел (мітохондрії та пластиди).....	83
§ 18. Прокаріоти й еукаріоти. Порівняння рослинної і тваринної клітин	88
§ 19. Обмін речовин. Типи живлення. Клітинне дихання в мітохондріях. Фотосинтез у хлоропластах	93

МОДУЛЬ В. ТЕМА 4. СПАДКОВІСТЬ І МІНЛИВІСТЬ

§ 20. Генетика — наука, яка вивчає спадковість і мінливість	98
§ 21. Метод гібридологічного аналізу. Закони Менделя	101
§ 22. Молекулярна генетика. Подвоєння ДНК. Генетичний код. Сучасне визначення понять «ген», «генотип», «генофонд».....	109
§ 23. Типи РНК. Синтез білка.....	114
§ 24. Цитогенетика. Будова хромосом. Гомологічні й негомологічні хромосоми. Каріотип.....	119
§ 25. Життєвий цикл клітин. Поділ клітин еукаріотів. Мітоз.....	124

§ 26. Мейоз. Гаплоїдні та диплоїдні клітини. Порівняння процесів мітозу та мейозу.....	127
§ 27. Успадкування, зчеплене зі статтю. Взаємодія генів. Хромосомна теорія спадковості	130
§ 28. Форми мінливості.....	135
§ 29. Генетика людини	142
§ 30. Віруси	147

ТЕМА 5. СЕЛЕКЦІЯ ТА БІОТЕХНОЛОГІЯ

§ 31. Одомашнення (доместикація).....	152
§ 32. Створення та використання нових порід тварин і сортів рослин. Традиційні біотехнології	156
§ 33. Сучасна біотехнологія. Генна і клітинна інженерія	161

МОДУЛЬ С. ТЕМА 6. БІОРІЗНОМАНІТТЯ

§ 34. Біологічна систематика.....	168
§ 35. Сучасна система живого світу	173
§ 36. Різноманіття рослин і тварин. Екосистемне біорізноманіття та його збереження	178

ТЕМА 7. ЕКОЛОГІЯ, ЕКОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ, АДАПТАЦІЇ. БІОСФЕРА ЯК ГЛОБАЛЬНА ЕКОСИСТЕМА. СТАЛІЙ РОЗВИТОК

§ 37. Екологія як наука. Екологічні чинники. Пристосування живих організмів до дії екологічних чинників.....	184
§ 38. Популяція як екологічна одиниця. Екологічні стратегії популяцій.....	189
§ 39. Екосистеми. Агроценози. Трофічні ланцюги. Екологічні піраміди.....	192
§ 40. Біосфера як глобальна екосистема. Структура та межі біосфери.....	198
§ 41. Екологічні проблеми. Сучасні напрями охорони природи та захисту навколишнього середовища в Україні та світі	203

ТЕМА 8. ЕВОЛЮЦІЙНА БІОЛОГІЯ

§ 42. Еволюційна ідея в біології.....	207
§ 43. Еволюційна теорія Чарльза Дарвіна. Докази еволюції	210
§ 44. Основні положення синтетичної теорії еволюції та її подальший розвиток. Сучасні еволюційні погляди.....	216
§ 45. Популяція як одиниця еволюції. Фактори еволюції.....	220
§ 46. Мікроеволюція. Способи видоутворення	224
§ 47. Макроеволюція. Поняття про біологічний прогрес і регрес, дивергенцію, конвергенцію та паралелізм, аналогічні та гомологічні органи, рудименти та атавізми	228
§ 48. Походження й розвиток життя на планеті. Сучасні погляди на первинні етапи еволюції життя. РНК-світ. Еволюція прокаріотів	234
§ 49. Еволюція еукаріотів. Еволюція рослин. Еволюція тварин.....	240
§ 50. Еволюція людини (антропогенез). Вітчизняні вчені, які зробили вагомий внесок у розвиток еволюційної біології.....	248
Термінологічний словник	252

Відомості про користування підручником

№ з/п	Прізвище та ім'я учня / учениці	Навчальний рік	Стан підручника	
			на початку року	у кінці року
1				
2				
3				
4				
5				

Навчальне видання

ТАГЛІНА Ольга Валентинівна
САМОЙЛОВ Андрій Михайлович
УТЕВСЬКА Ольга Михайлівна
ДОВГАЛЬ Людмила Володимирівна

«БІОЛОГІЯ»

Підручник для 9 класу
закладів загальної середньої освіти

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

**Видано за рахунок державних коштів.
Продаж заборонено**

Підручник відповідає Державним санітарним нормам і правилам
«Гігієнічні вимоги до друкованої продукції для дітей»

Редактор *Т. М. Мишиньова*. Технічний редактор *А. В. Плisko*.
Художнє оформлення *В. І. Труфена, Т. В. Задорожної*.
Комп'ютерна верстка *О. Л. Піковець*. Коректор *Н. В. Красна*.

Підписано до друку 05.05.2026. Формат 84×108/16. Папір офсетний.
Гарнітура Шкільна. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 27,09. Обл.-вид. арк. 32,50.
Наклад 61194 прим. Зам. № 11804-2026.

ТОВ Видавництво «Ранок», пр. Незалежності, 5, Харків, 61022;
вул. Деревлянська, 13, Київ, 04119. E-mail: office@ranok.com.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 8348 від 02.06.2025.

Надруковано у друкарні ТОВ «ТРИАДА-ПАК»,
пров. Сімферопольський, 6, Харків 61052.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5340 від 15.05.2017.
Тел. +38 (057) 712-20-00. E-mail: triadakniga@ukr.net



Служба підтримки:
rnk.com.ua/107946

Практичне значення білків



Повноцінні білки, що містять усі незамінні амінокислоти, є основним компонентом їжі, необхідним для росту, регенерації та підтримання життєвих функцій організму

Білки є складниками лікарських засобів (інсулін, вакцини, ферменти, імуноглобуліни, гормон росту, антигемофільний глобулін)



Колаген, гідролізати кератину й рослинних білків використовують у складі косметичних засобів для догляду за шкірою, волоссям і нігтями



Повноцінні білки тваринного походження є основним компонентом раціону спортсменів / спортсменок, необхідним для нарощування м'язової маси та відновлення після фізичних навантажень



Практичне значення жирів



Жири є важливим компонентом багатьох харчових продуктів, насамперед сала, масла, олії, шоколаду, кондитерських виробів



Гідруванням рослинних жирів (олій) отримують оліфи для виготовлення фарб і лаків, а також маргарин для випікання

Жири є основним компонентом для виробництва мила й гліцерину, який пом'якшує шкіру (поширений компонент косметичних засобів)



Рослинні олії використовують для виготовлення мастил. Ріпакова олія є важливим компонентом для виробництва біодизельного палива



Жири та воски використовують як основу для кремів, лосьйонів, мазей та інших косметичних і фармацевтичних засобів

Біологія

підручник для 9 класу
закладів загальної середньої освіти

Особливості підручника:

- практико-орієнтовний підхід до вивчення предмета
- компетентнісні завдання до кожного параграфа
- сучасний дизайн із використанням різних зразків інфографіки
- лабораторні, проектні та дослідницькі роботи до всіх тем

Інтерактивний електронний додаток містить:

- авторські навчальні відеоролики до лабораторних і практичних робіт
- унікальні анімації, скрайбінги, навчальні ігри
- інтерактивні завдання до всіх параграфів



**Відкриваймо по-новому
світ живої природи!**



Інтерактивний
електронний додаток
до підручника
доступний за QR-кодом
або посиланням
rnk.com.ua/111354