

С. В. Межжерін
Я. О. Межжеріна

БІОЛОГІЯ

**Підручник
для 9 класу
загальноосвітніх
навчальних закладів**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України



Тернопіль
Видавництво «Підручники і посібники»
2017

УДК 57(075.3)
М 43

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(Наказ МОН України від 20.03.2017 № 417)

**Видано за рахунок державних коштів.
Продаж заборонено**

Експертка, яка здійснювала експертизу даного підручника під час проведення конкурсного відбору проектів підручників для учнів 9 класу загальноосвітніх навчальних закладів і зробила висновок про доцільність надання підручнику грифа «Рекомендовано Міністерством освіти і науки України»:

С. В. Яковлева — учитель спеціалізованої школи № 25 м. Мелітополя, учитель-методист, заслужений учитель України.

Межжерін С. В., Межжеріна Я. О.
М 43 Біологія : підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закл. / С. В. Межжерін, Я. О. Межжеріна — Тернопіль : Підручники і посібники, 2017. — 288 с. : іл.
ISBN 978-966-07-3118-9

УДК 57(075.3)

ISBN 978-966-07-3118-9

© Межжерін С. В., Межжеріна Я. О., 2017
© Видавництво «Підручники і посібники», оригінал-макет, 2017

Шановні дев'ятикласники!

Усі попередні роки вивчення природознавства й біології підготували вас до засвоєння курсу біології в 9 класі. Лише знаючи особливості життя рослин і тварин, анатомію й фізіологію людини, можна оволодіти сучасними біологічними знаннями про принципи організації живої матерії: молекулярної біології, генетики, еволюційної біології.

Опрацювавши програмовий навчальний матеріал, ви дізнаєтесь, що таке ДНК і РНК, білки, жири, вуглеводи, як побудована клітина, що таке віруси і ГМО-продукти; довідаєтесь, чому в карооких батьків народжуються блакитнооки діти, ознайомитеся з еволюцією життя на планеті Земля.

Розділи біології, які ви розглядатимете цього року — хімічний склад і структура клітини, принципи її функціонування, збереження та реалізація спадкової інформації, еволюція органічного світу, біорізноманіття, біологія як основа біотехнології та медицини, — це вкрай необхідні сфери знань, без вивчення яких неможливо зрозуміти найактуальніші проблеми ХХІ століття. У наш час людство впритул наблизилося до проблеми можливого знищення життя на Землі через дисбаланс рівня технічного прогресу і стану довкілля, у розв'язанні якої може допомогти біологія.

Для успішного сприйняття навчального матеріалу в підручнику передбачено спеціальні рубрики, позначені піктограмами.



«NB» (від лат. *nota bene* — зверни увагу) — у рубриці подано основні твердження, поняття тощо, які є обов'язковими для засвоєння.



Перевірте себе. Питання за змістом параграфа. Ця рубрика потрібна для перевірки рівня засвоєння основних положень вивченого.



Як ви вважаєте? Питання призначені для тих, хто хоче знати біологію глибше. Завдання складені так, щоб викликати цікавість, стимулювати фантазію та наукову інтуїцію.

Лабораторне дослідження та *лабораторна робота*. Біологія — наука багато в чому експериментальна, тому лабораторне дослідження чи лабораторна робота допоможуть оволодіти навичками роботи з біологічними об'єктами.

Практична робота спрямована на вивчення проявів основних біологічних законів. Наприклад, задачі з генетики тренують уміння визначати, яке потомство народиться у батьків з відомими ознаками, а завдання з екології навчають встановлювати співвідношення між ланками ланцюга, що має назву «Життя».

Проект — це спроба провести самостійне наукове дослідження.

Тестові завдання дозволять вам краще засвоїти матеріал, підготуватися до державної підсумкової атестації та зовнішнього незалежного оцінювання.

Сподіваємося, вам буде цікаво.

Автори

ВСТУП

§ 1. Біологія як система наук. Рівні організації біологічних систем. Методи біологічних досліджень

Терміни й поняття: біологія як система наук, рівні організації живого, наукові методи, експеримент, моніторинг, моделювання.

Біологія (від грец. *біос* — життя, *логос* — учення) — це система наук про життя в усіх його проявах та на всіх рівнях організації живого, яка сформувалася на початку XIX сторіччя. Раніше біологію у складі інших природничих наук називали натурфілософією.



Іл. 1.1. Будову скелета жаби вивчає анатомія

Об'єктами дослідження біологічних дисциплін є живі організми — тварини, рослини, гриби, бактерії та різні сторони їх життєдіяльності, а також віруси — неклітинна форма живого.

Анатомія вивчає будову живих організмів (іл. 1.1), **фізіологія** — процеси, які в них відбуваються (іл. 1.2). Особливим завданням, наприклад, **екології** є дослідження взаємодії організмів між собою і з навколишнім середовищем.

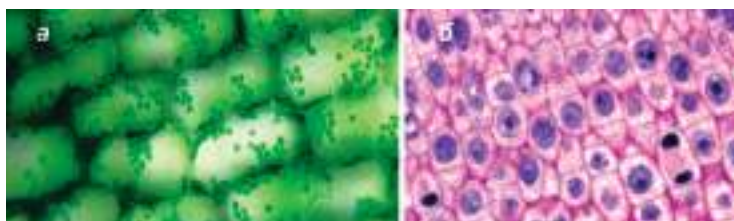
Сучасна біологія сформувалася завдяки експериментальним методам, що були розроблені завдяки досягненням хімії, фізики й математики. Їх використання дало можливість досліджувати клітинну будову організмів, вивчити хімічний склад клітин, установити закони спадкування.



Іл. 1.2. Як працює кровоносна система вивчає фізіологія

Біологія має значний вплив на життя людини. Невипадково на стику суспільних наук і біології виникають нові міждисциплінарні наукові напрями: **біоетика**, **соціобіологія**, **еволюційна психологія** тощо.

Головні принципи сучасної біології. В основу сучасної біології покладено п'ять наукових принципів.



Іл. 1.3. Клітинна будова листка рослини (а) та шкіри людини (б)

1. Клітинна будова організмів. Усі живі організми складаються з клітин, а нові клітини утворюються зі старих шляхом поділу материнської клітини (іл. 1.3).

2. Еволюційне походження живого на Землі. Різноманітність живих організмів і спосіб їхнього життя сформувались у процесі еволюції — історичного розвитку живого на Землі.

3. Принцип генного успадкування. Спадкова інформація про всі ознаки й властивості живих організмів закодована в генах — ділянках ДНК.

4. Забезпечення організму речовиною та енергією (принцип живлення). Для підтримування процесів життєдіяльності необхідна речовина, з якої будується тіло організмів, та енергія, яку вони отримують з навколишнього середовища: рослини — від Сонця, а тварини — поїдаючи інші організми або їх залишки.

5. Принцип стійкості організмів. Біологічні процеси, що відбуваються в організмі, спрямовані насамперед на збереження його стабільного стану.

Засвоєння й перетворення енергії — це перебіг хімічних реакцій, що відбуваються в клітинах.

Система біологічних наук. Спочатку біологічні науки виокремлювалися залежно від організмів, які вони досліджували: *ботаніка* — наука про рослини, *зоологія* — про тварин, *мікробіологія* — про мікроорганізми. Пізніше виникли науки, об'єктами дослідження яких стали біологічні процеси. *Екологія* вивчає взаємодію організмів одні з одними і середовищем існування. *Генетика* досліджує закономірності успадкування ознак організму. *Фізіологія* накопичує знання про процеси, які відбуваються в організмах. *Систематика* має на меті класифікацію видів і різних форм живих організмів. Форму тіла організмів в усіх її деталях вивчає *морфологія*, будову органів тіла — *анатомія*, а будову й особливості життя клітин — *клітинна біологія*. Зміни організму протягом його існування досліджує *біологія розвитку*. Зародження та історичний розвиток живої природи перебуває в полі зору *еволюційної біології*.

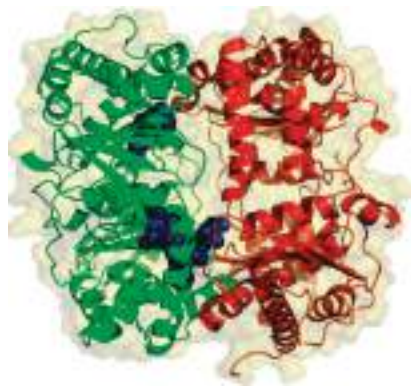
Рівні організації біологічних систем. Живі організми є *системами*, тобто вони побудовані зі структурних одиниць — *елементів* різного ступеня упорядкованості. Клітини складаються з молекул, організми — з клітин; організми одного виду утворюють популяції, а популяції різних видів, у свою чергу, формують екосистеми. Сукупність екосистем усієї Земної кулі утворює біосферу — живу оболонку нашої планети.

Цю структурованість живого зазвичай називають *рівнями організації*.

Молекулярно-генетичний рівень — це біологічні макромолекули, передусім — білки та нуклеїнові кислоти (іл. 1.4). Процеси, що відбуваються на цьому рівні, не мають біологічної специфіки, оскільки є хімічними перетвореннями молекул.

Клітинний рівень — це вже рівень справжньої життєдіяльності, який відбувається лише на рівні клітин (іл. 1.3). Власне, із цього рівня розпочинаються біологічні процеси життєдіяльності.

Організмий рівень. Його структурна одиниця — організм, хоча зрозуміло, що для одноклітинних істот клітина та організм — поняття тотожні.



Іл. 1.4. Модель молекули білка, що входить до складу кристалика ока

Процеси, що відбуваються на організмовому рівні, пов'язані з живленням, ростом та індивідуальним розвитком.

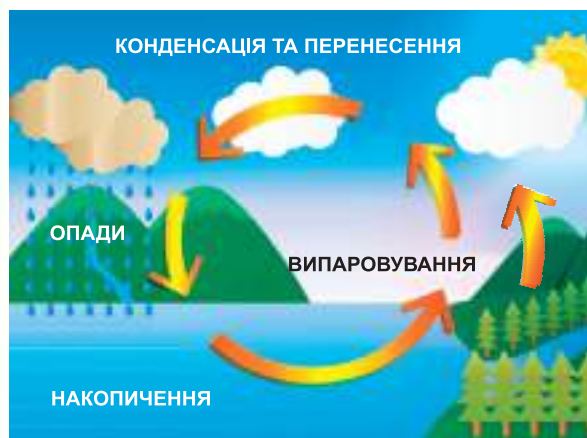
Популяційно-видовий рівень. Елементом цього рівня є *популяція* — сукупність особин одного виду, що довгий час живуть на певній території і які ізольовані від інших поселень цього виду (іл. 1.5).



Іл. 1.5 Колонія пінгвінів є одним із прикладів популяції

Процеси, які відбуваються на цьому рівні, пов'язані з розмноженням і первинними еволюційними перетвореннями організмів.

Біогеоценотичний (екосистемний) рівень. Одиницею цього рівня є *біогеоценоз*. Це популяції організмів різних видів, що живуть у певних умовах існування та пов'язані одні з одними харчовими відносинами.



Іл. 1.6. Кругообіг води в біосфері

Найвищим рівнем організації живої матерії є **біосферний рівень**. Характерний для нього процес — *кругообіг речовин у біосфері* (іл. 1.6), який забезпечує цілісність життя на Землі.

Методи біології. Кожна наука має свою *методологію* — сукупність принципів та ідей, а також способів отримання нової інформації. Конкретні прийоми набування нових знань — це і є *наукові методи*.

Первісними методами наукового пошуку є **спостереження** та **опис** нових видів живих істот, досі невідомих способів життя чи розмноження, нез'ясованих механізмів клітинного транспорту чи мутацій — змін генетичного апарату.

Спостереження та опис більш притаманні для біологічних наук, які вивчають біологічні процеси, що відбуваються в природі. Наприклад, важливим способом набування нових знань у зоології є спостереження за сезонними міграціями птахів. Аналіз фаз цвітіння та плодоношення рослин є ключовими методами ботаніки.

Ці методи не втратили свого значення й дотепер, більш того — спостереження та опис сьогодні широко використовують майже в усіх біологічних науках.

Подальшою основою будь-якого наукового пошуку є **експеримент**, тобто дослідження будь-якого об'єкта в чітко визначених умовах. Це може бути розмноження бактерій у спеціальному штучному середовищі, цілеспрямоване схрещування рослин з різним забарвленням пелюсток тощо.

Слід зазначити, що біологія як наука сформувалася лише завдяки експериментам, у яких використовували методи точних наук — фізики, хімії та математики.

Експеримент як метод дослідження більш властивий наукам, що розвиваються в лабораторії. Фізіологи й біохіміки в лабораторних умовах вивчають вплив біологічно активних речовин на швидкість метаболізму в окремих клітинах; молекулярні біологи — структуру та функції білків і ДНК. Усі ці явища й процеси краще вивчати в лабораторії, де їх можна відстежувати у спеціально створених умовах та надалі практично використовувати. У медицині опромінення застосовують у боротьбі зі злоякісними пухлинами, а в селекції рослин у результаті радіаційного впливу на насіння отримують організми-мутанти з новими біологічними властивостями.

Особливе місце в біології належить методам дослідження в часі. Це, насамперед, **історичний метод**, який широко використовують у палеонтології та еволюційній біології, коли за викопними рештками вимерлих тварин (іл. 1.7) та рослин визначають спорідненість і походження сучасних видів.

Ще одним методом біологічних досліджень у часі є **моніторинг**, тобто спостереження за будь-яким біологічним об'єктом протягом доволі тривалого часу. Моніторингові дослідження переважно спрямовані на вивчення динаміки популяцій або змін структури екосистем. Ці наукові спостереження тривають десятиліттями.



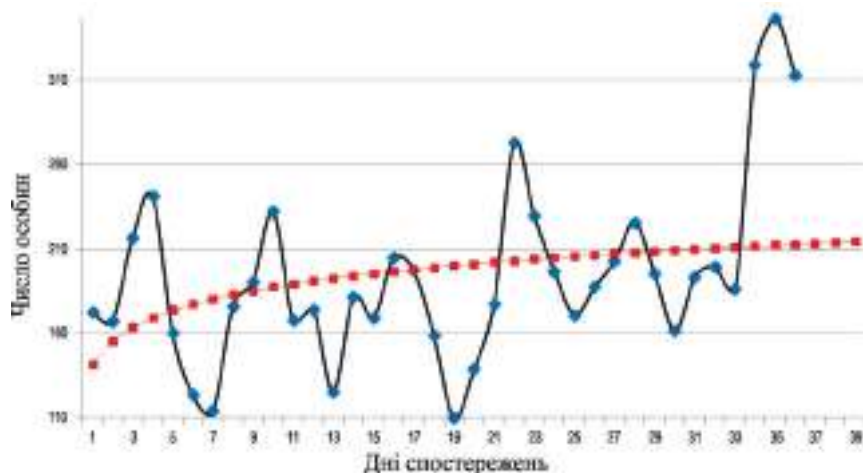
Іл. 1.7. Рештки викопної саламандри

Залежно від накопичення фактів виникає необхідність в їх систематизації та класифікації. Для виявлення певних закономірностей використовують статистичні методи, які дають змогу розробити правила збору інформації й допомагають аналізувати величезні масиви даних. Сьогодні для цього використовують комп'ютерну техніку і спеціальні програми.

Розвиток будь-якого наукового пошуку завжди пов'язаний з виникненням наукового припущення — *гіпотези*, яка обов'язково потребує перевірки. Найчастіше роблять так: створюють модель біологічного явища та порівнюють процеси, які в ній протікають, з тими подіями, що за схожих умов відбуваються у при-

роді. За допомогою таких порівнянь можна підтвердити чи спростувати гіпотезу. Цей підхід називають **моделюванням**.

У сучасній біології для створення біологічних моделей дедалі частіше замість фізичних об'єктів використовують математику та за допомогою комп'ютерних технологій проводять імітування біологічних процесів, що відбуваються в клітині, організмі чи екосистемі. Такий підхід отримав назву *математичне моделювання* (іл. 1.8).



Іл. 1.8. Змодельована крива росту числа інфузорій у пробірці (червоні кубики) на фоні реальних змін (чорні ромбики) дозволяє розрахувати не лише швидкість зростання чисельності популяції, але й передбачити її розміри через певний період часу

За такого підходу і гіпотезу, і реальні події подають у вигляді математичних закономірностей. Якщо теоретичні закономірності й реальні графіки збігаються — це означає, що гіпотеза, покладена в основу моделі, адекватна, і припущення, сформульоване науковцем, правильне. Якщо такої відповідності немає, то за характером різниці між реальним і гіпотетичним процесами можна з'ясувати, якої саме помилки припустився науковець у своєму припущенні.



Біологія — одна з найважливіших наук сучасності. Це система набування нових знань, засіб вивчення живої природи та водночас знаряддя впливу на неї. Розвиток біологічних досліджень є **пріоритетом й ознакою цивілізованого суспільства**. **Жива природа** — це сукупність ієрархічно побудованих рівнів організації: молекулярно-генетичного, клітинного, організмового, популяційно-видового, екосистемного та біо-сферного. У розвитку біології важливу роль відіграють не лише експериментальні методи, засновані на досягненнях фізики та хімії, а й класичні, серед яких головне місце посідають **спостереження та опис**.



1. Назвіть головні завдання науки біології. **2.** Укажіть п'ять принципів, які лежать в основі сучасної біологічної науки. **3.** До якого рівня організації відносять евглену зелену? **4.** Які процеси відбуваються на популяційно-видовому рівні? **5.** Які методи дослідження є первісними для біологічної науки? **6.** Що таке моніторинг у біології?



• Чому до початку XIX ст. біологію вважали одним з розділів філософії та що стало причиною того, що її стали вважати повноцінною наукою?

Тема 1. ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИНИ ТА БІОЛОГІЧНІ МОЛЕКУЛИ

§ 2. Хімічні елементи, які входять до складу живих організмів. Вода та інші неорганічні речовини клітини

Терміни й поняття: макроелементи, мікроелементи, водневі зв'язки, вода, неорганічні (мінеральні) солі.

Хімічні елементи у складі клітини. Як вам відомо з курсу хімії, молекули будь-яких речовин побудовані з атомів хімічних елементів (див. Періодичну систему хімічних елементів Д. Менделєєва).

Макроелементи й мікроелементи. Хімічні елементи, які містяться в живих організмах, відповідно до їх кількості поділяють на дві групи: макроелементи та мікроелементи.

Групу макроелементів становлять 12 найпоширеніших у живих організмах хімічних елементів. Частка кожного з них у клітині становить не менш ніж 0,01 %, а їх наявність є однією з умов її життєдіяльності. Особливо значний уміст у клітині Оксигену (O), Карбону (C), Гідрогену (H), Нітрогену (N). На них припадає 98 % маси клітини. Гідроген та Оксиген утворюють воду, Карбон є неодмінним компонентом усіх органічних сполук, а Нітроген — обов'язковий складник білків і нуклеїнових кислот (іл. 2.1).

Уміст решти восьми макроелементів: Калію (K), Сульфуру (S), Фосфору (P), Хлору (Cl), Магнію (Mg), Кальцію (Ca), Натрію (Na), Феруму (Fe) — вимірюється десятими й сотими частками відсотка. Їх загальна питома маса становить 1,9 %. На відміну від чотирьох найпоширеніших універсальних макроелементів, вони виконують лише окремі функції. Фосфор входить до складу нуклеїнових кислот, Сульфур є складником білків, Ферум — гемоглобіну, Магній — хлорофілу, а Кальцій — основний елемент неорганічних речовин, що утворюють кісткову тканину.

Мікроелементи — це хімічні елементи, що потрібні організму в незначній кількості та зазвичай становлять тисячні частки відсотка. На них припадає лише 0,1 % маси клітини. Без мікроелементів неможлива нормальна робота клітини, адже вони виконують певні функції: це складники білків, вітамінів, гормонів, пігментів; їх наявність у розчиненому вигляді в цитоплазмі клітини впливає на швидкість процесів обміну речовин, ріст і розвиток.

Налічують понад 30 мікроелементів, серед яких метали: Алюміній (Al), Купрум (Cu), Манган (Mn), Цинк (Zn), Молібден (Mo), Кобальт (Co), Нікол (Ni), Стронцій (Sr) — і неметали: Йод (I), Селен (Se), Бром (Br), Флуор (F), Арсен (As), Бор (B).



Іл. 2.1. Найпоширеніші макроелементи, що входять до складу живих організмів

Нестача будь-якого мікроелемента неминує призводить до розладів у роботі організму і як наслідок — хвороби. Наприклад, якщо до організму людини надходить недостатньо Йоду, то виникає хвороба *ендемичний зоб* (іл. 2.2). Це порушення функції щитоподібної залози, що виробляє гормон тироксин, до складу якого входить цей хімічний елемент. Поширену хворобу рослин *хлороз* (іл. 2.3), яка виявляється в ранньому пожовтінні та опаданні листя, спричиняє дефіцит у ґрунті йонів Магнію та Феруму, що призводить до нестачі пігменту хлорофілу й зменшення фотосинтезу.



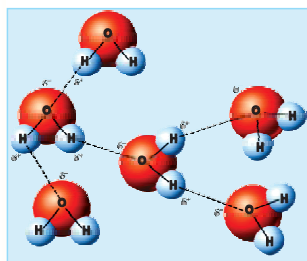
Іл. 2.2. Людина, хвора на ендемічний зоб



Іл. 2.3. Хлороз рослини



Іл. 2.4. Схема будови молекули води



Іл. 2.5. Схема утворення водневих зв'язків

Вода — найбільша за абсолютною масою сполука клітини. Молекула води H_2O складається з одного атома Оксигену та двох атомів Гідрогену. Це найпоширеніша та найважливіша неорганічна сполука на Землі. Підраховано, що вода становить 85 % загальної маси середньостатистичної клітини всіх живих істот, хоча в клітинах людини на воду припадає лише близько 64 %. Однак уміст води в різних клітинах людини може суттєво коливатися: від 10 % у клітинах емалі зубів до 90 % у клітинах зародка.

Молоді клітини завжди містять води більше, ніж старі. Так, у клітинах немовляти вода становить 86 %, а у клітинах людини похилого віку — лише 50 %.

Вода має унікальні властивості, обумовлені структурою її поляризованої молекули, яка має форму рівнобедреного трикутника, у вершинах основи якого розташовані позитивно заряджені атоми Гідрогену, а в третій вершині міститься негативний атом Оксигену (іл. 2.4). Коли електропозитивний атом Гідрогену однієї молекули води опиняється поряд з електронегативним атомом Оксигену іншої молекули, то між ними виникають водневі зв'язки, які мають певну довжину й спрямованість, а тому сполучені між собою молекули води утворюють упорядковану ґратку (іл. 2.5). Кристалічна структура льоду зумовлена чотирма водневими зв'язками на одну молекулу води (два утворені двома атомами Н і два — одним атомом О).

Основні функції води в організмі.

- **Полярна будова молекули води** пояснює її властивості як розчинника. Молекули води вступають у взаємодію з хімічними речовинами, атоми яких мають електростатичні зв'язки, і розкладають їх на аніони й катіони, що зумовлює перебіг хімічних реакцій. Саме тому багато хімічних реакцій відбувається лише у водному розчині.

• Вода — це **хімічно активна речовина**, яка вступає в реакцію *гідролізу* (від грец. *гідро* — вода і *лізіс* — розпад). Ця реакція є основою багатьох процесів, що відбуваються в живих організмах, і насамперед за її участю відбувається розкладання величезних біологічних молекул. Молекули води є також безпосередніми складовими реакцій біологічного синтезу, зокрема завдяки реакції $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ у клітинах рослин утворюються органічні речовини ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ — глюкоза) і виділяється кисень (O_2), тобто відбувається фотосинтез.

• Вода — **найважливіша терморегулювальна речовина організму**, що зумовлено її надзвичайно високою **теплоємністю**. Це пояснюють тим, що частина теплової енергії витрачається на руйнування водневих зв'язків — подолання сил зчеплення між молекулами води, що запобігає перегріванню організму. Завдяки високій теплоємності води біохімічні реакції в клітинах відбуваються в сталому діапазоні температур.

Висока теплота випаровування води дає змогу регулювати температуру тіла у ссавців під час потовиділення (іл. 2.6) та охолоджувати поверхню листків у рослин. Висока теплота плавлення води перешкоджає утворенню кристалів льоду в клітинах за зниження температури тіла нижче 0°C взимку.

• Вода **входить до складу крові, лімфи й тканинної рідини**, яка утворюється з плазми крові, що містить 90 % води. Тканинна рідина заповнює міжклітинні та навколоклітинні простори тканин та органів тварин і людини.

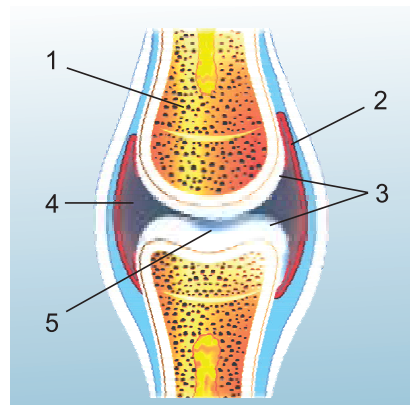
Кров транспортує кисень, поживні речовини, продукти розпаду, вуглекислий газ, гормони, ферменти, вітаміни тощо. Суглобова рідина, до складу якої теж входить вода, зменшує тертя між кістками та полегшує ковзання головки однієї кістки в суглобовій западині іншої (іл. 2.7).

• Вода **слугує середовищем для транспортування розчинених речовин усередині рослинного організму**. Завдяки силам поверхневого натягу вода тонкими провідними судинами деревини (іл. 2.8) піднімається на десятки метрів заввишки.

• Завдяки явищам осмосу й тургору вода **забезпечує пружний стан рослинних клітин та є опорою організму не лише в рослин, а й у деяких тварин**. Зокрема, у круглих і кільчастих черв'яків форма тіла підтримується завдяки такому пристосуванню, як *гідроскелет*.



Іл. 2.6. Випаровування поту є одним з важливих механізмів терморегуляції у людини



Іл. 2.7. Будава суглоба:
1 — кістка; 2 — суглобова сумка; 3 — гіаліновий хрящ; 4 — суглобова рідина; 5 — суглобова западина кістки



Іл. 2.8. Судини деревини, якими вода підіймається від коренів до листків



Іл. 2.9. Клоп-водомирка на поверхні води

Між аніонами та катіонами існує відповідна рівновага (баланс), порушення якої призводить до функціональних розладів у клітині. Значення має також концентрація мінеральних речовин — від цього залежать фізичні та хімічні властивості цитоплазми (рідкого вмісту клітини).



Іл. 2.10. Нервові сигнали рухаються по відростках нейронів

скріплення клітин і впорядкованість їх розташування.

Наявність йону Ca^{2+} зумовлює скорочення м'язів.

Катіон Mg^{2+} входить до складу молекули хлорофілу. Він активізує хімічні реакції, адже є складовою багатьох ферментів, міститься в кістках і зубах. Fe^{2+} входить до складу гемоглобіну, кристалика й рогівки ока.

Важливу роль в організмах різних видів живих істот відіграють аніони ортофосфатної кислоти H_2PO_4^- і HPO_4^{2-} , які зумовлюють здатність клітини підтримува-

• Воді властивий **поверхневий натяг**, а тому крапля води намагається набути форми, максимально близької до сферичної. Саме завдяки силі зв'язків між молекулами по поверхні води можуть бігати, наприклад, майже невагомні клопи-водомирки (іл. 2.9).

Інші неорганічні речовини у складі клітин. Неодмінними компонентами клітини є солі неорганічних (мінеральних) кислот. На них припадає не більше 1,5 % маси клітини. Однак, незважаючи на такий «скромний внесок», життя без мінеральних речовин так само неможливе, як і без води. У живому організмі солі містяться у водному розчині як у розчиненому, так і в твердому стані.

Розчинні мінеральні солі містяться у вигляді катіонів — позитивно заряджених іонів металічних елементів (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} та інших) і Гідрогену (H^+), а також аніонів, основними серед яких є гідроксильна група (OH^-) і залишки різноманітних кислот (Cl^- , SO_4^{2-} , H_2PO_4^- , NO_3^- , HCO_3^-).

Катіони K^+ , Na^+ , Ca^{2+} забезпечують універсальну властивість живої матерії — подразливість, підтримують осмотичний тиск у клітині; у людини вони забезпечують проведення нервових сигналів (іл. 2.10), стимулюють синтез певних гормонів. До того ж йони K^+ і Na^+ беруть участь в універсальному механізмі транспортування різноманітних сполук у клітину та їх виведення за її межі. Йони Ca^{2+} входять до складу міжклітинної речовини, що забезпечує

ти нейтральний стан свого середовища, за якого цитоплазма не має ані кислотних, ані лужних властивостей.

Нерозчинні мінеральні солі також є невід’ємним компонентом усіх опорних структур тварин. При цьому ключовою речовиною є кальцій ортофосфат $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ — складова міжклітинного «цементу», що забезпечує з’єднання клітин у тканини. Крім того, він неодмінно міститься в скелеті, зокрема в кістках хребетних тварин і в черепашках моллюсків.



Неорганічні речовини становлять більшу частину маси клітини, причому на воду припадає 85 %, а на мінеральні солі — лише 1,5 %. Особливе значення має вода. Основні функції води в організмі: **важливий розчинник і середовище для біохімічних реакцій; хімічно активна речовина; терморегулювальна речовина; компонент транспортної системи організму; входить до складу внутрішніх рідин організму; компонент опорної системи організму.**

Мінеральні солі й різноманітні йони неорганічних сполук є обов’язковим складником будь-якого організму. Завдяки їх наявності здійснюється **підразливість і регуляція швидкості обмінних процесів**, вони є **складниками багатьох важливих речовин**. У тварин вони **відповідають за проведення нервового імпульсу та скорочення м’язових клітин, формують скелет, здійснюють з’єднання клітин.**



1. Якими особливостями будови молекули зумовлені унікальні біологічні властивості води? 2. Назвіть головні функції води в організмі людини. 3. Завдяки яким властивостям води клопи-водомірки здатні спритно ковзати по її поверхні? 4. У якому вигляді в організмі людини містяться мінеральні солі? 5. Які функції в клітині виконують катіони K^+ , Na^+ , Ca^{2+} ? 6. У чому полягають головні функції йона Mg^{2+} у клітинах рослин і тварин?



- Чому в нейронах людини вміст води становить 85 %, а в клітинах жирової тканини — лише 10–12 %?
- Чому у вологому тропічному кліматі організм людини потребує значно більшої кількості води?

§ 3. Прості органічні речовини клітини. Ліпіди — органічні сполуки, що не розчиняються у воді

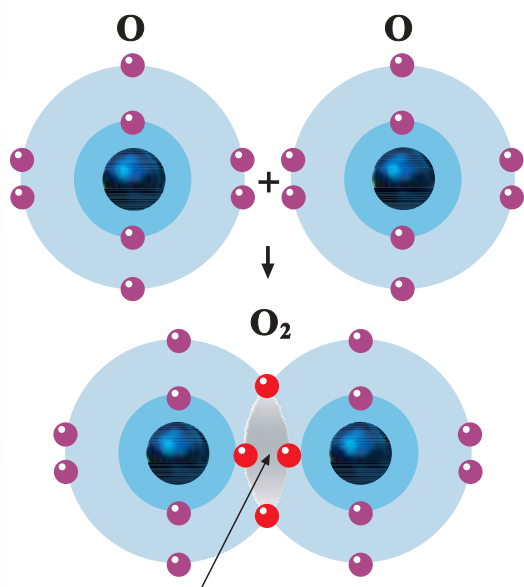
Терміни й поняття: біомолекули, високомолекулярні сполуки, ліпіди, жири, емульсія, жироподібні речовини, воски, стероїди, холестерин.

Особливості будови молекул органічних речовин. У сучасній хімії органічними речовинами називають усі сполуки, до складу яких входить хімічний елемент Карбон (виняток: карбіди, карбонатна кислота, карбонати, оксиди Карбону та ціаніди). Крім невід’ємних для всіх органічних сполук Карбону й Гідрогену, в них майже завжди наявний Оксиген, рідше — Нітроген. До складу органічних сполук можуть входити такі неметали, як Фосфор (доволі часто) та Сульфур (значно рідше). Також можуть міститися ще й іони металів (Fe^{2+} , Cu^{2+} , Mg^{2+}), а також різноманітні залишки мінеральних сполук (частіше за все це похідні ортофосфатної кислоти).

Свою назву органічні речовини отримали тому, що спочатку вчені вважали: живі організми й неживі тіла побудовані з різних сполук, а отже, речовини, властиві живим організмам, можна отримати лише від живого. І лише коли з амоніаку (NH_3) та карбон(IV) оксиду (CO_2) було синтезовано органічну сполуку — сечовину ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), стало очевидно: речовини, які виділяють живі організми, за своїм складом

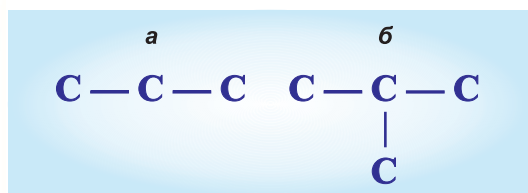
не відрізняються від хімічних сполук неживих тіл. Нині відомо понад 3 млн органічних сполук. Частину з них виділено з живих організмів, однак значно більше синтезовано в лабораторіях, а найпростіші органічні сполуки (вуглеводні) входять до складу нафти й газу.

У чому полягають особливості будови органічних сполук? Атоми в них сполучаються *ковалентними зв'язками*, основою яких слугує перекриття зовнішніх орбіталей різних атомів (іл. 3.1). Це найміцніший тип хімічного зв'язку. Він виникає внаслідок усупільнення електронів різних атомів, що спричиняє їх зв'язування в одну молекулу. Таким чином, пара електронів одночасно належить двом сусіднім атомам.



Спарені електрони

Іл. 3.1. Схема ковалентного зв'язку



Іл. 3.2. Карбонові ланцюги:

а) — нерозгалужений; б) — розгалужений

Саме з простих органічних сполук: спиртів, альдегідів, кетонів, карбонових кислот, амінів, що синтезуються в клітинах, — урешті-решт утворюються величезні молекули, які ще називають високомолекулярними сполуками. З таких величезних молекул будуються клітини.

Органічні речовини можуть становити близько 15 % маси клітини. Усього виокремлюють чотири групи органічних сполук, що неодмінно входять до складу клітини будь-якого організму: ліпіди, вуглеводи, білки та нуклеїнові кислоти (табл. 1).

Особливо міцні ковалентні зв'язки утворюються між атомами Оксигену, Карбону, Гідрогену й Нітрогену, які становлять 98 % маси клітини. Із чим це пов'язане? Пояснення таке: що легші атоми елементів, то міцніші між ними ковалентні зв'язки, а згадані елементи є найлегшими з хімічних елементів, здатних утворювати ковалентні зв'язки.

Типовий приклад сполуки з ковалентними зв'язками — вода, у якій два електрони двох атомів Гідрогену усупільнені з двома електронами зовнішньої орбіталі атома Оксигену.

Ланцюги з атомів Карбону утворюють скелет органічної молекули (іл. 3.2).

Біомолекули. Усі органічні речовини, що синтезуються живими організмами і є постійними складовими клітин, називають біологічними молекулами.

Усі органічні речовини, що синтезуються живими організмами і є постійними складовими клітин, називають біологічними молекулами.

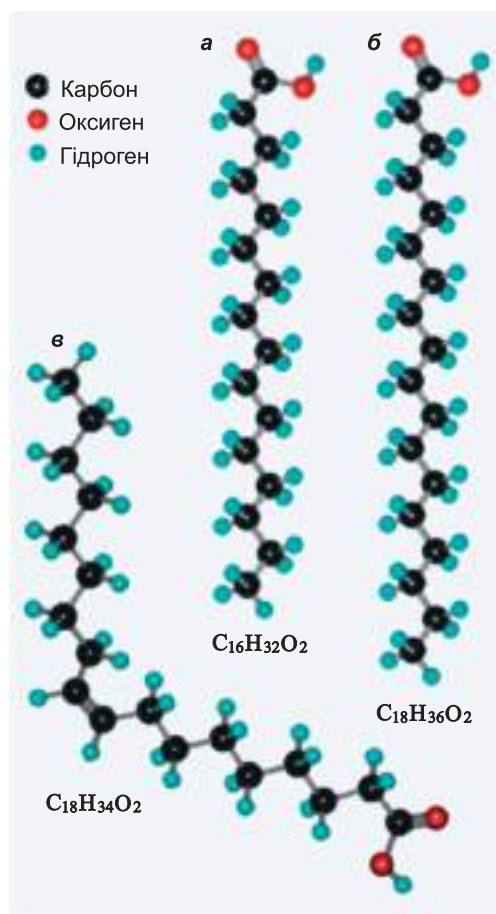
Співвідношення основних хімічних сполук у клітині

Речовина	Концентрація за масою, %
Вода	85,0
Білки	10,0
Нуклеїнові кислоти	1,1
Ліпіди	2,0
Вуглеводи	0,4
Мінеральні солі	1,5

Ліпіди. До складу кожної клітини живого організму входять *ліпіди* (від грец. *λίπος* — жир), що за хімічною структурою є сполуками жирних кислот і різноманітних багатоатомних спиртів. Крім них, до цієї групи органічних речовин включають ще деякі сполуки, нерозчинні у воді. Ліпіди поділяють на *жири* та *жироподібні речовини*.

Будова жирів. Це складні естери триатомного спирту гліцерину з високомолекулярними жирними кислотами. До складу жирів входять лише три елементи: Карбон, Гідроген та Оксиген. Молекули жирів належать до неполярних сполук і тому не розчиняються у воді. Їх називають *гідрофобними* (від грец. *гідро* — вода і *фобос* — страх), на відміну від *гідрофільних* (від грец. *гідро* — вода і *філео* — люблю). Усі карбонові кислоти, що утворюють жири, мають парну кількість атомів Карбону. Наприклад, у твердих тваринних жирах, які називають *салом*, містяться пальмітинова ($C_{16}H_{32}O_2$) і стеаринова ($C_{18}H_{36}O_2$) кислоти (іл. 3.3).

Жири, які мають за кімнатної температури рідку консистенцію і позначаються терміном *олія*, утворюються за участі багатоатомних кислот з подвійним зв'язком між атомами Карбону. Найпоширенішою ненасиченою кислотою є олеїнова кислота ($C_{18}H_{34}O_2$) (іл. 3.3), що входить до складу рідких жирів рослин, риб та морських ссавців.



Іл. 3.3. Схеми будови молекул пальмітинової (а), стеаринової (б) та олеїнової (в) кислот

Жири не розчинюються у воді, але під час збовтування здатні утворювати *емульсії* (від лат. *емульсус* — той, якого видоїли) — суміші, що складаються з води й дуже дрібних і непомітних для ока крапельок жиру. Типовою біологічною емульсією є молоко.

Функції жирів.

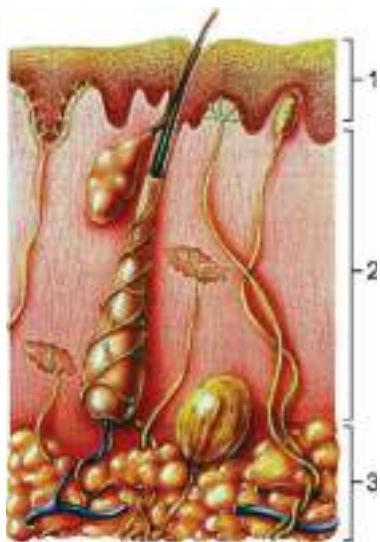
● Жири виконують передусім *структурну функцію*: вони є обов'язковим компонентом плазматичної мембрани та оболонки клітинного ядра; входять до складу нервових волокон, виконуючи одночасно й електроізоляційну функцію (утворюють *мієлін* — речовину, що створює оболонку нейронів).

● Жири — важливе *джерело енергії*. Більше половини енергії, яку виробляють клітини в стані спокою, становить енергія, що виділяється під час окиснення жирів. Значна кількість жирів міститься в молоці.

● Жири — це *енергетичний резерв організму*. У процесі окиснення 1 г жиру до води й вуглекислого газу виділяється 38,9 кДж енергії, що удвічі більше, ніж під час окиснення будь-яких інших речовин клітини. Завдяки тому, що жири енергетично найвигідніші сполуки, вони є основними речовинами клітини, які організми зберігають у запас. Саме тому в рослин найбільше жирів міститься у плодах та насінні. Жири накопичуються і в клітинах тварин, зокрема їх багато в підшкірно-жировій клітковині людини (іл. 3.4).

● Жири погано проводять тепло. Тому, відкладаючись у теплокровних хребетних тварин у вигляді підшкірного жиру, вони також виконують і *терморегулювальну функцію*.

Наприклад, у синього кита, найбільшої тварини, що живе на Землі (іл. 3.5), підшкірний шар жиру становить близько півметра.



Іл. 3.4. Будова шкіри людини:
1 — епідерміс; 2 — дерма;
3 — підшкірно-жирова клітковина



Іл. 3.5 Синій кит

● Жири є *мастильним* та *гідрофобним матеріалом*, який захищає шкіру ссавців і пір'я птахів від намокання та пересихання.

● Особливу функцію жири виконують у верблюда (іл. 3.6). Усі знають, що у верблюда запаси жиру відкладаються у вигляді горбів на спині. Учені пояснюють це тим, що за умови рівномірного розподілу великого об'єму жиру по всьому тілу організм у спеку перегріватиметься. Тоді виникає питання: навіщо верблюдові потрібна така кількість жиру?

Виявляється, що жир — це *джерело води*, адже під час окиснення жирів утворюється вода, яку і використовує організм, а тому верблюди можуть не пити багато днів за температури повітря +40 °С.

Жироподібні речовини. Жироподібні речовини — це більш складні й більш різноманітні за структурою та функціями сполуки, ніж жири. До їх складу не входять молекули гліцерину. Молекули жироподібних речовин можуть складатися не лише з атомів Карбону, Оксигену, Гідрогену, а й інших атомів, наприклад, Сульфуру. Ці речовини також нерозчинні або слабозрозумні у воді.

Основне призначення жироподібних речовин — їх участь в утворенні клітинної мембрани. Вони також відіграють важливу роль у передачі клітинного сигналу, можуть бути регуляторами процесів, що відбуваються всередині клітини; слугують молекулярною основою багатьох гормонів; беруть участь в імунних реакціях.

Незамінними компонентами клітинних мембран рослинних і тваринних клітин є *фосфоліпіди*. Одна частина молекули фосфоліпідів, що представлена залишками жирних кислот, — гідрофобна, а інша, що є залишком ортофосфатної кислоти, — гідрофільна.

Воски — це особлива група жироподібних речовин, які, як і жири, складаються лише з трьох хімічних елементів. На відміну від жирів вони є сполуками багатоатомних жирних кислот з одноатомними спиртами. Наприклад, бджолиний віск, який у бджіл і джмелів продукується в спеціальних залозах, — це сполука високомолекулярного спирту ($C_{30}H_{61}OH$) і пальмітинової кислоти. Воски мають водовідштовхувальну властивість, тому в бджіл вони вкривають тіло, а в рослин — верхню листків.

Окрему групу ліпідів утворюють **стероїди**, до складу яких жирні кислоти не входять, а їхньою основою є чотири циклічні сполуки Карбону. Найважливішим стероїдом організму тварин вважають *холестерин* ($C_{27}H_{46}O$). Це високомолекулярний спирт, який є складовою клітинних мембран та основою для синтезу вітаміну *D*, а також гормонів надниркової та статевих залоз.

Органічні сполуки — це різноманітні сполуки Карбону, які можуть утворюватися в організмі або в лабораторних умовах із простих неорганічних сполук. Молекули органічних речовин, що утворюються в клітинах, називають **біомолекулами**.



Іл. 3.6. Двогорбий верблюд



Ліпіди — це гідрофобні сполуки ефірної природи. Вони нерозчинні у воді і є неодмінними компонентами клітин. Ліпіди виконують переважно **енергетичну функцію та як найбільш енергоємні хімічні сполуки відкладаються в запас**. **Жироподібні речовини** — це більш різноманітна за структурою і функціями група органічних речовин. Вони є невід’ємними компонентами клітинних мембран. **Стероїди** — особлива група органічних речовин, яка за фізичними властивостями близька до ліпідів. Найбільш відомий представник цієї групи — холестерин — є молекулярною основою гормонів і вітамінів.



1. Що таке біологічні молекули? 2. Назвіть головні типи біологічних молекул. 3. Чим жири відрізняються від жироподібних речовин? 4. Які функції жирів у клітині? 5. Яку будову мають молекули восків і в чому полягає їх функціональне призначення у тварин і рослин? 6. Які речовини називають стероїдами та в чому полягає їх функція?

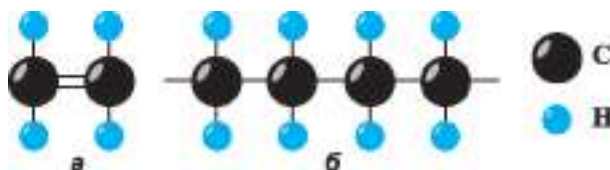


- Чому в морських ссавців, на відміну від наземних, жири складаються з ненасичених кислот?
- Чому птахи перед сезонними перельотами насамперед накопичують жири?

§ 4. Біологічні макромолекули — біополімери. Вуглеводи

Терміни й поняття: біополімери, моносахариди, глюкоза, фруктоза, олігосахариди, цукри, сахароза, лактоза, полісахариди, крохмаль, глікоген, целюлоза (клітковина), хітин.

Біологічні полімери. Одна з характерних особливостей будь-якого живого організму чи клітин, з яких він побудований, — це хімічний склад, основу якого становлять біологічні полімери. *Полімерами* (від грец. *полі* — багато і *мерос* — частина) називають будь-які



Іл. 4.1. Схема будови полімерної молекули.: а — мономер; б — полімер

гігантські молекули, що складаються з однакових частин — *мономерів* (від грец. *монос* — один і *мерос* — частина) — доволі простих органічних молекул, які здатні взаємодіяти між собою і повторюються сотні, тисячі та навіть мільйони разів, утворюючи дуже довгі ланцюги. (іл. 4.1).

Найбільш відомими біополімерами є полісахариди, білки та нуклеїнові кислоти.

Вуглеводи. Органічні сполуки із загальною формулою $C_n(H_2O)_m$ мають назву *вуглеводи*. Їх поділяють на прості й складні.

Прості вуглеводи, або моносахариди. Основою *моносахаридів* (від грец. *монос* — один, єдиний; *сахар* — цукор та *ейдос* — вигляд), що трапляються у клітинах тварин і рослин, є карбоновий ланцюг від 3 до 7 атомів, до яких приєднуються атоми Гідрогену, Оксигену та гідроксильні групи. При цьому один з атомів Карбону має подвійний зв’язок з атомом Оксигену. Отже, моносахариди — це складні багатоміспирти. До складу простих вуглеводів, так само, як і до складу жирів, входять лише Карбон, Гідроген та Оксиген у співвідношенні 1С : 2Н : 1О.

Для молекул моносахаридів притаманна полярність, вони розчиняються у воді, а у твердому стані мають вигляд кристалів. Звичайними шестиатомними моносахаридами живих організмів є *глюкоза* та *фруктоза* (іл. 4.2).

За своїм хімічним складом ці дві речовини однакові й мають молекулярну формулу $C_6H_{12}O_6$. Це означає, що ці дві сполуки є *ізомерами* (від грец. *ізо* — однаковий і *мерос* — частина), тобто розрізняються за характером зв'язків атомів у молекулі, маючи при цьому однаковий склад атомів. Формули глюкози та фруктози різні — у глюкози подвійний зв'язок з атомом Оксигену, утворений на першому атомі карбонового ланцюга, а у фруктози — на другому.

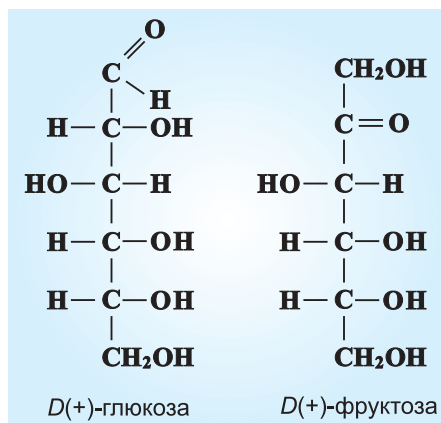
Ключову роль у метаболізмі тварин та рослин відіграє *глюкоза*, яку ще називають виноградним цукром. Саме ця органічна речовина утворюється в рослин унаслідок фотосинтезу та є первинним джерелом енергії в клітинах тварин та рослин.

Глюкоза — найважливіший компонент крові людини. Недостатня кількість цієї речовини в крові спричиняє порушення діяльності мозку, непритомність і навіть може призвести до смерті. Крім того, глюкоза — це вихідний продукт для багатьох речовин, а тому є головною речовиною біологічного синтезу.

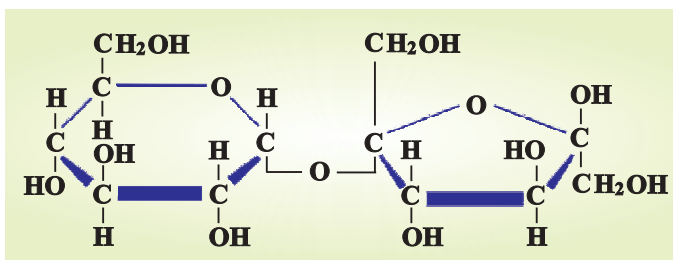
Фруктоза, або фруктовий цукор, також має велике значення для метаболізму рослин і у вільному вигляді міститься в листі й плодах. Це найсолодший із цукрів. Фруктоза становить понад 50 % усіх речовин бджолиного меду та, як і глюкоза, є компонентом більш складних сполук, необхідних для клітини.

Складні вуглеводи, або полісахариди. У певних умовах моносахариди здатні сполучатися одні з одними, виділяючи при цьому молекули води. Тому складні вуглеводи, на відміну від простих, мають іншу загальну формулу $C_n(H_2O)_{n-1}$. *Олігосахариди* (від грец. *оліго* — малий і *сахар*) можуть містити від двох до чотирьох залишків молекул моносахаридів. Найпоширенішим олігосахаридом є *сахароза* (тростинний цукор), що складається із залишків фруктози та глюкози (іл. 4.3). Це і є наш побутовий цукор.

У природному вигляді сахароза міститься лише в рослинах, де виконує функцію транспортування молекул моносахаридів. Крім са-



Іл. 4.2. Структурні формули глюкози та фруктози



Іл. 4.3 Циклічна формула сахарози

харози, у тканинах рослин містяться й інші дисахариди, зокрема — *мальтоза*, що складається з двох молекул глюкози.

У молоці ссавців міститься *лактоза*, до складу якої входять глюкоза та ще один моносахарид — *галактоза*, який також є ізомером глюкози. Усі зазначені дисахариди мають ту ж саму молекулярну формулу — $C_{12}H_{22}O_{11}$, але в них різні фізичні й хімічні властивості.

Моно- й олігосахариди, що мають спільну назву *цукри*, характеризуються солодким смаком, розчиняються у воді й здатні в сухому стані кристалізуватися.

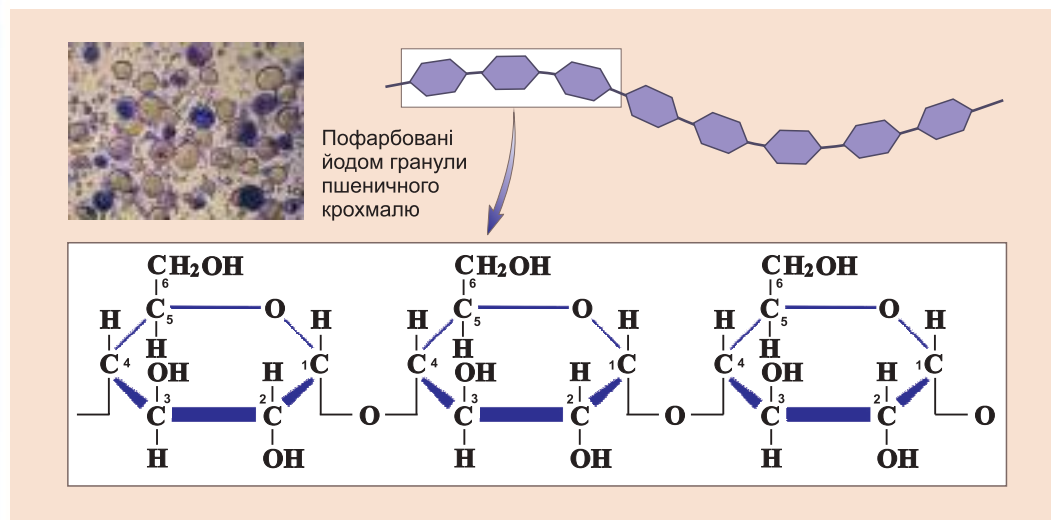
Особливу групу вуглеводів становлять *полісахариди* (від грец. *полі* — багато і *сахар*). Це один з різновидів біологічних полімерів, мономерами яких є різні моносахариди. Залишки моносахаридів у такій молекулі зібрані в один довгий розгалужений ланцюг. Полісахариди мають зовсім інші фізичні властивості, ніж цукри. Вони не здатні розчинятися у воді і в сухому вигляді нагадують порошок.

Молекулярна маса полісахаридів може сягати тисяч і навіть мільйонів. Тому їх відносять до *біологічних макромолекул*.

Функції полісахаридів.

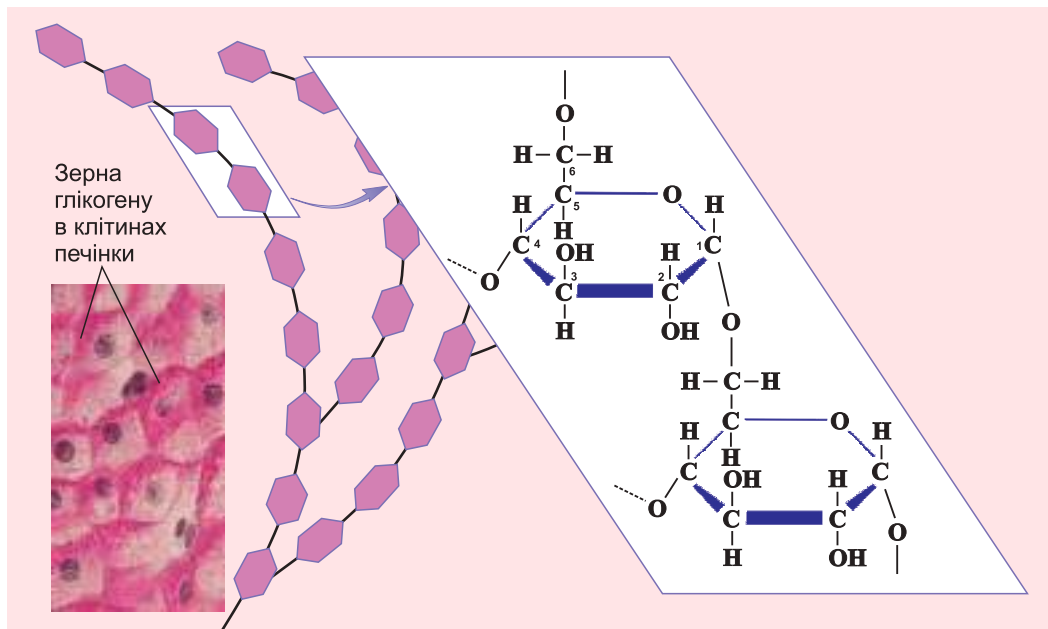
● **Енергетична функція.** Вуглеводи — це універсальне та важливе джерело енергії в клітині. Будь-яка функція будь-якого організму так чи інакше пов'язана з окисненням вуглеводів до CO_2 і H_2O . Унаслідок повного розщеплення 1 г будь-якого вуглеводу виділяється 17,6 кДж енергії.

● **Функція запасання.** Глюкоза добре розчиняється у воді й легко проникає крізь клітинну мембрану, тому накопичити її в клітині неможливо. Надлишок глюкози в клітині перетворюється на нерозчинні у воді полісахариди, які у твердому стані відкладаються в цитоплазмі. У рослин основним резервним полісахаридом є *крохмаль* (іл. 4.4), утворений із залишків молекул глюкози. Нестача глюкози в організмі поповнюється шляхом гідролізу крохмалю.



Іл. 4.4. Молекула крохмалю

У тварин основним резервним полісахаридом є *глікоген*. Він, як і крохмаль, складається з молекул глюкози, але має більш розгалужену будову (іл. 4.5) й краще розчиняється у воді.



Іл. 4.5. Молекула глікогену

В організмі людини глікоген накопичується у вигляді внутрішньоклітинних включень у тканинах печінки та м'язів. У разі дефіциту енергії глікоген розпадається, і глюкоза, що вивільнилась, швидко розноситься кров'ю по організму.

• **Опорна функція.** Клітини рослин вкриває тверда оболонка, побудована з полісахариду *целюлози*, або *клітковини*. Вона так само, як і резервні вуглеводи — крохмаль та глікоген, побудована з молекул глюкози, які, однак, мають іншу просторову організацію молекул. Завдяки цьому зв'язки між такими молекулами глюкози значно міцніші. Целюлоза не лише не розчиняється у воді, а й не перетравлюється більшістю тварин, тобто не розпадається до молекул глюкози. Здатність перетравлювати целюлозу притаманна бактеріям і грибам, завдяки яким відбувається розкладання відмерлих рослин.

Хітин, який утворює зовнішній скелет комах (іл. 4.6) та клітинну оболонку грибів, також належить до опорних полісахаридів. Він складається з особливих моносахаридів, що містять атоми Нітрогену, і має кристалічну структуру, а тому є речовиною хімічно інертнішою, ніж целюлоза.

Полісахариди побудовані не лише із залишків моносахаридів, а ще й з інших молекул, зокрема залишків сульфатної кислоти і можуть утворювати комплекси з білками.

Ці сполуки вуглеводів з білками відіграють ключову роль у сполученні клітин одна з одною і в розпізнаванні організмом власних клітин.



Іл. 4.6. Хітин утворює зовнішній скелет комах

організм від зовнішніх впливів. До них належить *камедь* — прозора смолиста речовина бурштинового кольору, яка виділяється з тріщин гілок і зелених плодів вишень та абрикосів (іл. 4.7). Тварини також мають свої захисні полісахариди.



Іл. 4.7. Камедь, що витікає з ураженої гілки абрикоса

Установлено, що молекули полісахаридів наче наполовину вмонтовані в зовнішню клітинну мембрану — назовні виступають лише окремі групи атомів. Набір та характер цих груп специфічний для кожної особини. Саме завдяки цьому клітини будь-якого організму легко «визначають» сторонню клітину, наприклад бактерію, що потрапила до нього.

• **Захисна функція.** Деякі полісахариди, що мають складну будову, захищають

Особливі полісахариди — *пектини*, що входять до складу клітинної стінки рослин, накопичуються у великій кількості в плодах агрусу чи яблуках.

Вони здатні утворювати міцні сполуки з атомами важких металів. Цю їхню властивість широко використовують у медицині для виведення з організму атомів свинцю чи ртуті, що є отруйними для багатьох тварин.

Вуглеводи — це багатоатомні спирти, які мають подвійний зв'язок Оксигену з Карбоном і здатні утворювати біополімери. Цукри (моно-



сахариди та олігосахариди) відіграють важливу роль в обміні речовин, оскільки є джерелом енергії, а **полісахариди — біологічні полімери, що в організмах тварин і рослин виконують структурну, захисну функції та здатні відкладатися про запас.**



1. Назвіть особливості будови молекул простих вуглеводів. 2. Чому молекули фруктози й глюкози, що мають однакову молекулярну формулу, різняться фізичними властивостями? 3. Яким чином молекули моносахаридів сполучаються одна з одною? 4. Молекули сахарози складаються із залишків глюкози та фруктози, формула яких $C_6H_{12}O_6$. Чому ж тоді сахароза має формулу $C_{12}H_{22}O_{11}$, а не $C_{12}H_{24}O_{12}$? 5. Чим відрізняється будова крохмалю і клітковини, і як це впливає на їх функції в організмі?



- Усім відомо, що корови живляться травою, хоча їхні органи травлення не виділяють речовини, здатної перетравлювати клітковину. Як їм це вдається?
- Чому бульби картоплі й зерна пшениці містять багато крохмалю?

§ 5. Амінокислоти і білки

Терміни й поняття: білки, амінокислоти, незамінні амінокислоти, пептиди, поліпептиди, денатурація.

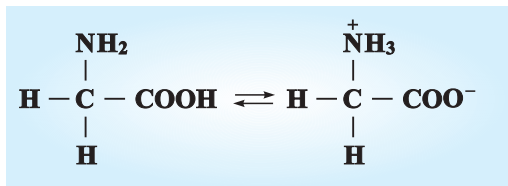
Білки. Білки — це одна з груп біологічних полімерів, мономерами яких є амінокислоти. Зазвичай їх молекулярна маса становить тисячі а. о. м., однак, як вина-

ток, трапляються білки, що досягають мільйонних значень. Білки були виділені в окремий клас біологічних молекул ще у XVIII ст., коли було виявлено їх унікальну властивість перетворюватися на желеподібну речовину під час нагрівання чи впливу кислот. У той час одним з основних об'єктів цих досліджень був яєчний білок, звідки й походить назва.

Амінокислоти. На відміну від біологічних молекул — жирів та вуглеводів, — молекули амінокислот неодмінно містять Нітроген.

Амінокислоти — це група карбонових кислот, до складу яких входять одна або кілька аміногруп ($-\text{NH}_2$), що додають їм ще й лужних властивостей (іл. 5.2, 5.3). Таким чином, це *амфотерні* (грец. *амфотерос* — обидва) сполуки, що реагують як з лугами, так і з кислотами.

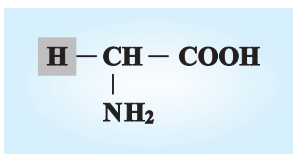
Розчинення амінокислот у воді зумовлене їх дисоціацією (іл. 5.1), унаслідок чого в розчині карбоксильна група віддає атом Гідрогену, отримуючи негативний заряд, а аміногрупа приєднує атом Гідрогену та отримує позитивний заряд.



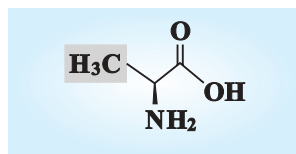
Іл. 5.1. Реакція дисоціації амінокислоти гліцину

Ключовими вважають 20 амінокислот, що різняться будовою бокових ланцюгів, які в хімії ще називають *радикалами*.

У складі найпростішої амінокислоти — *гліцину* — боковий ланцюг замінює атом Гідрогену (іл. 5.2). У складніше організованій кислоті — *аланіні* — боковим ланцюгом є вже метильна група ($-\text{CH}_3$) (іл. 5.3).



Іл. 5.2. Формула гліцину (сірим фоном позначений боковий ланцюг)



Іл. 5.3. Формула аланіну (літерою R позначені різні види бокових ланцюгів)

Подальше урізноманітнення амінокислот зумовлене ускладненням бокового ланцюга. Він може складатись із вуглеводневого ланцюга, спиртового залишку, сполук Сульфуру, додаткової карбоксильної або аміногрупи

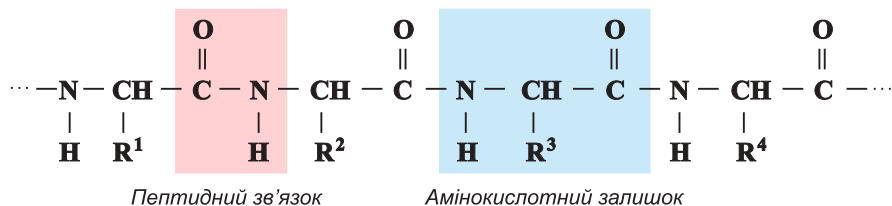
та навіть доволі складних органічних сполук, карбоновий ланцюг яких має форму кільця. Залежно від структури бокових ланцюгів амінокислоти мають різні хімічні та фізичні властивості.

Амінокислоти можуть бути неполярними, полярними, мати кислотні чи лужні властивості.

Незамінні амінокислоти. Рослини здатні синтезувати всі 20 потрібних для життя амінокислот, використовуючи для цього лише залишки карбонової та нітратної кислот і сонячну енергію. Тварини також можуть утворювати амінокислоти із простих молекул, проте не здатні синтезувати так звані незамінні амінокислоти. Ці амінокислоти не відіграють якоїсь особливої ролі, відмінної від інших амінокислот, і не мають надто складної будови. Кожному виду тварин властивий певний набір незамінних амінокислот. В організмі людини не синтезуються вісім аміно-

кислот: валін, ізолейцин, лейцин, лізин, метіонін, треонін, триптофан, фенілаланін. Незамінні амінокислоти повинні надходити до організму тварин і людини з їжею.

Пептидний зв'язок і пептиди. Амінокислоти здатні реагувати між собою — карбоксильна група однієї амінокислоти вступає в реакцію з аміногрупою іншої. Під час реакції утворюється молекула води, а валентності, що вивільнились, беруть участь у зв'язках між амінокислотами. Ковалентний зв'язок аміногрупи з карбоксильною ($-\text{NH}-\text{CO}-$) отримав назву *пептидного зв'язку*. Він властивий лише амінокислотам (іл. 5.4). Речовини, що складаються із залишків двох-восьми амінокислот, називаються *пептидами*, а ті, що складаються із залишків десяти-шістдесяти амінокислот — *поліпептидами*.



Іл. 5.4. Схема утворення пептидного ланцюга

Поліпептиди, що мають величезні розміри та відносно молекулярну масу понад 6 000 а. о. м., називають білками. Поліпептидний ланцюг білків, на відміну від полісахаридів, не має розгалуженої структури.

Функції амінокислот. Амінокислоти виконують насамперед структурну функцію, оскільки є ланками, з яких будуються білки. Крім того, їм притаманні інші важливі функції.

Окремі пептиди та амінокислоти є основою не лише для білків, а й для інших речовин. Наприклад, невід'ємним компонентом меланіну — пігменту шкіри та волосся людини — є амінокислота тирозин. Також на основі цієї амінокислоти утворюється гормон щитоподібної залози тироксин.

Амінокислоти, що надходять до організму тварини з їжею, можуть бути й джерелом енергії. Амінокислоти окислюються до CO_2 і H_2O та найпростіших нітрогеновмісних сполук, при цьому вивільняється 17,6 кДж енергії з 1 г амінокислоти.

Завдяки своїм амфотерним властивостям амінокислоти забезпечують стале рН вмісту клітини.

Рівні організації білків. У структурі білка виокремлюють чотири рівні організації.

Первинна структура білка — це сполучені пептидними зв'язками залишки амінокислот, що мають вигляд лінійного ланцюга, тобто вона утворюється міцними ковалентними зв'язками (іл. 5.5 а). До складу більшості тваринних і рослинних білків входять лише 20 амінокислот, які навіть у невеликому поліпептидному ланцюзі, що складається лише зі 150 амінокислот, можуть утворити понад 1 млрд комбінацій. Унаслідок такої різноманітності комбінацій кожен вид білка має свою унікальну амінокислотну послідовність. Оскільки до складу білка входять як кислоти, так і лужні амінокислоти, будь-який білок має амфотерні властивості.

Що більш спорідненими є види тварин і рослин, то подібніший у них порядок амінокислотних послідовностей тих самих білків.

Зокрема, з'ясували, що в людини й шимпанзе близько 98 % білків мають ідентичні амінокислотні послідовності, а тому вчені кажуть, що людину та шимпанзе «виліплено з одного молекулярного тіста». Для порівняння: у зовні дуже схожих видів мишей або мушок-дрозофіл лише 75 % білків організму ідентичні.

Вторинна структура — це закручений у спіраль поліпептидний ланцюг. Вважають, що така просторова форма молекули білка енергетично найвигідніша. Спіраль утворюється водневими зв'язками, які виникають між залишками СО-групи однієї амінокислоти і NH — іншої, причому вони виникають чітко між амінокислотами, що розділені в поліпептидному ланцюзі чотирма амінокислотними залишками. Водневі зв'язки значно слабші від ковалентних, але завдяки тому, що спіраль «прошита» численними водневими зв'язками, її структура дуже міцна (іл. 5.5 б).

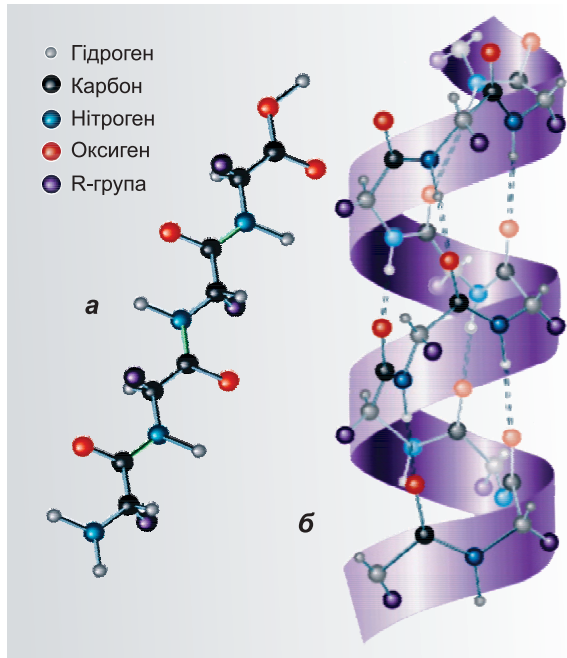
Третинна структура білка — це закручений у спіраль поліпептидний ланцюг, форму якого визначають взаємодії між залишками неполярних амінокислот (іл. 5.6). Саме внаслідок такого виду зв'язків крапельки жиру, розлитого на поверхні води, злипаються. Гідрофобні зв'язки слабші навіть за водневі, але їх кількість цілком достатня для підтримання форми молекули.

Слабкість гідрофобних зв'язків у даному випадку є навіть перевагою: вона робить третинну структуру білка доволі лабільною (від лат. *лабільіс* — нестійкий), що дає їм можливість функціонувати у різних умовах.

У деяких білків третинна структура молекули може стабілізуватись ще й ковалентними зв'язками між атомами

Сульфуру в молекулах амінокислоти серину, що розташовані на різних частинах молекули.

В організмі всі різновиди білків мають різну третинну структуру.



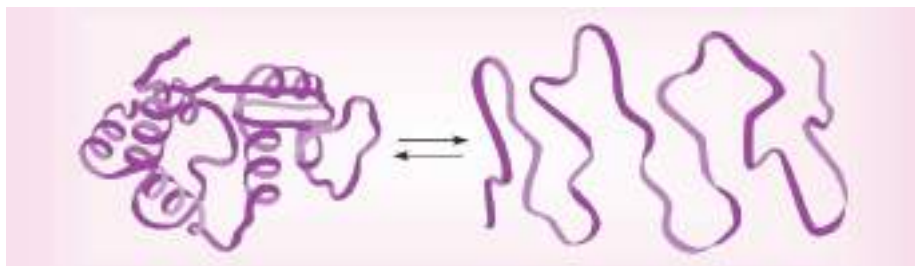
Іл. 5.5. Первинний (а) і вторинний (б) рівні організації білка



Іл. 5.6. Третинний рівень організації білка

Це означає, що кожному білку властива унікальна, причому доволі лабільна форма молекули.

Третинна структура білків залежить від внутрішньоклітинного середовища, зокрема від рН і температури. Значні коливання температури чи зміни хімічного складу клітини можуть порушити третинну структуру білка та впливають на його функціонування. Надмірне нагрівання або вплив сильнодіючих хімічних речовин призводить до *денатурації* (від лат. *de* — скасування, відсутність, усунення чого-небудь, *натура* — природні властивості) — зазвичай незворотного руйнування третинної структури білка (іл. 5.7).



Іл. 5.7. Денатурація білка



Іл. 5.8. Четвертинний рівень організації білка (гемоглобін)

Четвертинна структура білка. Окремі види білків утворюють надмолекулярні структури, у яких зазвичай сполучено дві або чотири однакові чи дуже близькі за будовою молекули. Наприклад, гемоглобін — пігмент крові людини — складається з чотирьох сполучених одна з одною молекул, дві з яких називають α -гемоглобінами, а дві — β -гемоглобінами (іл. 5.8). Четвертинну структуру мають білки, функції яких особливо важливі для організму.



Амінокислоти — це клас органічних сполук, що мають амфотерні властивості. Вони здатні реагувати між собою, утворюючи **поліпептидні ланцюги**, які є основою білків.

Молекули білка — це **біополімери**, які, на відміну від вуглеводів, являють собою лінійний нерозгалужений ланцюг ланки якого відрізняються хімічними та фізичними властивостями. Ще одна відмінність білків від полісахаридів полягає в тому, що білки мають кілька структурних рівнів організації.



1. Чому амінокислоти отримали таку назву? 2. Молекули деяких амінокислот не мають полярної будови, проте добре розчиняються у воді. Чим це пояснити? 3. Що таке пептидний зв'язок? 4. Які макромолекули називають білками? 5. Чим відрізняється будова полімерів, які складаються з моносахаридів, від полімерів, побудованих з амінокислот? 6. У чому полягає процес денатурації білків?



• Чому природа для утворення білків обмежилася лише 20 амінокислотами, хоча їх число з точки зору хімії є нескінченим?

§ 6. Різноманіття білків. Ферменти — біологічні каталізатори

Терміни й поняття: *протеїни, протеїди, ферменти, біологічний каталіз, субстрат, активний центр, фермент-субстратний комплекс.*

Головні групи білків. Усю різноманітність білків відповідно до будови поділяють на дві групи: прості — *протеїни* (від грец. *протос* — перший) і складні — *протеїди* (від протеїни) (від грец. *протос* та *ейдос* — вигляд). Протеїни — це білки, що складаються лише з амінокислот. Вони беруть участь у формуванні генетичного апарату клітини, визначаючи укладання ДНК у хромосомах; входять до складу крові, де виконують захисні функції; містяться в зерні злаків (іл. 6.1) як резервна речовина; є складовою кісток, хрящів і волосків у ссавців.

До складу протеїдів, окрім амінокислотного ланцюга, входить небілкова частина. Це можуть бути молекули вуглеводів, ліпідів, нуклеїнових кислот, залишки ортофосфатної кислоти, атоми металів та деякі інші речовини. Переважна частина білків клітини є протеїдами.

Функціональні групи білків. Вивчаючи фізіологію людини, ми розглядали різноманітні білки та їх функціональне призначення.

Структурні білки входять до складу всіх клітинних мембран. Крім того, вони є важливими компонентами кровеносних судин, нігтів, волосся та скловидного тіла ока.

Транспортні білки, до яких належить гемоглобін (іл. 5.8), розносять різноманітні невеликі молекули чи йони по організму.

Регуляторні білки — це певні гормони. Вони регулюють процеси життєдіяльності організму і виробляються в залозах внутрішньої секреції. Серед них найбільш відомими є гормони росту, що утворюються в гіпофізі, та гормони підшлункової залози, зокрема *інсулін* (іл. 6.2).

Запасальні білки містяться в яйцях тварин або в зернах рослин. Вони є резервними речовинами, які слугують для побудови тіла зародка, що розвивається.

Білок молока *казеїн* виконує функцію поживної речовини й міститься лише в молоці ссавців.



Іл. 6.1. У зернах пшениці білки становлять 12 % маси всіх речовин

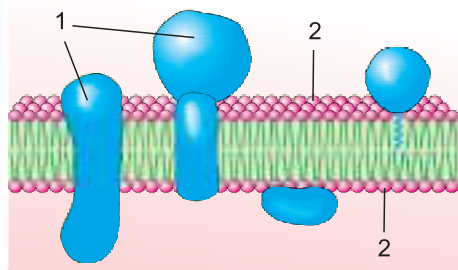


Іл. 6.2. Первинна структура молекули інсуліну

Захисні білки. До них належать імуноглобуліни, з яких формуються захисні речовини крові — *антитіла*.

Скоротливі білки входять до складу клітин м'язів — це білки *актин* і *міозин*. Вони мають вигляд довгих ланцюгів, закручених у спіраль.

Низка білків здійснює в організмі **сигнальну функцію**. До цієї групи належать рецепторні білки плазматичної мембрани (іл. 6.3), що слугують для розпізнавання клітиною певних гормонів.



Іл. 6.3. Плазматична мембрана: білки (1), фосфоліпіди (2)



Іл. 6.4. Дводишна риба протоптерус

Білки також виконують чимало інших функцій, що безпосередньо не пов'язані з їх первинним призначенням у клітині. Наприклад, під час тривалого голодування частину білків організм може використовуватись як джерело енергії.

Білковий ланцюг руйнується до амінокислот, які в подальшому окиснюються. За повного окиснення 1 г білка виділяється 17,6 кДж енергії. Африканські дводишні риби роду Протоптер (іл. 6.4) легко перецінують пересихання водою, зариваючись у мул на кілька місяців. Джерелом речовин та енергії, необхідних для підтримання життєдіяльності, є їх власні м'язи.

Ферменти (від лат. *ферментум* — закваска) — це група білків, які виконують функцію біологічних каталізаторів.

Ферменти здатні прискорювати хімічні реакції більш ніж у 10^{11} разів. Зазвичай фермент складається з двох частин: білкової та небілкової. До небілкової частини ферменту

можуть входити різноманітні *вітаміни* (від лат. *vita* — життя), йони металів (найчастіше — Mg^{2+}), або інші сполуки.

У клітинах навіть найпростішого за будовою одноклітинного організму міститься принаймні кілька сотень видів ферментів, кожний з яких каталізує певну реакцію, впливаючи на конкретну речовину — *субстрат*.

Відповідно до того, на який саме субстрат впливає фермент, він отримав свою назву. Наприклад, фермент, який розщеплює полісахарид амілозу до молекул глюкози, називають *амілазою*.

Біологічний каталіз (від грец. *каталізіс* — руйнування). Для того щоб зрозуміти сутність біологічного каталізу, ознайомтеся з арабською притчею, яку розповів королю Данії біохімік Кай Ульрік Ліндерстрем-Ланг (1896–1959) під час вручення йому нагороди в 1941 році.

Помирає старий араб. Усім його багатством були 17 прекрасних білих верблюдів. Перед смертю чоловік зібрав своїх трьох синів та оголосив їм заповіт: «Мій

старший син, опора родини, повинен отримати після моєї смерті половину всіх верблюдів, середньому синові я залишаю третю частину верблюдів, а молодшому — дев'яту частину стада».

Сказав так і помер. А браття, поховавши батька, почали ділити стадо. Але ж 17 не ділиться ані на 2, ані на 3, ані на 9!

Допоміг братам старий мудрець, який їхав поблизу. «Здійснити волю батька дуже просто, — сказав він. — Я дарую вам свого старого чорного верблюда, а ви спробуйте поділити стадо».

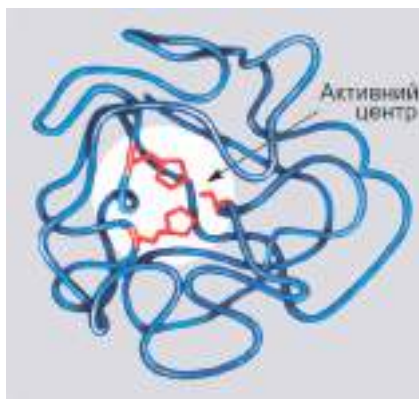
У братів стало 18 верблюдів. Старший син отримав половину стада — 9, середній отримав третину — 6, а молодший отримав дев'яту частину — двох верблюдів. Але $9 + 6 + 2 = 17$. Старий чорний верблюд виявився зайвим, і мудрець поїхав далі.

Цей чорний верблюд діяв як каталізатор: він уможливив процес, який без нього був би занадто складним і тривав би дуже довго, а сам залишився без змін.

Отже, каталіз — це процес прискорення хімічних реакцій у тисячі й мільйони разів під впливом певних речовин, які самі в процесі реакції не змінюються, ефективно діючи в мізерній кількості.

Основою життєдіяльності кожного організму є величезна кількість взаємопов'язаних хімічних реакцій, перебіг яких відбувається миттєво. Цю надзвичайну швидкість перетворень одних речовин на інші забезпечують ферменти. Хімічні реакції, що відбуваються в клітинах за лічені секунди, у звичайних умовах тривають роками. Так, розчин сахарози за кімнатної температури може протягом кількох років зберігатися без жодних змін, а після додавання ферменту сахарази цей олігосахарид розкладеться на молекули глюкози та фруктози за кілька хвилин. Щоб досягти подібного ефекту іншим шляхом, потрібно сильно нагріти розчин і додати до нього хлоридну чи сульфатну кислоту. У живій клітині це здійснити неможливо.

Принцип дії ферментів. У чому ж полягають механізми каталітичної дії ферментів? У який спосіб вони прискорюють хімічні реакції без підвищення температури й отримання енергії ззовні? У молекулі ферменту містяться особливо активні амінокислоти, що розташовуються поряд і утворюють активний центр (іл. 6.5), здатний швидко взаємодіяти лише з певним субстратом. При цьому субстрат підходить до активного центру ферменту, «як ключ до замка», а тому перебіг реакції субстрату з активним центром миттєвий. Унаслідок реакції виникає фермент-субстратний комплекс, який потім легко розпадається, утворюючи нові продукти. Речовини, що утворилися, відокремлюються від ферменту, який відновлює свою структуру та стає здатним знову здійснювати ту саму реакцію. Отже, за секунду фермент реагує з мільйонами молекул субстрату й при цьому сам не руйнується. Подальше перетворення речовини, що утворилася внаслідок фермен-



Іл. 6.5. Модель молекули ферменту (червоним кольором позначені функціональні групи активного центру)

тативної реакції, здійснює другий фермент, далі — третій і т. д. У клітинах містяться тисячі різних ферментів. Вони контролюють перебіг тисяч хімічних реакцій, які є основою всіх життєвих процесів: росту, дихання, м'язового скорочення, нервового імпульсу, травлення (іл. 6.6).



Іл. 6.6. Схема послідовності етапів роботи ферменту, пов'язаних з утворенням фермент-субстратного комплексу

Ферменти пришвидшують реакції навіть за дуже низької концентрації речовини в клітині, що надзвичайно важливо, особливо в тих випадках, коли за допомогою ферментів організм позбавляється шкідливих речовин. Наприклад, фермент каталаза, що розщеплює молекули небезпечної для організму речовини гідроген пероксиду (H_2O_2) на воду (H_2O) і кисень (O_2), за одну секунду руйнує стільки молекул, скільки за звичайних умов руйнується протягом 300 років.

Умови роботи ферментів. Дія ферменту є найефективнішою за температури близько $+40\text{ }^\circ\text{C}$ і певних значеннях рН середовища. Підвищення температури відносно оптимальної навіть до $50\text{ }^\circ\text{C}$ вже призводить до руйнування активного центру ферменту, при цьому він назавжди втрачає можливість виконувати свої функції. Це зумовлено тим, що порушення третинної структури білка незворотне, а тому після охолодження молекула ферменту не відновлює свою структуру. Навіть нетривалий вплив високої температури вбиває живі організми.

Проте існують організми, ферменти яких пристосувалися до високих температур. Наприклад, в Африці в гарячих джерелах з температурою води близько $+60\text{ }^\circ\text{C}$



Іл. 6.7. Термосбена дивовижна

живе та розмножується представник класу Ракоподібні *термосбена дивовижна* (іл. 6.7), а деякі бактерії навіть живуть у водоймах, де температура води становить понад $+70\text{ }^\circ\text{C}$.

Руйнування структури ферменту можуть спричинити отрути, що потрапляють до організму навіть у незначній кількості.

Ці речовини неминуче сполучаються з активним центром ферменту і в такий спосіб порушують його діяльність. Однією з найсильніших отрут є синильна кислота, яка блокує роботу дихального ферменту цитохромоксидази. Тому навіть незначна кількість цієї речовини, потрапивши до організму, спричинює смерть від задухи.

У свою чергу, ферменти також можуть бути отрутами. Зокрема, отрута змій — це не що інше, як суміш ферментів, які внаслідок укусу змії потрапляють до кровоносної системи і починають швидко руйнувати речовини, з яких складаються клітини й тканини організму.



За будовою білки поділяють на **прості (протеїни)** та **складні (протеїди)**. Ферменти — це біологічні каталізатори, без участі яких не відбувається жоден життєвий процес. Ферменти лише прискорюють перебіг реакцій і під час реакції не витрачаються. Біологічний каталіз вирізняється надзвичайно високою ефективністю і здатністю ферментів чітко вирізняти речовину, з якою він взаємодіє.



1. За якою ознакою білки поділяють на протеїни і протеїди? 2. У які функціональні групи об'єднують білки? 3. У чому полягає енергетична функція білків? 4. Що таке ферменти? 5. Яким чином ферменти прискорюють хімічні реакції? 6. Як температура впливає на дію ферментів?



• Чи можуть ферменти каталізувати реакцію, яка в умовах пробірки взагалі не відбувається?

§ 7. Нуклеїнові кислоти та нуклеотиди

Терміни й поняття: нуклеїнові кислоти, нуклеотиди, азотисті основи, макроергічні зв'язки, аденозинтрифосфорна кислота (АТФ), дезоксирибоза, дезоксирибонуклеїнова кислота (ДНК), рибоза, рибонуклеїнова кислота (РНК), рибосоми, генетична інформація.

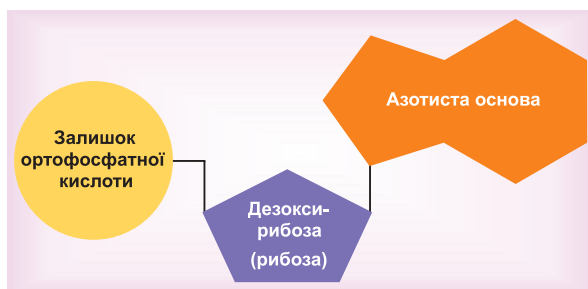
Нуклеїнові (від лат. *нуклеус* — ядро) **кислоти** — це біологічні полімери, до складу яких, окрім найбільш поширених у клітинах живих організмів елементів (С, Н, О, N), неодмінно входить Фосфор (Р). Нуклеїнові кислоти переважно зосереджені в ядрі клітини, де їх уперше виявили. Із цим пов'язане походження їх назви. Вони обов'язково містяться в клітинах усіх живих організмів.

Мономери нуклеїнових кислот. Мономерами, або структурними одиницями нуклеїнових кислот, є *нуклеотиди*. До складу молекули нуклеотиду входять:

- азотиста основа — речовина зі складною циклічною структурою молекули;
- п'ятикарбоний цукор (рибоза чи дезоксирибоза);
- залишок ортофосфатної кислоти (H_3PO_4), наявність якого визначає кислотні властивості нуклеотиду (іл. 7.1).

Усього до складу нуклеїнових кислот входять п'ять видів нуклеотидів, що отримали назви відповідно до вмісту в них нітратних основ (табл. 2).

Полінуклеотидний ланцюг та його будова. Нуклеотид, що складається з однієї нітратної основи, однієї молекули п'ятикарбонного цукру та одного залишку ортофосфатної кислоти, називають **мононуклеотидом**. Мононуклеотиди, так само як



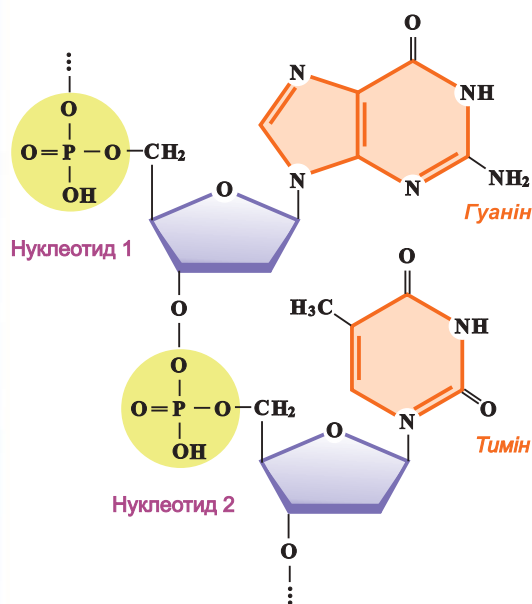
Іл. 7.1. Схема будови нуклеотиду

амінокислоти та моносахариди, можуть реагувати між собою, утворюючи полімерні сполуки — *полінуклеотиди*. Перебіг такої реакції супроводжується виділенням молекули води та утворенням міцного етерного зв'язку.

Таблиця 2.

Азотиста основа	Назва нуклеотиду	Позначення
Аденін	аденіловий	А
Гуанін	гуаніловий	Г
Тимін	тимідиловий	Т
Урацил	уридиловий	У
Цитозин	цитидиловий	Ц

Речовиною, що сполучає нуклеотиди, є залишок ортофосфатної кислоти, що скріплює цукри сусідніх нуклеотидів, у такий спосіб формуючи *полінуклеотид*, який зазвичай називають нуклеїною кислотою (іл. 7.2). Ця сполука може містити



Іл. 7.2. Полінуклеотид (фрагмент первинної структури ділянки ланцюжка ДНК)

від кількох сотень до кількох мільйонів нуклеотидів, що залежить від типу молекули. Полінуклеотиди мають чітку лінійну структуру ланцюга. Маса нуклеїнових кислот зазвичай значно більша від маси білків.

Типи нуклеїнових кислот. За молекулами вуглеводів, а також за складом нітратних основ нуклеїнові кислоти поділяють на два типи: ДНК та РНК.

Дезоксирибонуклеїнова кислота (ДНК). До складу її нуклеотиду входять: цукор дезоксирибоза, чотири типи азотистих основ (аденін, гуанін, тимін та цитозин), а також залишок ортофосфатної кислоти.

У клітинах рослин, тварин та грибів ДНК зосереджена в ядрі, її практично немає в цитоплазмі клітини. Цей тип нуклеїнових кислот утворює лише дуже

великі молекули, що складаються з двох ланцюгів. Вони в середньому налічують близько 300 тис. пар нуклеотидів і мають масу близько 100 млн а. о. м.

Рибонуклеїнові кислоти (РНК). Їх мононуклеотиди утворені з моносахариду *рибози*, а також чотирьох типів азотистих основ: *аденіну* та *гуаніну*, *цитозину* та *урацилу*. Ці величезні кислоти містяться як у ядрі, так і в цитоплазмі, мають лише один полінуклеотидний ланцюг (іл. 7.3) і вирізняються відносно незначними розмірами — від 75 до кількох тисяч нуклеотидів. Уміст РНК в ядрах клітин різного віку та різного фізіологічного стану істотно різниться. Відомі декілька типів РНК,

різних за розмірами й структурою молекул, до того ж вони виконують у клітині різні функції.

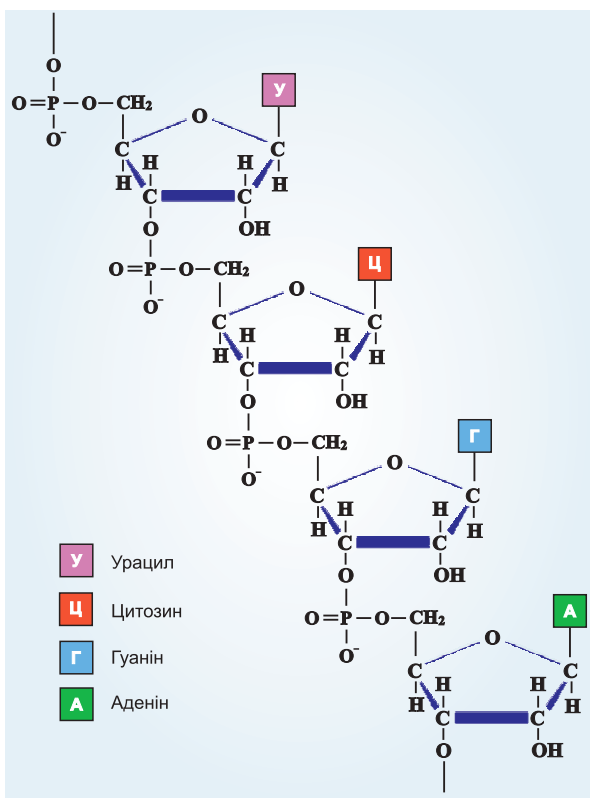
Типи РНК. Дослідження показали, що в клітинах всіх живих істот обов'язково є РНК трьох основних типів і всі вони, так чи інакше, беруть участь в одному процесі — біосинтезі білка, забезпечуючи різні етапи цього складного процесу. Близько 90 % РНК міститься в цитоплазмі, решта — у ядрі.

Рибосомальна РНК (рРНК). Це найбільш масова РНК. На неї припадає 75–85 % цієї речовини в клітині. Існує вона у вигляді солі Магнію. Насправді рРНК — це не одна молекула, а сукупність молекул кількох типів із доволі значним (2,5–4,0 тис.) або кількох типів з різним числом нуклеотидних залишків. Цей тип РНК є основною речовиною рибосом — особливих органодів клітини, у яких відбувається біосинтез білка (іл. 7.4).

Молекули рРНК формують, подібно до білків, складну тривимірну структуру та мають ще одну унікальну властивість — каталізують хімічні реакції. Синтезується рРНК у чітко визначених певних ділянках ядра — ядерцях.

Транспортна РНК (тРНК) — це найменші молекули РНК, що нараховують від 70 до 90 нуклеотидів і становлять 15 % усієї маси РНК клітини. Для кожної з 20 амінокислот, що входять до складу білка, є своя тРНК. Усього їх відомо понад 80 видів. тРНК — це тривимірна структура, специфічна й стабільна, що за формою нагадує листок конюшини (іл. 7.5). Функція тРНК полягає в транспортуванні амінокислот, що задіяні в біосинтезі білка, причому на кожну з 20 основних амінокислот припадає не менше одного виду тРНК.

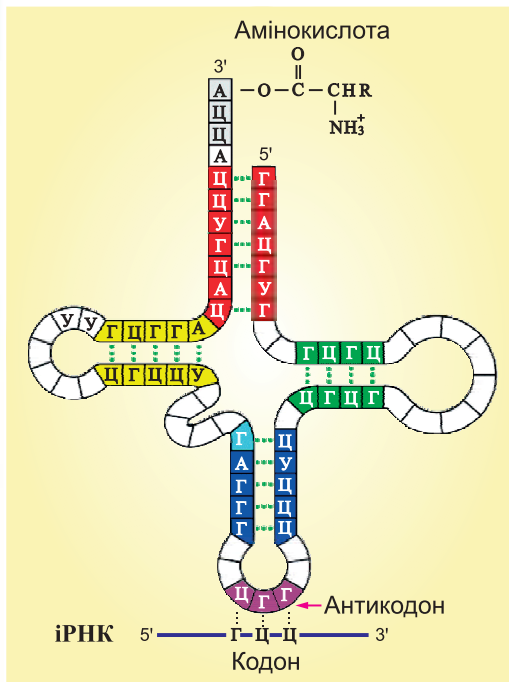
Інформаційна РНК (іРНК) (інша назва — *матрична мРНК*). Її питома маса серед різних типів РНК — 1–5 %. Молекули іРНК містять від 100 до 6 000 залишків



Іл. 7.3. Схема будови фрагмента молекули РНК



Іл. 7.4. Будова рибосоми



Іл. 7.5. Модель молекули тРНК

нуклеотидів. Вони мають молекулу, що складається з двох ланцюгів. РНК набагато коротші та мають не більш ніж кілька тисяч нуклеотидів. Для них характерна одноланцюгова молекула.

Генетична інформація. На перший погляд, розташування чотирьох типів нуклеотидів у ланцюжку ДНК, наприклад, ...А Т Т Г Г Ц А Т А Т А Г..., є зовсім випадковим. Воно не відповідає ані розподілу 1 : 1 : 1 : 1, ані ще якомусь іншому. Проте, як згодом з'ясували, порядок розміщення нуклеотидів у ланцюзі ДНК має цілком закономірний характер, хоча й не підпорядковується, здавалося б, очевидним математичним закономірностям. У послідовності нуклеотидів ДНК закодована генетична інформація про особливості первинної структури (послідовність амінокислот у поліпептиді) та набір білків, властивих певній клітині. Виявляється, що ця послідовність специфічна не лише для певного виду організмів, а й для окремих особин. Установлено, що послідовність нуклеотидів у ДНК чітко передається від батьківської клітини до дочірньої під час клітинних поділів.

АТФ — вільний нуклеотид будь-якої клітини. Крім нуклеотидів, що входять до складу нуклеїнових кислот, неодмінним компонентом будь-якої клітини є так звані вільні нуклеотиди. До складу вільних нуклеотидів входить до трьох залишків ортофосфатної кислоти, що послідовно сполучаються один з одним (іл. 7.6). Причому друга й третя молекули ортофосфатної кислоти приєднуються до нуклеотиду особливими зв'язками, у яких запасається енергія. Ці зв'язки називають *макроергічними* (від грец. *маκρος* — великий та *εργον* — робота, дія) і позначають «~».

іРНК синтезується, як і всі інші РНК, у ядрі, саме тут — найвища її концентрація. Має ниткоподібну форму.

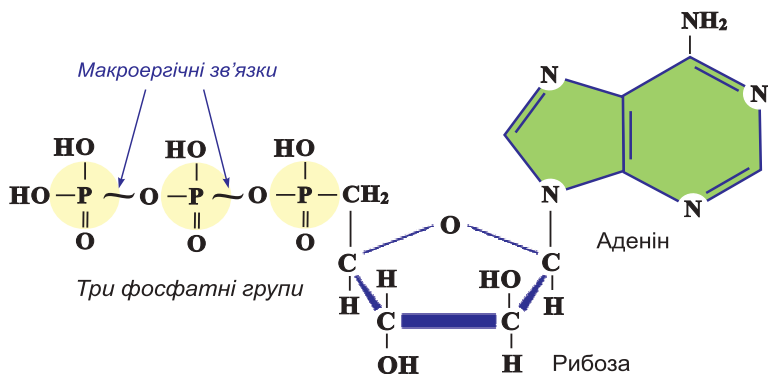
Молекули іРНК нестійкі й у цитоплазмі швидко розпадаються. Свою назву іРНК отримала через те, що в ній «зашифрована» інформація про послідовність амінокислот у білках, а крім того, по іРНК, як по матриці, відбувається біосинтез білків.

Відмінності між ДНК і РНК. Між ДНК і РНК, що містяться в клітинах усіх без винятку організмів, існує три основні відмінності.

- ДНК містить дезоксирибозу, а РНК — рибозу,
- ДНК складається з нуклеотидів А, Т, Г, Ц, а РНК — з А, У, Г, Ц (тобто замість *тиміну* до одного з них входить *урацил*).
- Молекули ДНК величезні за розмірами й складаються з мільйонів

Найпоширенішим серед нуклеотидів є *аденозинтрифосфат* (АТФ), частка якого в масі клітини становить близько 0,5 %. Саме він відіграє ключову роль у клітинних перетвореннях енергії. АТФ складається з аденіну, рибози й трьох залишків ортофосфатної кислоти та здійснює функцію акумулятора енергії в клітині.

Будь-яка хімічна реакція, що потребує затрат енергії, пов'язана з відщепленням одного залишку ортофосфатної кислоти в молекулі АТФ і перетворення її на *аденозиндифосфат* (АДФ). Накопичення енергії в клітині, навпаки, відбувається за рахунок перетворення АДФ на АТФ.



Іл. 7.6. Будова молекули АТФ



Нуклеїнові кислоти — це найбільші за розмірами біополімери, структурною одиницею яких є мононуклеотиди. Вони складаються з азотистої основи, п'ятикарбонного цукру та одного залишку ортофосфатної кислоти.

Відповідно до виду п'ятикарбонного цукру нуклеїнові кислоти поділяють на два типи: РНК і ДНК, які різняться структурою і характером функцій у клітині.

Вільні мононуклеотиди є неодмінними компонентами цитоплазми будь-якої клітини, а нуклеотид АТФ — ключова речовина, що бере участь у перетвореннях енергії в клітині.



1. До якої категорії біологічних молекул належать нуклеїнові кислоти? 2. Які хімічні елементи неодмінно містяться в молекулі нуклеїнової кислоти? 3. Назвіть три компоненти, з яких складається нуклеотид. 4. Які зв'язки називають макроергічними? 5. Чому АТФ називають акумулятором клітини? 6. Чим різняться будови нуклеотидів ДНК і РНК, а також їх розташування у клітині? 7. Як саме ДНК виконує спадкову функцію?



- Чому молекули ДНК є найбільшими біологічними макромолекулами?
- Чому в молекулах нуклеїнових кислот містяться п'ятиатомні цукри, а не шестиатомні?

§ 8. Будова ДНК

Терміни і поняття: *правила Чаргаффа, комплементарність, концепція подвійної спіралі, хроматин, плавлення ДНК.*

Функція ДНК. Питання про речовину, з якої побудовані гени, залишалось нез'ясованим навіть тоді, коли генетики вже зробили свої перші й, мабуть, головні наукові відкриття. Спочатку вчені вважали, що роль речовини-носія спадковості відіграють особливі білки, що містяться в ядрі. Адже серед біологічних молекул саме

білки мають найрізноманітнішу будову, а тому, на перший погляд, можуть забезпечити успадкування величезного числа ознак і функцій, властивих будь-якому організму. ДНК, на думку вчених того часу, не могла мати до цих механізмів безпосереднього стосунку, оскільки її будова занадто одноманітна, а тому їй призначали лише роль зберігача Фосфору в клітині.

Роль ДНК у клітині та її молекулярна просторова будова залишались таємницею для декількох поколінь учених і лише в 40–50-х роках ХХ ст. було встановлено, що ДНК має одну-єдину функцію — зберігання та передачу потомству спадкової інформації.

Першими кроками, що дозволили розгадати таємницю ДНК як зберігача генетичної інформації, стали дослідження кількох наукових шкіл, здійснені в 1940-х роках. Вагомий внесок у розв'язання цієї наукової проблеми зробив український генетик Сергій Михайлович Гершензон. Він одним з перших довів, що ДНК є «генетичною речовиною». Хід експериментів, які він проводив, був таким. Мушок-дрозофіл поміщали в пробірки з поживним середовищем, у якому містилася велика кількість чистої ДНК. У таких пробірках виявився надзвичайно великий відсоток особин з генетичними порушеннями (мутаціями). До цих порушень не призводило додавання білків, вуглеводів, ліпідів, вітамінів та будь-яких інших біологічних молекул. Тому був зроблений висновок: саме ДНК має безпосередній стосунок до зберігання й передачі спадкової інформації, але питання про механізм дії цієї генетичної речовини та структури її молекул залишалися нез'ясованими до 50-х років ХХ ст.



Сергій
Гершензон
(1906–1998)

Будова ДНК. Дослідження нуклеотидного складу ДНК різних видів організмів, а також пошук кількісних закономірностей у співвідношеннях нуклеотидів було розпочато в 1949–1951 рр. групою дослідників, очолюваних Ервіном Чаргаффом (1905–2002). Зокрема ними була встановлена дивна закономірність. Виявляється кількість аденіну в молекулі ДНК дорівнює кількості тиміну ($A = T$), а кількість гуаніну — цитозину ($G = C$). Відповідно сумарна кількість аденіну та гуаніну буде дорівнювати сумарній кількості тиміну та цитозину ($A + G = T + C$). Згодом ці закономірності стали називати *правилами Чаргаффа*.



Ервін Чаргафф
(1905–2002)

Спроба встановити константу в співвідношенні $(A + T) / (G + C)$ не була успішною. Виявилось, що відношення числа пар нуклеотидів $A + T$ до числа пар $G + C$ змінюється залежно від виду організму.

Відкриття подвійної спіралі ДНК. Фактами, що послужили для розкриття просторової структури ДНК, були не лише дані про співвідношення нуклеотидних основ, отримані Е. Чаргаффом, а й результати рентгенівського аналізу кристалів натрієвої солі ДНК. На рентгенограмах,

які отримали англійські фізики Моріс Вілкінс (1916–2004) і Розалінда Франклін (1920–1958), було видно, що ДНК має спіральну структуру.

Однак честь відкриття структури ДНК належить двом іншим англійським ученим — Джеймсу Ватсону та Френсісу Кріку. Вони змогли першими створити достовірну модель ДНК, яку тепер називають моделлю подвійної спіралі.

Ця модель вдало поєднує у собі дві виявлені на той час особливості: спіральну форму молекули та її подвійну будову.

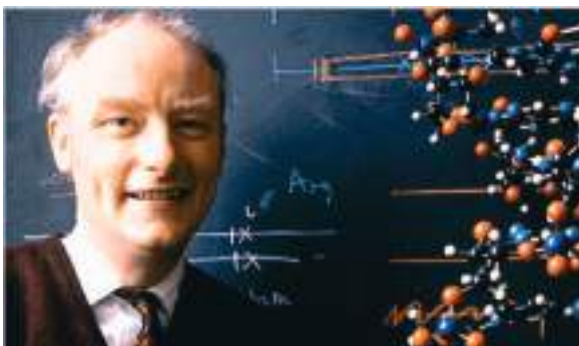
Сучасні уявлення про структуру ДНК. Як і білки, ДНК має первинну структуру — просту послідовність нуклеотидів і тривимірну геометричну будову. Зараз основні положення моделі Ватсона та Кріка про молекулярну організацію ДНК підтвердились. Молекула ДНК складається з двох полінуклеотидних ланцюгів; кожний ланцюг закручений як правий гвинт навколо однієї й тієї самої осі, утворюючи подвійну спіраль. На один виток спіралі припадає 10 нуклеотидів (іл. 8.1).

Ланцюги ДНК побудовані із залишків дезоксирибози, сполучених містками за допомогою залишку ортофосфатної кислоти; ланцюги спрямовані в різні боки.

Полінуклеотидні ланцюги з'єднані між собою водневими зв'язками, що виникають між азотистими основами різних ланцюгів, які розміщені один навпроти одного. Між аденіном і тиміном різних ланцюгів утворюються два водневих зв'язки ($A = T$), а між гуаніном і цитозином — три ($G \equiv C$).

Водневі зв'язки доволі слабкі, але завдяки багаторазовій повторювальності вони утворюють дуже міцну структуру, яка водночас є лабільною. Це надає спіралі ДНК можливість легко розкручуватись, а потім знову швидко відновлювати дволанцюгову структуру.

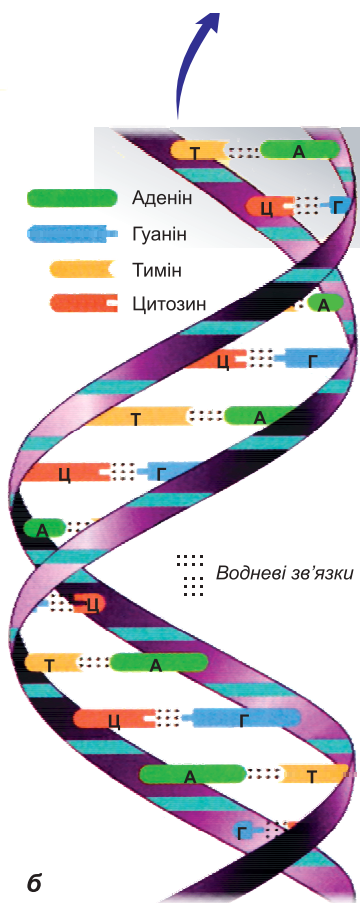
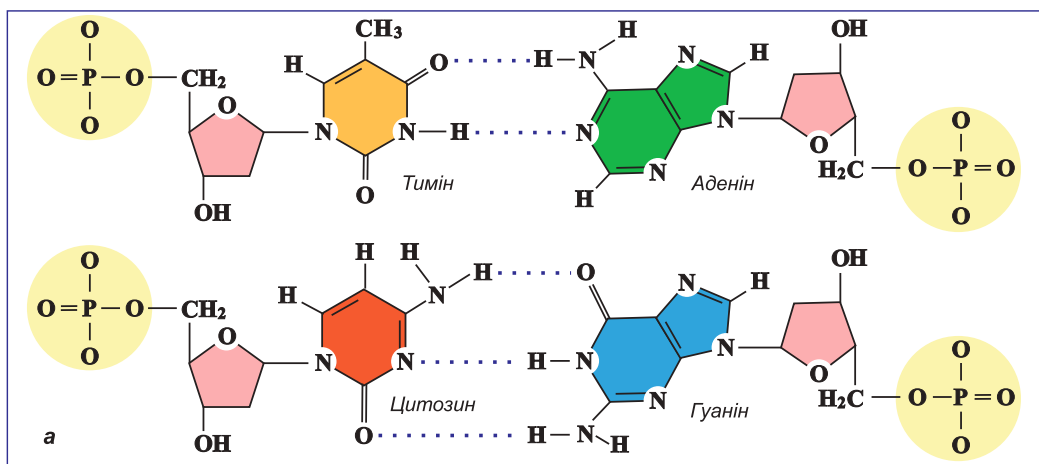
Азотисті основи А і Т, Г і Ц, подібно до двох частин одного розбитого блюда, геометрично доповнюють одна одну. Здатність доповнювати, яка притаманна поверхням молекул деяких хімічних сполук, називають *комплементарністю* (від лат. *комплементам* — доповнення). Отже, якщо на якійсь ділянці ланцюга послідовно розташовані нуклеотиди А, Т, Г, Ц, то на протилежній ділянці за принципом



Френсіс Крік (1916–2004)



Джеймс Ватсон (нар. 1928)

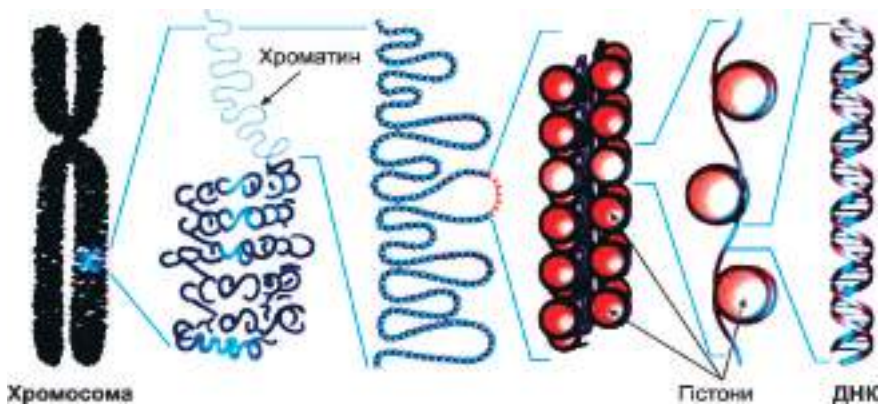


Іл. 8.1. Структурна формула (а) та просторова модель (б) фрагменту молекули ДНК

комплементарності розмістяться Т, А, Ц, Г. На послідовність нуклеотидів молекули, а також на довжину ланцюга не існує жодних обмежень. Така модель подвійної спіралі чітко обґрунтовує відповідність числа азотистих основ у молекулі ДНК.

ДНК у клітинному ядрі. Як показали спеціальні розрахунки, довжина молекули ДНК у клітині людини в нормальному стані становить близько 8 см. Звідси природно виникає питання: у який же спосіб така довга молекула укладається в клітинне ядро? Виявляється, що в ядрі клітини ДНК перебувають у суперспіралізованому стані й на один виток спіралі може припадати значно більше, ніж 10 нуклеотидів. Крім того, в ядрі ДНК взаємодіє з білками, які мають лужні властивості й утворюють речовину *хроматин* (від грецьк. *хрома* — колір, забарвлення), яка укладається певним способом: схоже, як намотується нитка на катушку (іл. 8.2).

Плавлення ДНК. Під впливом високих температур або інших фізичних чи хімічних факторів ДНК, як і білок, втрачає притаманну їй тривимірну геометричну форму та розпадається на одинарні ланцюги. Цей процес відбувається за температури $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ — значно вищій від температури денатурації білків, а тому має назву *плавлення*. Після зниження температури початкова структура ДНК, на відміну від білків, повністю відновлюється.



Іл. 8.2. Молекулярна модель хроматину



ДНК виконує одну-єдину функцію — зберігання спадкової інформації. Молекули ДНК мають форму подвійної спіралі, що складаються з двох ланцюгів, які доповнюють один одного за принципом комплементарності та мають чітко визначену просторову структуру.



1. У чому полягали перші докази, що ДНК є генетичною речовиною? 2. У чому суть правила еквівалентності числа азотистих основ у молекулі ДНК? 3. Що таке комплементарність? 4. Назвіть головні положення концепції подвійної спіралі. 5. Чому денатурацію ДНК називають плавленням?



- Між якими нуклеотидами різних ланцюгів зв'язки міцніші: гуаніловим і цитидиловим чи аденіловим і тимідиловим?
- Чому ДНК має дволанцюгову структуру?

Лабораторне дослідження № 1

Тема. Властивості ферментів на прикладі дії каталази.

Мета роботи: з'ясувати роль ферментів у біохімічних процесах: 1) порівняти активність ферменту в живих і мертвих тканинах рослин; 2) обґрунтувати значення ферменту каталази в клітинах рослин.

Обладнання та матеріали: свіжий 3 % розчин гідроген пероксиду, мікроскоп, живий листок елодеї (чи іншої кімнатної рослини), мертвий листок елодеї (після кип'ятіння), піпетка, пінцет, предметне скло, покривне скло, серветка, склянка з водою.

Теоретична частина. Усі реакції в організмах відбуваються під дією біологічних каталізаторів — ферментів. Ферменти прискорюють реакції у мільйони разів, але не здатні здійснювати реакції, які взагалі не можуть відбуватися за звичайних умов. В основі роботи фермента лежить його взаємодія із субстратом — речовиною, на яку він діє, але під час реакцій фермент ніколи не витрачається. Каталаза — це фермент який здійснює реакцію розпаду гідроген пероксиду: $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$.

Хід роботи.

1. Налаштуйте мікроскоп, виставивши потрібне збільшення. Приготуйте препарат листка елодеї. Розгляньте препарат під мікроскопом та замалюйте кілька клітин листка.
2. Капніть на мікропрепарат краплю гідроген пероксиду і знову розгляньте препарат під мікроскопом. Поясніть спостережуване явище.
3. Нанесіть краплю гідроген пероксиду на мертвий листок елодеї та опишіть спостережуване явище.
4. Заповніть протокол лабораторного дослідження:

- зазначте збільшення мікроскопа, на якому проводилося дослідження;
- запишіть результат спостереження;
- запишіть пояснення явища.

Практична робота № 1

Тема. Розв'язання елементарних вправ зі структури білків та нуклеїнових кислот.

Теоретична частина. Молекули ДНК мають форму спіралі й складаються з двох полінуклеотидів, що сполучені між собою за принципом комплементарності водневими зв'язками. Гуаніловому нуклеотиду комплементарний цитозиновий, а тиміновому — аденіловий. Повний оберт спіралі, або один крок — це оберт ланцюга на 360° . На оберт припадає 10 пар нуклеотидів, довжина одного крока становить 3,4 нм, а відстань між нуклеотидами — 0,34 нм. Середня маса одного нуклеотида становить 345 а. о. м.

Молекули ДНК відрізняються від РНК за складом нуклеотидів і кількістю полінуклеотидних ланцюгів у молекулі.

Молекули білка — це лінійні поліпептиди, мономером яких є амінокислотний залишок. Його довжина в молекулі білка становить 0,35 нм, а маса — 110 дальтонів. Усього до складу білків входить 20 амінокислот, які за своїми фізичними та хімічними властивостями поділяють на чотири групи: неполярні, полярні, кислі (аспарагінова та глутамінова кислоти) та основні (лізин та аргінін). Комбінація цих амінокислот визначає заряд молекули та її хімічні властивості.

Розв'яжіть задачі та вкажіть правильні відповіді.

1. Укажіть правильну послідовність нуклеотидів на другому ланцюзі ДНК, якщо на першому вона має такий вигляд: А Г Т А Ц Ц Г А Т А Ц Т Ц Г А.

А А Г Т А Ц Ц Г А Т А Ц Т Ц Г А **Б** А Г Ц Т Ц А Т А Г Ц Ц А Т Г

В Т Ц А Т Г Г Ц Т А Т Г А Г Ц Т **Г** Т Ц А Т А А Ц Т А Т Г А Г Ц Т

2. Укажіть частку гуанілового нуклеотида в молекулі ДНК, якщо частка аденілового становить 25 %.

А 5 % **Б** 25 % **В** 50 % **Г** 75 %

3. Укажіть довжину полінуклеотидного ланцюга в нм, якщо він складається з 345 нуклеотидів.

А 103,5 **Б** 116,96 **В** 117,3 **Г** 117,64

4. Укажіть кількість амінокислот, які входять до молекули білка, що важить 36 630 дальтонів.

А 113 **Б** 233 **В** 333 **Г** 363

5. Укажіть полінуклеотид, який є частиною РНК.

А А А А А А А А Ц Ц Ц Ц Ц Ц

Б Т Т Т Т Т Т Т Т Т Г Г Г Г Г Г Г

В Г Г Г Г Г Г Г Г Ц Ц Ц Ц Ц Ц

Г У У У У У У У А А А А А А

Тестові завдання до теми 1

1. Наука, яка вивчає форму тіла організму в усіх її деталях

А систематика **Б** морфологія **В** анатомія **Г** зоологія

2. Рівень організації, до якого належить амеба

А клітинний

Б організмий

В молекулярно-генетичний

Г клітинний та організмий

3. Метод наукового дослідження екологічного стану річки протягом 20 років

- A** метод спостереження
B експериментальний метод
V метод історичного аналізу
Г метод моніторингу

4. Хімічні елементи, які називають макроелементами

- A** Карбон, Оксиген, Гідроген та Нітроген
B частка яких не менша ніж 0,01 %
V що входять до складу органічних сполук
Г частка яких не менша ніж 1 %

5. Особливість молекули води, яка зумовлює її таке вагомє біологічне значення

- A** полярність
B великі розміри
V дрібні розміри
Г хімічна інертність

6. Функція яку, виконує йон Mg^{2+} у клітинах рослин

- A** зумовлює подразливість
B входить до складу хлорофілу
V є складовою рослинних гормонів
Г входить до складу клітинної оболонки

7. Тварина, у якої вода формує опору тілу

- A** амеба
B планарія
V губка
Г аскарида

8. Укажіть коректне визначення ліпідів

- A** гідрофобні сполуки
B сполуки, що є і спиртами, і альдегідами
V сполуки на основі пептидних зв'язків
Г особливі біологічні полімери

9. Сполука, яка належить до жироподібних речовин

- A** олеїнова кислота
B холестерин
V камедь
Г хітин

10. Головна функція глюкози в організмі людини

- A** енергетична
B синтетична
V резервна
Г генетична

11. Мономер целюлози

- A** фруктоза
B мальтоза
V глюкоза
Г галактоза

12. Особливість амінокислоти як хімічної сполуки

- A** полярність
B гідрофобність
V інертність
Г амфотерність

13. Увідповідніть типи органічних сполук та їх функції в організмі людини

- 1** ДНК
2 фермент
3 РНК
4 глікоген
- A** регулює етапи синтезу білка
B біологічний каталізатор
V є основою для синтезу статевих гормонів
Г запасальна речовина
Д зберігач генетичної інформації

14. Складіть характеристику для молекули гемоглобіну, вибравши правильні відповіді

Тип макромолекули		Функція		Функціональна структура	
1	білок	1	захисна	1	вторинна
2	нуклеїнова кислота	2	сигнальна	2	первинна
3	полісахарид	3	транспортна	3	четвертинна

Тема 2. СТРУКТУРА КЛІТИНИ

§ 9. Мікроскопія та інші методи дослідження клітин

Терміни й поняття: клітина, мікроскоп, мікроскопія (світлова, електронна), фізичні методи дослідження клітин, цитологія, клітинна біологія, метод культури клітин.

Історична довідка. Першою людиною, яка побачила клітину, був Роберт Гук (1635–1703). Трапилося це в 60-х роках XVII ст. Якимось він нарізав корок тонкими скибочками і заради цікавості розглянув їх за допомогою тогочасного *мікроскопа* (від грец. *мікрос* — малий, *скоп* — спостерігаю), який у ті часи використовували лише для світських розваг (іл. 9.1). Він побачив, що корок складається з повторюваних рядів однакових комірок, які він назвав англійським словом «cell» («камера», «чарунка», «клітка»). В англійській науковій мові затвердилася назва «cell», а в українській — «клітина». Сучасники Гука відкриття комірчастої будови тканин рослин не помітили.



Іл. 9.1. Мікроскоп Роберта Гука



Іл. 9.2. Сучасний світловий мікроскоп

Головним методом дослідження клітин є мікроскопія, що вивчає дуже дрібні об'єкти за допомогою мікроскопів.

Фізичні методи дослідження.

Світлова мікроскопія. Відкриття клітинної будови всіх живих істот сталося завдяки винайденню світлового мікроскопа (іл. 9.2), у якому використовується збільшувальна здатність опуклих скляних лінз. Цей прилад збільшує зображення дрібних предметів зонайбільше у 2 000 разів. В основу світлової мікроскопії покладено оптичні властивості світла. Межі роздільної здатності мікроскопа (тобто розмір найменшого об'єкта, який можна побачити за допомогою цього приладу) визначаються довжиною світлової хвилі, а тому частки, коротші за довжину світлової хвилі, у звичайний мікроскоп розглянути неможливо.

Здебільшого структури клітини безбарвні, тому у світловій мікроскопії застосовують спеціальні барвники, що роблять зображення окремих деталей клітини кольоровим, чітким і контрастним, зокрема надають можливість розглянути ядро та інші органоїди. Однак при цьому вбивається клітина. Саме тому головними факторами, що обмежували розвиток досліджень клітини, були не лише недосконалі мікроскопи, а й те, що вивчалися фіксовані, неживі матеріали. Останнє унеможливило спостереження за процесами, що відбуваються в клітинах.

Новітні технології дозволяють вести мікроскопічні дослідження живих клітин. До того ж сучасні мікроскопи поєднанні з комп'ютерами, які здатні давати об'ємне зображення.

Електронна мікроскопія. У 50-ті роки ХХ ст. для дослідження клітини було застосовано *електронний мікроскоп* (іл. 9.3), завдяки якому стало можливим збільшення зображення мікрооб'єктів у сотні тисяч разів. Якщо прийняти роздільну здатність ока людини за одиницю, то роздільна здатність світлового мікроскопа дорівнюватиме 500 одиницям, а електронного — 100 000! Метод електронної мікроскопії полягає в просвічуванні клітинних структур потоком електронів високої енергії.

Довжина хвилі потоку електронів значно коротша за довжину хвилі світла — це дає змогу розглянути найдрібніші органоїди або частини клітин, розмір яких становить тисячні частини міліметра.

Щоб електрони «відчули» тендітні структури клітини, спочатку готують надтонкі зрізи клітин завтовшки в соті частини міліметра, а потім їх обробляють спеціальною речовиною, що здатна розсіювати електрони. За допомогою електронного мікроскопа було детально вивчено будову клітинної мембрани та цитоплазми. Це дало змогу дійти висновку, що клітина рослин і тварин, всупереч попереднім уявленням про неї як про мішечок з рідиною, насправді є густою сіткою каналів, утворених мембранами.

Серед фізичних методів дослідження клітин великого значення набуло *центрифугування*. Для цього використовують спеціальні машини (центрифуги), що здатні розділяти під дією відцентрової сили суміш води (рідини) та дуже дрібних твердих часток (іл. 9.4).

Лабораторні центрифуги розганяють біологічний матеріал з клітинами до величезних швидкостей, унаслідок дії відцентрової сили відбувається розкладання клітинних структур на компоненти — відповідно до їх питомої маси. Це дозволяє вивчати властивості не лише кожної частини клітини, а й навіть окремих молекул ДНК, РНК або білків.

Авторадіографія. До середовища, що оточує клітину, додають радіоактивні речовини, наприклад, радіоактивний карбон(IV) оксид. Клітина його поглинає, і він починає брати участь у хімічних реакціях, розподіляючись по цитоплазмі.



Іл. 9.3. Сучасний електронний мікроскоп



Іл. 9.4. Лабораторна центрифуга



Іл. 9.5. Радіоавтограма аорти (видно клітини м'язової тканини з темними радіоактивними мітками в ядрах, що свідчить про інтенсивний синтез у них ДНК)

Потім клітину розташовують на плівці, чутливій до радіоактивного опромінення, і радіоактивна речовина ніби сама себе фотографує (звідси й походить назва *авторадіографія*). Таким чином, розглядаючи мікрофотографії (іл. 9.5), можна відстежити не лише стадії синтезу речовин у клітині, а й визначити, у яких саме частинах клітини відбувається цей процес і навіть установити його швидкість.

Дослідження живих клітин.

Сучасна наука про клітину *цитологія* (від грец. *кітос* — клітина і *логос* — вчення) переросла в систему наук, яка має назву *клітинна біологія*. Особливістю сучасної клітинної біології є дослідження живих клітин.



Іл. 9.6. Маніпуляції з ядром — один з методів клітинної мікросхірургії

Одним з найцікавіших методів дослідження живих клітин є *мікросхірургія* (іл. 9.6).

Цей метод полягає в трансплантації елементів клітини одного організму до клітини іншого. Завдяки мікросхірургії було виявлено функцію ядра як органа, що визначає форму клітини та характер її функціонування.

Крім того, використовують й інші методи дослідження живих клітин, зокрема вплив на окремі органіди та структури клітин сфокусованим пучком лазерних променів, що надало можливості вивчити механізми клітинного поділу.

Окремою галуззю клітинної біології є **метод культури клітин**, за якого ізольовані клітини тварин та рослин переносять у спеціально створене середовище, де клітини здатні не лише жити, а й розмножуватись.

Особливого значення набуває *гібридизація клітин*, коли клітини різних організмів, наприклад, тютюну й троянди або людини та миші після попередньої обробки «зливають» в одну клітину. З гібридних рослинних клітин можуть вирости справжні рослини, а у тварин такі клітини зазвичай нежиттєздатні й існують протягом нетривалого часу.



Клітини — це надзвичайно малі за розміром об'єкти, тому їх можна вивчати лише за допомогою спеціальних методів і приладів. Головним способом дослідження клітин є **мікроскопія**.



1. Хто першим відкрив клітину? 2. Що обмежує роздільну здатність світлового мікроскопа? 3. Які нові знання були набуті за допомогою електронного мікроскопа? 4. Чому метод авторадіографії отримав таку назву? 5. Для чого потрібні методи дослідження живих клітин? 6. Що таке гібридизація клітин?



- Чому штучно ізольовані живі клітини не можуть жити довго?
- Чому яйцеклітини птахів такі великі?

§ 10. Будова клітини. Клітинна мембрана та клітинна оболонка

Терміни й поняття: загальний план будови клітин, клітинна мембрана, генетичний апарат, цитоплазма, фагоцитоз, піноцитоз, клітинна оболонка, глікокалікс.

Загальний план будови клітин. Клітини одноклітинних і багатоклітинних організмів, тварин і рослин дуже різноманітні за розмірами та формою.

В одному організмі можуть існувати клітини кулястої, еліпсоїдоподібної, видовженої, зіркоподібної та інших форм. Їх об'єм в одному організмі може різнитися в мільйони разів! Але всі клітини, незважаючи на їх величезну різноманітність, мають загальний план будови (іл. 10.1). У кожній клітині бактерії, гриба, рослини або тварини містяться три компоненти: клітинна мембрана, цитоплазма й генетичний апарат.

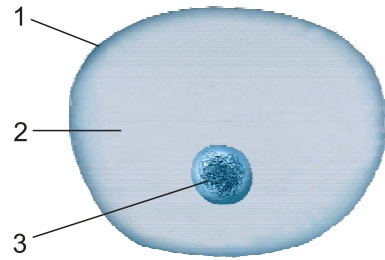
Клітинна мембрана. Клітинна, або плазматична, мембрана — будівельний матеріал клітини, а тому за масою є найбільшою структурою. Середня за розмірами клітина рослини чи тварини розміром в десяті частки міліметра містить мембрани площею кілька квадратних метрів! Дослідження клітин за допомогою електронного мікроскопа довели, що клітинна мембрана складається з трьох шарів (іл. 10.2): двох зовнішніх темних і внутрішнього світлого. Згодом з'ясували, що до складу клітинної мембрани у великій кількості входять фосфоліпіди, які власне й визначають її будову. За структурою молекули фосфоліпідів подібні до жирів, адже вони складаються з багатоатомних спиртів та багатоатомних жирних кислот.

Однак до їх складу входить ще й залишок ортофосфатної кислоти, який робить молекулу полярною.

Це приводить до того, що молекули фосфоліпідів мають гідрофобний та гідрофільний кінці й частково розчинюються у воді.

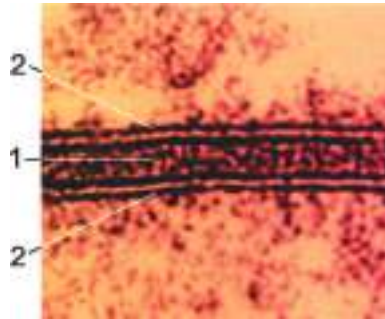
Фосфоліпіди упаковані в такий спосіб, що гідрофільні частини їх молекул, так звані «головки», які взаємодіють з різноманітними білками, повернуті до зовнішньої та внутрішньої поверхонь клітини. Саме вони утворюють темні шари клітинної мембрани. Гідрофобні частини молекули — «хвости» — ховаються в товщі мембрани, формуючи світлий шар (іл. 10.3).

Найбільш правильною вважають модель клітинної мембрани, згідно з якою окремі білкові або білково-вуглеводні молекули плавають, наче айсберги, у «ліпідно-



Іл. 10.1. Загальний план будови клітини:

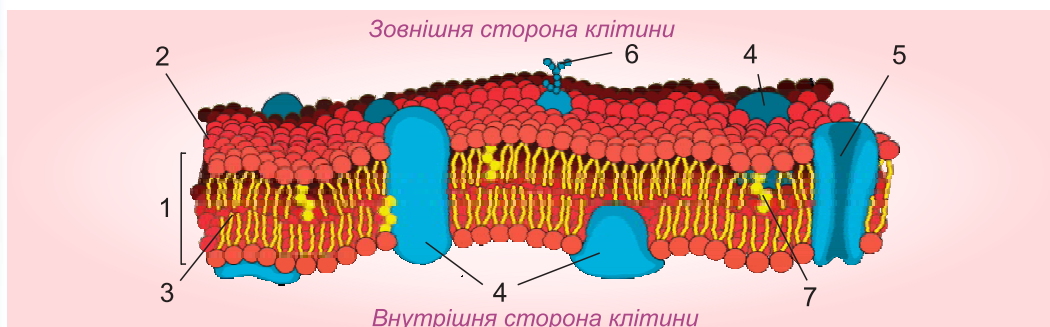
- 1 — клітинна мембрана;
- 2 — цитоплазма;
- 3 — генетичний апарат



Іл. 10.2. Мікрофотографія зовнішньої клітинної мембрани двох сусідніх клітин:

- 1 — міжклітинний простір;
- 2 — клітинні мембрани

му морі»: одні — на поверхні, інші — занурені вглиб, а деякі пронизують ліпідний шар наскрізь (іл. 10.3)



Іл. 10.3. Модель будови клітинної мембрани: 1 — подвійний шар фосфоліпідів; 2 — гідрофільні головки; 3 — гідрофобні «хвости»; 4 — молекули білків; 5 — білковий канал; 6 — вуглеводний ланцюг; 7 — молекули холестерину

Кожний з білків виконує певну функцію: або визначає взаємодію клітин, або здійснює транспортування речовин крізь мембрану, або регулює рухливість інших білків у мембрані. Отже, клітинна мембрана — не стала структура, а дуже рухливе, динамічне утворення, здатне розтягуватись і стискатись; на ній з'являються нарости й заглибини; вона здійснює хвилеподібні коливальні рухи.

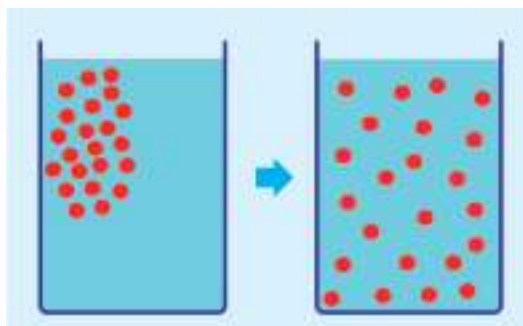
Функції клітинної мембрани.

Структурна функція. Клітинна мембрана — основний будівельний матеріал клітини. З неї утворюється клітинна поверхня, тіла більшості органел і ядерна оболонка. За її допомогою в цитоплазмі формуються функціональні відсіки, канали та порожнини.

Бар'єрна функція. Клітинна мембрана на поверхні клітини є бар'єром, який запобігає вільному проникненню речовин у клітину. До того ж вона здатна не лише обмежувати проникнення певних молекул, а й активно виштовхувати їх із клітини.

Транспортна функція*. Розрізняють пасивний та активний механізми транспортування речовин усередину клітин.

Пасивне транспортування речовин забезпечує дифузія (від лат. *діффузіо* — розтікання), яка відбувається за градієнтом концентрації (іл. 10.4).



Іл. 10.4. Схема дифузії

Молекули речовин, розчинених у воді, під дією теплового хаотичного руху тяжіють до вирівнювання концентрації у просторі. Якщо концентрація деякої речовини в клітині низька, а поза її межами — висока, то ця речовина надходить всередину клітини, якщо навпаки — речовина виходить назовні.

У разі підвищення в клітині концентрації речовини, яку клітинна мембрана не пропускає — до клітини надходить вода. А за підвищеної концентрації речовини в навколишньому середовищі вода з клітини, навпаки, виходить назовні.

* Матеріал для додаткового вивчення

Ця дифузія розчинника крізь напівпроникну мембрану має назву *осмос* (від грец. *осмос* — поштовх) (іл. 10.5).

Активне транспортування.

Транспортування більшості речовин крізь клітинну мембрану відбувається з витратами енергії і тому є активним транспортуванням.

Прикладом активного транспортування проти градієнта концентрації речовини є *калій-натрієвий насос* (іл. 10. 6). Під час його роботи відбувається перенесення йонів Na^+ за межі клітини, а йонів K^+ — до клітини. Цей процес супроводжується накопиченням на мембрані різниці електричних потенціалів. Для здійснення такої роботи необхідна енергія, яку дає розщеплення АТФ.

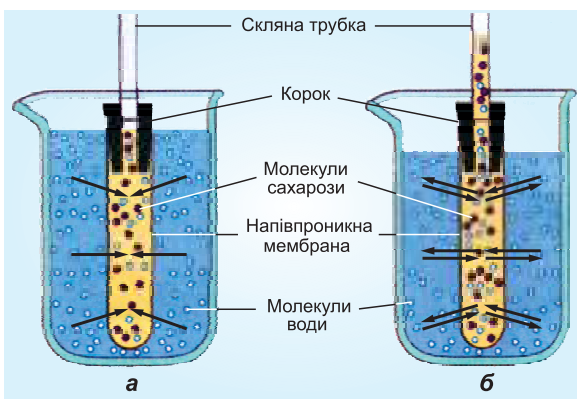
Калій-натрієвий насос також необхідний клітинам для підтримання осмотичного балансу. Окрім того, калій-натрієвий насос потрібен для активного транспортування до клітини глюкози й амінокислот, підтримки електричної активності в нервових і м'язових.

Фагоцитоз і піноцитоз — особливі види транспортування речовин до клітини. У деяких випадках транспортування речовин до тваринної клітини відбувається шляхом їх механічного захоплення випинами клітинної мембрани (іл. 10.7).

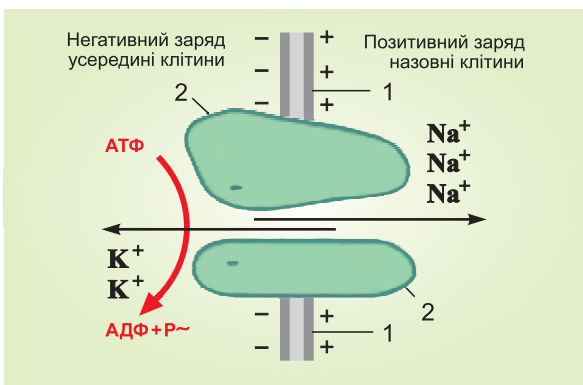
Розрізняють два види поглинання: *піноцитоз* (від грец. *піно* — пити, *кітос* — клітина), якщо захоплюються крапельки рідини, та *фагоцитоз* (від грец. *фагос* — пожирач, *кітос* — клітина), якщо захоплюються тверді частинки.

Інформаційна функція.

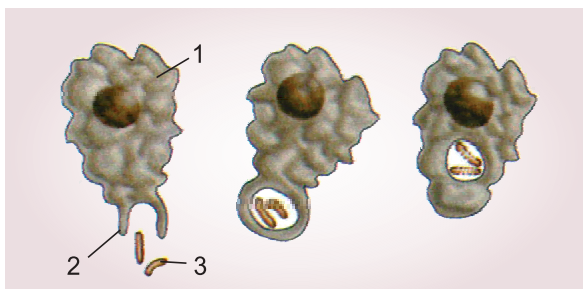
Будь-яка інформація та команди організму, що надходять до клітини ззовні, уловлюють спеціальні *рецептори* (від лат. *рецептор* — той, що сприймає) клітинної мембрани. Наприклад, дія гормонів ґрунтується на взаємодії зі спеціальними молекулами білка та сполученими з ними вуглеводами, що містяться в клітинній мембрані. Рецептори, розташовані на її поверхні, не лише передають сигнали організму всередину клітини, а й допомагають сусіднім клітинам упізнавати одна одну.



Іл. 10.5. Схема осмосу: а — ситуація стану різної концентрації речовини по обидва боки мембрани; б — ситуація рівної концентрації або рівноваги

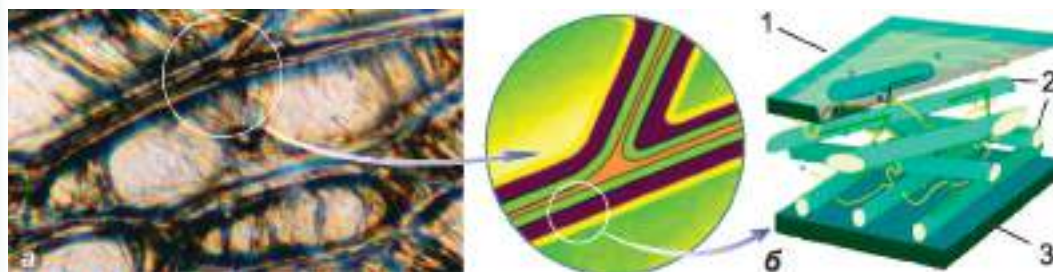


Іл. 10.6. Схема калій-натрієвого насосу: 1 — клітинна мембрана; 2 — АТФаза (фермент, який здійснює перенесення йонів)



Іл. 10.7. Схема фагоцитозу: 1 — клітина-фагоцит; 2 — псевдоподії; 3 — бактерії

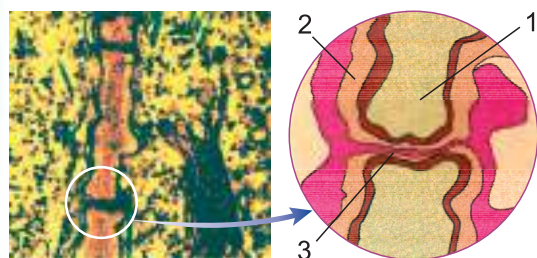
Клітинні оболонки. На зовнішній поверхні кожної клітини будь-якого організму обов'язково містяться біополімери, які формують особливий шар, що захищає клітини від пошкоджень, а в багатоклітинних істот забезпечує контакт і сполучення між клітинами. Якщо шар речовин, що міститься на зовнішній мембрані клітини побудований з твердих речовин, то він має назву *клітинна оболонка*, або *клітинна стінка*, у яку клітина закута, наче в панцир (іл. 10.8).



Іл. 10.8. Клітина шкірки цибулі в добре помітній оболонці (а) та деталізована будова клітинної стінки (б): 1 — зовнішній покрив; 2 — волокна з молекул целюлози; 3 — клітинна мембрана

Клітинні оболонки рослин, грибів і бактерій побудовані з різних біополімерів. Ці речовини синтезуються всередині клітини й спеціальними каналами виводяться назовні.

У рослин клітинна оболонка формується з полісахариду *целюлози*. За своєю хімічною формулою ця речовина тотожна крохмалю чи глікогену, однак є дуже стійкою до води — цей полісахарид складається з особливих молекул глюкози.



Іл. 10.9 Плазмодесма: 1 — клітинна стінка; 2 — плазматична мембрана; 3 — плазмодесма

У клітинних оболонках рослин є спеціальні отвори — *плазмодесми*, через які сполучаються цитоплазми сусідніх клітин (іл. 10.9).

Під час росту клітину оточує тонка, еластична й здатна до розтягування оболонка. Вона складається з переплетених ниток целюлози та *матриксу* (від лат. *матрикс* — основа) — гомогенної речовини, що заповнює різноманітні порожнини між структурами клітини. У міру припинення росту первинна оболонка перетворюється на тверду.

Функції клітинних оболонок у рослин. Вони здійснюють різноманітні *механічні функції*: слугують каркасом клітин, захищають їх від ушкоджень і проникнення мікроорганізмів. Крім того, сукупність оболонок клітин, що містяться у стеблі, формує опору рослини. Власне з клітинних стінок утворюється деревина, з якої промисловим способом отримують сировину для виготовлення якісного паперу, а також рослинні волокна, з котрих виробляють бавовняні та льняні тканини.

Ще однією функцією клітинної оболонки є *перешкоджання потраплянню до клітини надлишку води*. Целюлозна оболонка як така не є бар'єром проникнення води в клітину, але вона обмежує кількість води в ній, без чого клітина могла б просто луснути. У міру надходження води клітина поступово набрякає, але доти, доки оболонка клітини зберігає свою розтяжність.

Гідростатичний тиск води на клітину зазвичай становить 5–10 атмосфер. Цей тиск створює напругу в клітинній оболонці — *тургор* (від лат. *turgor* — набрякаю), який надає тілу рослини пружності. Саме тому рослини в разі нестачі води в'януть (іл. 10.10).

Глікокалікс. Речовини, що містяться на поверхні клітин тварин, нещільні, а тому з них утворюється інша, ніж у рослин, структура, яка має назву *глікокалікс* (від грец. *глікис* — солодкий і лат. *каллюм* — товста шкіра) (іл. 10.11). Такий тип поверхневого апарату дає можливість клітинам змінювати свою форму, а організму — активно рухатися.



Іл. 10.10. Рослина з недостатнім тургором за нестачі води

Глікокалікс клітин різних типів відрізняється не лише за товщиною, а й за хімічним складом, адже він утворюється з різноманітних форм полісахаридів. Причому наявність позаклітинних речовин на зовнішньому боці тваринної клітини може бути такою незначною, що їх можна роздивитись лише в електронний мікроскоп.

Надзвичайно важлива функція глікокаліксу полягає у *зв'язуванні тваринних клітин одна з одною*. Саме внаслідок цього й утворюються тканини. Якби позаклітинні речовини, які відіграють роль «клею», були відсутні, то клітини, що утворились після поділу, не сполучалися б і багатоклітинний організм одразу б розпався.

Крім того, з глікокаліксу утворюються кутикула черв'яків і панцир членистоногих тварин, слиз риб та амфібій; він бере участь у формуванні зовнішніх покривів молюсків, є опорою для хрящової та кісткової тканин хребетних, робить еластичними шкіру та стінки кровоносних судин.



Іл. 10.11. Вигляд глікокаліксу в електронному мікроскопі



Складовими клітин усіх живих організмів є **клітинна мембрана, цитоплазма і генетичний апарат**.

Клітинна мембрана — це будівельний матеріал клітини, вона створює бар'єр між клітиною і середовищем, активно здійснює транспортування речовин, передає сигнали, які йдуть від організму всередину клітини.

Невід'ємною частиною кожної клітини є речовини, що містяться на зовнішній поверхні клітинної мембрани. У клітинах рослин це тверді речовини, що утворюють клітинні оболонки. У тварин на поверхні клітин містяться нещільні речовини — **глікокалікс**. Це дозволяє тваринним клітинам змінювати свою форму. **Головне призначення поверхневого апарату клітин** — це захист й опора, механічне сполучення клітин у тканини та здійснення контактування одна з одною.



1. У чому полягає загальний план будови клітини? 2. Як побудована клітинна оболонка і які її головні функції? 3. У чому полягає принцип дії калій-натрієвого насоса? 4. Чому життя клітини неможливе без позаклітинних компонентів? 5. У чому полягає принципова відмінність глікокаліксу тваринних клітин і клітинних стінок у рослин?

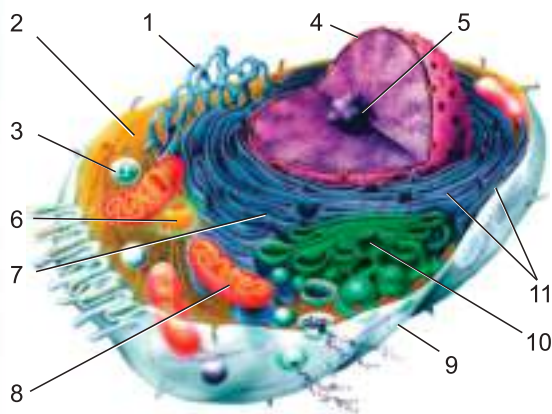


• Чому головними компонентами плазматичної мембрани є ліпіди, а клітинної оболонки — полісахариди?

§ 11. Цитоплазма та її основні складові

Терміни й поняття: цитоплазма, органели, ендоплазматична сітка, рибосома, комплекс Гольджі, лізосома, мікротільця, вакуолі, включення.

Цитоплазма — основна за об'ємом частина тваринної чи рослинної клітини, яка розташована між клітинною мембраною та оболонкою ядра і є безбарвною напіврідкою речовиною, що містить чимало різноманітних органел — структур клітини певного функціонального призначення (іл. 11.1). Насправді цитоплазма є складною системою відсіків, каналів, лабіринтів, утворених плазматичною мембраною, що занурені в щільну напіврідку речовину — матрикс цитоплазми. Цитоплазма клітини перебуває в постійному русі.



Іл. 11.1. Схема будова тваринної клітини:

1 — гладенька ендоплазматична сітка; 2 — цитоплазма; 3 — лізосома; 4 — ядро; 5 — ядерце; 6 — центріолі; 7 — гранулярна ендоплазматична сітка; 8 — мітохондрія; 9 — зовнішня клітинна мембрана; 10 — комплекс Гольджі; 11 — рибосоми

матрикс цитоплазми. Цитоплазма клітини перебуває в постійному русі.

Сучасні дані, отримані за допомогою електронного мікроскопа, довели, що цитоплазма має чітку структуру, основою якої є система зв'язаних одна з одною плазматичних мембран, які утворюють різноманітні відсіки. Що зумовлює таку будову цитоплазми еукаріотів?

У живій клітині щосекунди відбуваються тисячі хімічних реакцій. Причому часто перетворення тих самих речовин мають протилежний характер (зокрема — у клітинах рослин при фотосинтезі утворюється глю-

коза, яка під час дихання розкладається). Це потребує розмежування біохімічних процесів у просторі.

Саме тому цитоплазма еукаріотної клітини — це не безформна протоплазма, а структурно впорядкована система. Необхідність чіткого поділу цитоплазми клітини на функціональні відсіки зумовлена ще й багатоступеневістю реакцій обміну речовин, що вимагає їх певної послідовності.

Продукт, отриманий у результаті першої ферментативної реакції, миттєво взаємодіє з іншим ферментом — вступає в наступну реакцію. Тому ферменти, що каталізують реакції того самого метаболічного циклу, зібрані у клітині в одному місці, а не розкидані по всій цитоплазмі. Для цього мембрани розділяють цитоплазму клітини на функціональні відсіки, у яких і міститься набір ферментів. Принцип поділу цитоплазми клітини на функціональні відсіки є обов'язковим для кожної клітини еукаріотів.

Організація цитоплазми прокаріотної клітини. На відміну від клітин грибів, рослин і тварин у бактеріальних клітин цитоплазма не поділяється на функціональні відсіки.

Це означає, що в прокаріотних клітинах відсутні такі органели, як ендоплазматична сітка, апарат Гольджі та його похідні, немає вакуоль. У результаті більшість біохімічних реакцій, що протікають у бактерії, відбуваються на внутрішній поверхні клітинної мембрани, а не в товщі цитоплазми. Це робить обмін речовин неефективним, порівняно з клітинами еукаріотних організмів, адже для цього останні використовують весь об'єм клітини.

Органели — складові цитоплазми.

Ендоплазматична сітка. Усі клітини рослин, грибів та тварин неодмінно містять складну систему переплетених мембран, які сполучаються між собою. Ці мембрани поділяють цитоплазму на функціональні відсіки, а також формують у цитоплазмі порожнини. Усе це разом називають *ендоплазматичною сіткою* (ЕС) (іл. 11.1, 11.2). Вона має різноманітну конфігурацію і може утворювати мішечки, трубочки та пухирці. Основна її функція — синтез і транспортування речовини в клітині, тому форма й розмір ЕС значною мірою визначаються функціональним станом клітини.

ЕС складається з одного шару клітинної мембрани, яка має таку ж будову, що й зовнішня клітинна мембрана. Вона є одночасно безпосереднім продовженням зовнішньої мембрани та ядерної оболонки. Таким чином, по каналах ЕС речовини, що синтезовані в ядрі, надходять до цитоплазми, а високомолекулярні сполуки цитоплазми можуть виводитись за межі клітини, наприклад, формуючи клітинну оболонку рослин чи глікокалікс тварин.



Іл. 11.2. Гладенька (а) та шорстка (б) ендоплазматична сітка; 1 — ядро; 2 — ядерна оболонка; 3 — рибосоми

Відповідно до того, чи має ЕС на зовнішній поверхні особливі органоїди *рибосоми* (від рибонуклеїнова кислота і грец. *сома* — тіло), її поділяють на два типи: гладеньку та шорстку, на якій помітно багато точок (це і є рибосоми) (іл. 11.2).

Рибосоми — це органели, що побудовані лише з рРНК і білків. Вони є обов'язковими для будь-яких клітин, у тому числі й прокаріотних. Найбільше рибосом, кількість яких може коливатися від 1 тис., у тих клітинах, де найбільш активно протікають життєві процеси. Їх біологічна функція полягає в синтезі білків. Рибосоми можна роздивитись лише в електронний мікроскоп. Кожна рибосома складається з двох різних за розміром частин (іл. 7.4). Окремі рибосоми можуть з'єднуватись у групи — *полісоми* (від грец. *полі* — багато і *сома*).

Шорстка ЕС розвинена у клітинах, у яких синтезується багато білка, тому було зроблено висновок, що вона безпосередньо пов'язана з процесом синтезу й транспортування білка. *Гладенька ЕС* побудована з трубочок і пухирців меншого діаметра, ніж шорстка, її функції у клітині різноманітніші. Зокрема, вона бере участь у синтезі ліпідів, які використовуються для утворення клітинної мембрани та їх транспортування. Крім того, гладенька ЕС здатна виконувати функцію насоса, наприклад, перекачувати з однієї частини клітин поперечносмугастих м'язів до іншої йони Ca^{2+} .

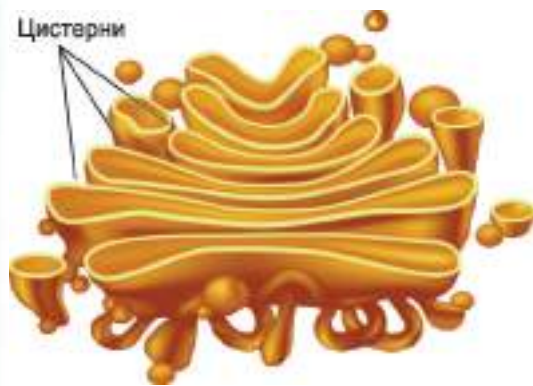
Отже, ЕС — дуже важлива органела, що міститься в кожній еукаріотній клітині; її функціональне призначення полягає в синтезі й транспортуванні речовин всередину клітини та за її межі. Це динамічна система мембран, котрі легко руйнуються й швидко відновлюються. Видозмінюючись, ЕС пристосовує клітину до виконання різноманітних функцій.

Комплекс Гольджі (КГ). Свою назву органела отримала на честь італійського вченого Камілло Гольджі (1843–1926), який її відкрив.

Комплекс Гольджі можна побачити у світловий мікроскоп. Це система елементарних мембран і невід'ємний компонент усіх еукаріотних клітин.

Установлено, що КГ та ЕС пов'язані між собою. В електронний мікроскоп видно, що КГ має вигляд купки розташованих паралельно одна до одної порожнин — *цистерн*, яких може бути від п'яти до десяти (іл. 11.3). Вони розміщуються на однаковій відстані одна від одної, найчастіше мають зігнуту форму й обмежені спільною оболонкою. У цистернах накопичуються білки та інші речовини, синтезовані у клітині. Крім того, КГ є своєрідним «перевальним пунктом» для речовин, що надходять до клітини і, навпаки, виходять з неї.

Основні функції КГ полягають у накопиченні білків і полісахаридів, їх укладанні й транспортуванні всередину клітини та за її межі, яке здійснюється завдяки постійному руху цитоплазми.



Іл. 11.3. Схема будови комплексу Гольджі

Лізосоми (від грец. *lízis* — розпад і *soma* — тіло) — це невеликі округлі тільця, розташовані у цитоплазмі клітини (іл. 11.1). Їх можна побачити лише в електронний мікроскоп. За походженням лізосоми — це ті самі пухирці, що відщепилися від комплексу Гольджі або ендоплазматичної сітки і є порожнинами, заповненими травними ферментами та обмеженими одним шаром клітинної мембрани. Лізосоми містять речовини, здатні розщепити й перетравити будь-які білки. Завдяки цим ферментам, зібраним в один органоїд, відбувається *клітинне травлення*, за якого клітина розкладає складні для засвоєння речовини. Для перетравлення піноцитозної або фагоцитозної частинки лізосома обволікає її, утворюючи *вторинну лізосому*. Крім того, за допомогою лізосом клітина захищається від вірусів та бактерій.

Мікротільця — це округлі органели, що походять від ендоплазматичної сітки. Це не що інше як різноманітні ферменти, що перебувають у сухому кристалічному стані й оточені одним шаром клітинної мембрани. Живуть ці органели недовго — не більше шести діб. Основна функція мікротілець полягає в чіткому просторовому розмежуванні реакцій, що відбуваються в клітині.

Особливе значення мають ферменти мікротілець, що руйнують молекули гідроген пероксиду (H_2O_2) — речовини, яка у високій концентрації є отрутою для будь-якої клітини. Невипадково ці органоїди ще називають пероксисомами.

Вакуолі — органели, найбільш характерні для зрілих рослинних клітин. Це округлі порожнини цитоплазми, обмежені одним шаром клітинної мембрани, що заповнені спеціальним розчином. Їх оточує один шар клітинної мембрани. Вакуолі добре видно у світловий мікроскоп (іл. 11.4).

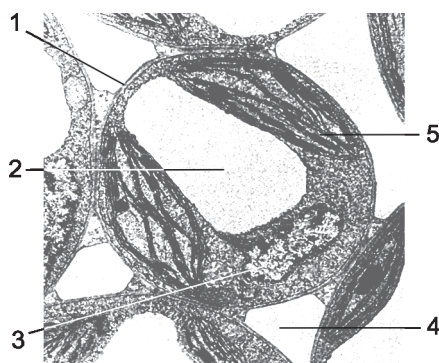
У деяких рослинних клітинах вакуоля займає 90 % об'єму цитоплазми.

Основне призначення вакуоль — підтримувати тургор і забезпечувати середовище для накопичення розчинних у воді речовин. До того ж вакуолі можуть бути місцем, де накопичуються кінцеві продукти хімічних реакцій.

В одноклітинних тварин типу Найпростіші є специфічні вакуолі — *скоротлива й травна*.

Клітинні включення. Це особливі компоненти клітини. Вони не є органелами та не належать до числа сталих структур цитоплазми клітини.

Відповідно до функціонального стану клітини включення то зникають, то з'являються знову. Їх легко побачити у світловий мікроскоп. Зовні включення мають вигляд цупких зерняток, крапельок або кристаликів. Включення утворюються з речовин, отриманих у результаті біологічного синтезу. Ці речовини — крапельки жиру, зерна крохмалю і глікогену, кристалики білка — відкладаються у цитоплазмі про запас. Найбільше включень запасних речовин у клітинах людини зосереджено у печінці та підшкірній жировій клітковині, а в яйцеклітинах тварин відкладаються



Іл. 11.4. Мікрофотографія рослинної клітини: 1 — клітинна стінка; 2 — вакуоля; 3 — ядро; 4 — міжклітинний простір; 5 — хлоропласт

ся переважно білки. У рослинних клітинах також чимало включень, наприклад, у клітинах бульб картоплі накопичується значна кількість крохмалю (іл. 11.5).



Іл. 11.5. Клітинні включення:

а — складне крохмальне зерно (К) у клітині нектарника квітки огірка; б — кристали оксалату кальцію (ОК) у клітинах листка елодеї; в — ліпідні краплі (ЛК) у трахеїді ялини



У кожній клітині рослин, тварин, грибів у цитоплазмі існує єдина мембранна система клітини, з якої формується ціла низка органел: ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, включення та вакуолі. Мембранні органели пов'язані між собою структурно й функціонально та мають спільне походження.

Основні функції мембранної системи клітини: 1) розмежування цитоплазми на функціональні відсіки, у яких відбуваються різні хімічні перетворення; 2) транспортування речовин з однієї частини клітини до іншої, яке здійснюється завдяки безперервному руху мембран. До складу цитоплазми також входять особливі органели, тіло яких не побудоване з плазматичної мембрани. Це **рибосоми** — особливі органоїди, що складаються з білків і рРНК; їх функція — синтез білків. Також до складу цитоплазми входять різноманітні включення: крапельки жирів, скупчення білків та зернятка полісахаридів, що є резервами клітини.



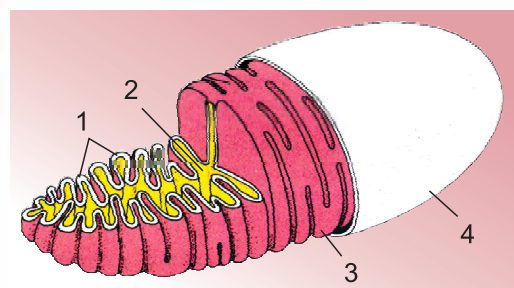
1. Що є структурною основою органел цитоплазми? 2. Чим відрізняються будова й функції гладенької та шорсткої ендоплазматичних сіток? 3. Як сполучаються між собою комплекс Гольджі та ендоплазматична сітка? 4. Чому клітинам потрібні травні ферменти? 5. За якого стану клітини збільшується кількість включень?



- У який спосіб клітина запобігає самоперетравленню?

§ 12. Двомембранні органели. Цитоскелет

Терміни й поняття: мітохондрії, кристи, пластиди, хлоропласти, хромопласти, лейкопласти, тилакоїд, цитоскелет, мікротрубочки, мікрофібрили.



Іл. 12.1. Схема будови мітохондрії:

1 — кристи; 2 — матрикс; 3 — внутрішня мембрана; 4 — зовнішня мембрана

Двомембранні органели. Крім органел, що побудовані з одного шару плазматичної мембрани, у клітинах тварин, рослин і грибів обов'язково є органели, тіло яких побудоване з двох шарів — зовнішнього та внутрішнього. Ці органели пов'язані з енергетичними процесами, що відбуваються у клітинах.

Мітохондрії (від грец. *mitos* — нитка, *хондріон* — гранула) — невід'ємні компоненти будь-якої клітини тварин, рослин та грибів (іл. 12.1). До складу

клітини може входити від двох-трьох до кількох тисяч мітохондрій, зокрема — у клітинах печінки свавця їх близько 2,5 тисяч. Число мітохондрій залежить від фізіологічної активності клітини: що більше роботи вона виконує, то більше в ній мітохондрій.

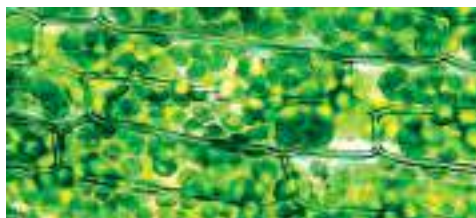
Звичайні за розміром мітохондрії добре помітні у світловий мікроскоп: вони нагадують зернятка, палички або тоненькі нитки. У клітинах, що містять дуже багато мітохондрій, утворюється справжня мережа, яку називають гігантською мітохондрією. Внутрішню будову мітохондрій вивчено за допомогою електронного мікроскопа. Зовнішня мембрана мітохондрії регулює надходження і виведення речовин. А на внутрішній мембрані відбуваються хімічні реакції, унаслідок яких вивільняється енергія.

Для того щоб більш повно використовувати об'єм мітохондрії, внутрішня мембрана утворює складки — *кристи* (від лат. *кріста* — гребінь, плюмаж). Проміжки між кристами заповнені густою рідиною — матриксом, який містить іони K^+ і Ca^{2+} , а також ферменти, завдяки яким відбуваються синтез АТФ. Крім того, у мітохондріях є ДНК, РНК і власні рибосоми. Молекули ДНК мають кільцеву форму. Рибосоми в мітохондріях за розмірами значно менші за ті, що містяться в цитоплазмі. Така організація мітохондрій забезпечує їм достатню незалежність від цитоплазми, адже вони самі здатні синтезувати власні білки, рости й розмножуватись у результаті поділу материнської мітохондрії на дві дочірні.

Функції мітохондрій. Мітохондрії — це енергетичні станції клітин. Із цитоплазми до мітохондрій надходять багаті на енергію органічні сполуки: моносахариди, жири, амінокислоти. Тут вони окиснюються Оксигеном і розщеплюються до найпростіших неорганічних сполук, зокрема CO_2 та H_2O . Частина енергії, вивільненої у процесі розщеплення органічних речовин, розсіюється у вигляді теплоти, а решта — акумулюється шляхом синтезу молекул АТФ.

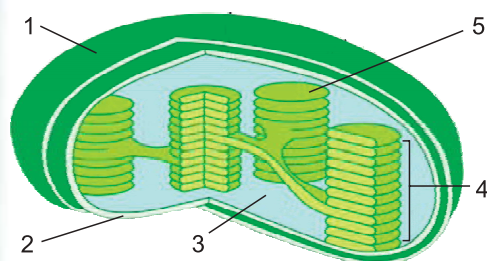
Пластиди. Ці органели властиві лише рослинам і бувають кількох типів. *Пластиди* (від грец. *пластос* — виліплений) мають єдине походження, подібну будову й можуть взаємно перетворюватись. Особливість будови, яка поєднує їх з мітохондріями, — це подвійна мембрана та генетичний апарат у вигляді молекули ДНК, що має форму кільця. Нові пластиди утворюються, подібно до мітохондрій, шляхом поділу навпіл старих. Зовнішня мембрана виконує захисну функцію, а внутрішня утворює систему мембран, на яких відбуваються складні біохімічні процеси, зокрема фотосинтезу. Розрізняють кілька типів пластид, усі вони можуть перетворюватися з одного типу пластид на інший.

Реакції фотосинтезу відбуваються в пластидах зеленого кольору — *хлоропластах* (від грец. *хлорос* — зелений), що пов'язано з наявністю в них особливого пігменту — *хлорофілу* (від грец. *хлорос* — зелений, *філлон* — листок) (іл. 12.2). Вони містяться в клітинах листків, стебел, плодів, оцвітини



Іл. 12.2. Хлоропласти в клітинах паренхіми листка

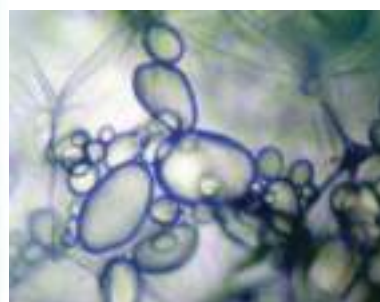
й інших клітин органів рослин зеленого кольору. Їх добре помітно у світловий мікроскоп, найчастіше вони овальної форми. Кожна клітина зазвичай має 20–40 хлоропластів, тоді як у клітинах водоростей наявний переважно один хлоропласт.



Іл. 12.3. Схема будови хлоропласта:
1 — зовнішня мембрана; 2 — внутрішня мембрана; 3 — строма; 4 — тилакоїд; 5 — грана

Хлоропласт, як і інші пластиди, має подвійну мембрану (іл. 12.3). При цьому внутрішня мембрана утворює цілу систему мембран. Її основою є *тилакоїд* (від грец. *тилакос* — мішечок, *ейдос* — вигляд), який складається з одношарової мембрани, а за формою нагадує плаский мішечок і містить хлорофіл. Тилакоїди складені у грани, що нагадують стопки монет, і сполучаються спеціальними каналами.

Весь простір між тилакоїдами заповнений рідким умістом — матриксом, який у хлоропластів має назву *строма* (від грец. *строма* — підстилка). Хлоропласти містять рибосоми, ДНК, ферменти, вони здатні синтезувати білки, ліпіди та крохмаль, що зумовлює їх відносну незалежність від інших клітинних структур. У хлоропластах містяться також крохмальні зерна та жирові включення, що є енергетичним запасом клітини.



Іл. 12.4. Лейкопласти в клітинах бульби картоплі

Під впливом різних чинників, а також під час старіння клітини внутрішня структура хлоропластів спрощується, і вони перетворюються на пластиди інших типів.

Лейкопласти (від грец. *леукос* — білий і *пласт*) — це безбарвні пластиди (іл. 12.4). Зазвичай вони концентруються в незабарвлених підземних частинах рослин, а також у насінні, стрижні стебла. Лейкопласти синтезують і накопичують білки, крохмаль і жири. Те, що вони є просто місцем зберігання речовин, зумовлює їх просту будову. Такі пластиди не мають тилакоїдної організації. Під дією світла лейкопласти перетворюються на хлоропласти.



Іл. 12.5. Хромопласти в клітині червоного перцю

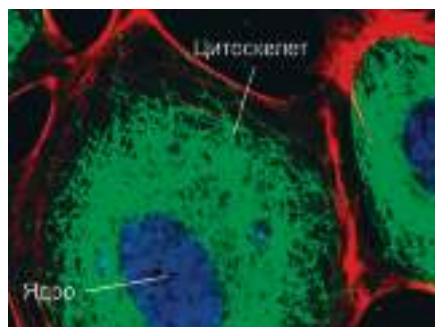
Хромопласти (від грец. *хрома* — колір і *пласт*) містять пігменти *каротиноїди* (від лат. *карота* — морква та *ейдос* — вигляд), які бувають оранжевого, червоного або коричневого кольору й відповідно забарвлюють квітки, старі листки, плоди та навіть корені рослин (морква, буряк) (іл. 12.5). Внутрішній простір хромопластів, на відміну від хлоропластів, не має складної системи мембран, у ньому трапляються лише окремі тилакоїди.

Цитоскелет. Кожна клітина, особливо тваринна, яка не має клітинних стінок, підтримує сталість своєї форми завдяки цитоскелету, що міститься в цитоплазмі живої клітини й побудований зі спеціальних білків (іл. 12.6). Головними елементами цитоскелета клітини є *мікротрубочки* й *мікрофіламенти* (від *мікрос* — малий та *філаментос* — нитка). Зазвичай вони формують своєрідний каркас, який дозволяє клітинам зберігати форму.

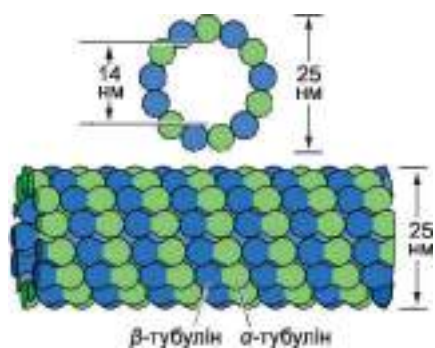
Саме мікротрубочки утворюють псевдоподії амеби та забезпечують сталість форми нейронів, для яких характерні довгі вирости — *аксони*. Особливо багато мікротрубочок в епітеліальних клітинах. Мікротрубочки — це порожнисті витягнуті утворення з білка, що за формою нагадують саме трубочки. Їх можна побачити лише в електронний мікроскоп (іл. 12.7).

В усіх без винятку клітинах мікротрубочки побудовані з особливих білків. Під час поділу клітини з мікротрубочок формується мітичний апарат клітини, який забезпечує рівний розподіл генетичного матеріалу між двома дочірніми клітинами.

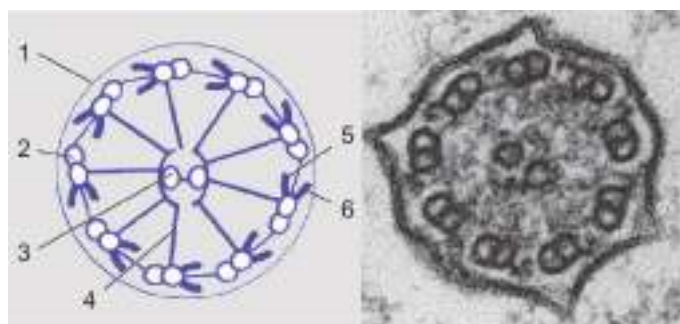
Джгутики та війки еукаріотних одноклітинних істот також побудовані з мікротрубочок. Кожен джгутик або війка складаються з двох центральних мікротрубочок, а також із дев'яти периферійних груп, до кожної з яких входить дві мікротрубочки (іл. 12.8). Біля основи кожної війки чи джгутика розміщене *базальне тільце*. Ця структура також складається з дев'яти пар радіально розташованих мікротрубочок.



Іл. 12.6. Цитоскелет тваринної клітини



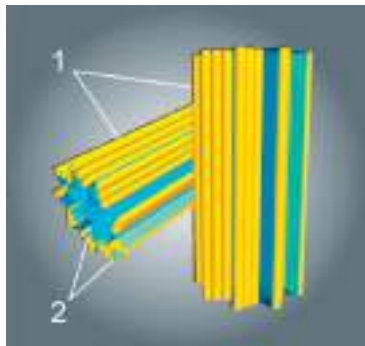
Іл. 12.7. Мікротрубочка побудована з молекул двох типів білка



Іл. 12.8. Будова джгутика: 1 — мембрана джгутика; 2 — периферичні групи з двох мікротрубочок; 3 — пара центральних мікротрубочок; 4 — радіальна шпичка; 5 — внутрішні «ручки»; 6 — зовнішні «ручки»

Клітинний центр. Особливою органелою клітин організмів, здатних до активного руху, є *центросома*, або *клітинний центр* (іл. 11.1). Таку назву пояснюють тим, що ця структура зазвичай міститься у центральній частині клітини поблизу ядра і її добре помітно у світловий мікроскоп. Саме тут — центр організації та формування мікротрубочок.

Клітинний центр відіграє важливу роль у процесі розмноження клітин, забезпечуючи поділ материнської клітини на дві рівнозначні частини. Побудований він із двох *центріолей* (іл. 12.9), які відтворюються шляхом подвоєння, причому цей процес зазвичай збігається з поділом клітини.



Іл. 12.9. Будова клітинного центру:
1 — центріолі;
2 — мікротрубочки

Руховий апарат клітини. Основу рухового апарату клітини становлять *мікрофібрили* (від грец. *мікрос* — маленький і лат. *фібрила* — нитка), що одним кінцем прикріплені до зовнішньої плазматичної мембрани, а іншим — до будь-якої органели чи макромолекули. Таким чином вони утворюють щось на зразок «м'язового» апарату клітини, який забезпечує переміщення окремих органел і рух цитоплазми. Вони тонші за мікротрубочки та мають ниткоподібну форму.

Мікрофібрили побудовані з білків й здатні до скорочення та розтягування. Їх наявність у клітинах тварин дає їм змогу змінювати форму. Особливі мі-

крофібрили — *міофібрили* — обов'язково наявні в скелетних і серцевих м'язових клітинах.

Розрізняють волокна тонші, які складаються з білка актину, й товщі, які складаються з міозину. Саме взаємодія цих білків і спричиняє м'язові скорочення.



Особливу роль у житті клітин відіграють органели з подвійною клітинною мембраною — **мітохондрії** та **пластиди**. Вони мають між собою багато спільного, адже їм властивий свій генетичний апарат. Крім того, вони здатні розмножуватися поділом навпіл і відповідають за енергетичні процеси, що відбуваються в клітинах. **Мітохондрії** — це двомембранні органоїди клітини, які містяться в усіх клітинах рослин, тварин та грибів. **Пластиди** притаманні лише клітинам рослин. Пластиди, що містять хлорофіл (**хлоропласти**), мають найбільш складну будову, в них відбувається **фотосинтез**. **Цитоскелет** — це особливий клітинний апарат, головним чином тваринних клітин. Він складається з **мікротрубочок** і **мікрофіламентів**. Функція цитоскелета — з одного боку, підтримання сталої форми клітин, з іншого — зміна форми клітин, переміщення органел в цитоплазмі та рух самої цитоплазми.

Ціла низка органелів клітини побудовані не з клітинної мембрани, а з особливих білків (цитоскелет) або рРНК (рибосоми). Крім того, деякі з них (**включення**) є **тимчасовими компонентами клітини**.



1. Які органели називають двомембранними?
2. У чому полягають функції мітохондрій?
3. Що подібного і що відмінного в будові пластид і мітохондрій?
4. Укажіть, які пігменти містяться у хлоропластах, а які — в хромопластах?
5. Що таке цитоскелет і в яких клітинах він особливо розвинутий?
6. У яких істот немає клітинного центру?
7. За допомогою яких структур клітини можуть змінювати свою форму?
8. Де в клітині зосереджені рибосоми?
9. Яка роль міофібрил?



- Чому окиснення органічних речовин у мітохондріях, за якого вивільняється значна кількість енергії, відбувається без підвищення температури в клітині?
- Чому у квіткових рослин немає клітинного центру?

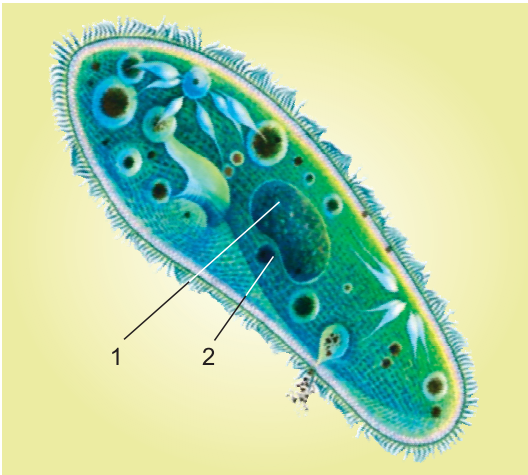
§ 13. Клітинне ядро, його будова та функції. Хромосоми та каріотип

Терміни й поняття: ядро, генетичний апарат, ядерна оболонка, хроматин, хромосоми, каріотип, ядерце, диплоїдний та гаплоїдний хромосомні набори.

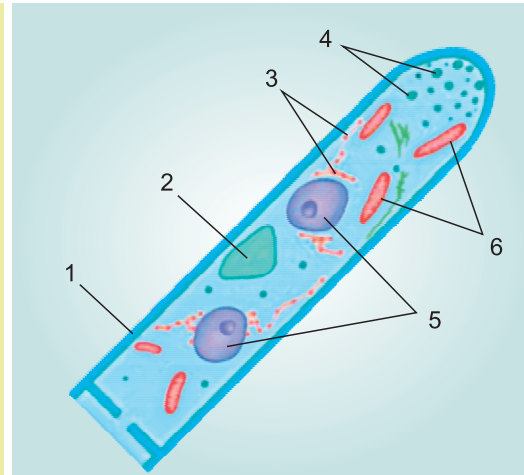
Клітинне ядро. Клітини грибів, рослин і тварин мають ядро — органелу, в якій міститься ДНК і яка є місцем зберігання генетичної інформації клітини. У ядрі міститься генетичний апарат клітини.

Зазвичай ядро розташоване в центрі клітини, хоча в багатьох зрілих клітинах рослин воно притиснуте до клітинної стінки вакуолею (іл. 11.4). Ядро займає близько 20 % об'єму клітини (іл. 11.1). У круглих клітинах воно має форму кулі (звідки й походить назва «клітинне ядро»), у видовжених — еліпсоїда.

Більшість клітин має одне ядро, але трапляються й багатоядерні клітини. В інфузорії-туфельки клітина містить два ядра (іл. 13.1): велике й мале. Велике ядро, або макронуклеус, регулює перебіг хімічних реакцій у клітині, а мале, або мікронуклеус, є місцем зберігання спадкової інформації. У клітинах вищих грибів зазвичай наявні два ядра: одне — від материнського, інше — від батьківського організмів (іл. 13.2).



Іл. 13.1. Інфузорія туфелька:
1 — макронуклеус,
2 — мікронуклеус

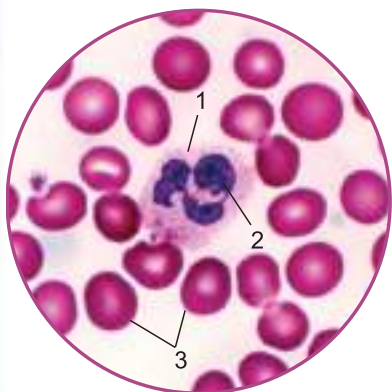


Іл. 13.2. Клітина шапинкового гриба:
1 — клітинна стінка; 2 — вакуоля; 3 — рибосоми; 4 — ростові міхурці; 5 — ядра; 6 — мітохондрії

А в нижчих грибів є лише одна величезна клітина зі значною кількістю ядер. Подібну структуру спостерігають і в клітинах посмугованих м'язів, що виникли внаслідок злиття багатьох клітин. Багатоядерні клітини є в кістковому мозку й у печінці людини, де відбувається інтенсивний синтез білків.

У тварин також відомі без'ядерні клітини, які, однак, довго жити не можуть.

Зокрема, юні еритроцити ссавців на момент свого дозрівання втрачають ядро й здатність до поділу та живуть лише 120 днів (іл. 13.3).



Іл. 13.3. Формені елементи крові людини у світловому мікроскопі:

1 — лейкоцит; 2 — ядро лейкоцита; 3 — еритроцити

У рослин є також свої без'ядерні клітини. Оболонки таких клітин поступово накопичують спеціальну речовину, у них згасає життя, і вони перетворюються на міцні механічні структури.

Ядро як центр керування клітиною. Майже одразу після відкриття ядра ще на початку XIX ст. висловлювались припущення щодо провідної ролі ядра в процесах росту й розвитку клітини та організму. Згодом це припущення довели численні дослідження.

Найвідомішими стали такі експерименти.

1. Якщо із заплідненого яйця жаби одного виду мікрохірургічним шляхом видалити ядро, а на його місце помістити ядро жаби іншого, близького виду, то з цього ядра розвинеться жабеня іншого, а не першого виду. Отже, ядро — це апарат керування, що визначає характер росту і специфіку розвитку організму.

2. Якщо в амеби акуратно видалити ядро, вона житиме від одного дня до двох тижнів і протягом цього часу не здатна рости й ділитися. Якщо ж видалити цитоплазму, залишивши лише невелику облямівку навколо ядра, то протягом одного-двох тижнів цитоплазма відновиться й амеба житиме та розмножуватиметься, як і раніше. Цей експеримент довів, що клітина без ядра не здатна не лише розмножуватися, а й жити тривалий час. Ядро — це той органоїд, який постійно підтримує цитоплазму у функціональному стані.

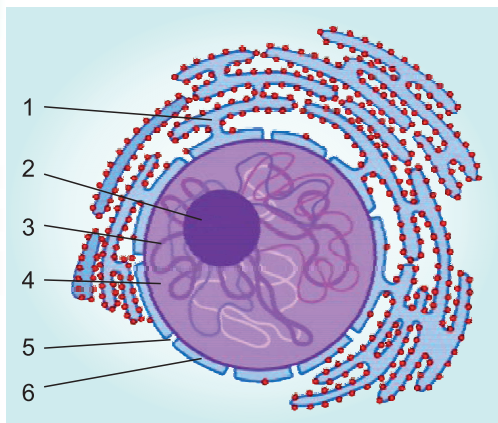
Отже, ядро в клітині виконує дві головні функції:

- **метаболічну функцію** — ядро «керує» процесами біосинтезу, зокрема РНК та білків.

- **спадкову функцію** — саме в ядрі в молекулах ДНК зберігається генетична інформація.

Будова клітинного ядра. Ядро складається з компонентів, обов'язкових для всіх клітин, і, отже, має загальну схему будови. У ядрі розрізняють: *ядерну оболонку*, *хроматин* (від грец. *хрома* — колір), *ядерце* та *каріоплазму* (від грец. *каріон* — ядро) (іл. 13.4).

Ядерна оболонка добре помітна у світловий мікроскоп, де вона має вигляд



Іл. 13.4. Схема будови ядра:

1 — шорстка ендоплазматична сітка;

2 — ядерце; 3 — хроматин;

4 — ядерний сік; 5 — ядерна пора;

6 — ядерна оболонка

чіткої темної межі, що проходить навколо ядра. В електронний мікроскоп ядерну оболонку можна роздивитись у деталях. Вона складається з двох шарів елементарної плазматичної мембрани (зовнішньої та внутрішньої), між якими розміщена порожнина. Ядерна оболонка містить отвори — пори (іл. 13.4), які заповнені спеціальними білками.

Крізь пори до цитоплазми клітини надходять молекули іРНК і рибосоми. Із цитоплазми до ядра проникають нуклеотиди, з яких синтезуються нуклеїнові кислоти, а також певні білки, що входять до складу генетичного апарату клітини та рибосом. Також крізь ядерну оболонку в обох напрямках відбувається дифузія йонів і низькомолекулярних сполук.

Ядерна мембрана є продовженням мембранної системи клітини й нерозривно пов'язана з її головним компонентом — ендоплазматичною сіткою. Причому пори ядерної оболонки безпосередньо переходять у канали ендоплазматичної сітки.

Хроматин — це щільна речовина ядра, що у світловому мікроскопі зазвичай має вигляд переплутаних тонких ниток.

Під час поділу клітини, коли відбувається руйнування ядерної оболонки, нитки хроматину ущільнюються, коротшають, і у світловий мікроскоп можна побачити компактні структури — *хромосоми* (від грец. *chroma* — колір і *soma* — тіло).

Детальне вивчення структури за допомогою електронного мікроскопа виявило, що хроматин нагадує «намистинки» зі специфічних білків — *гістонів* (від лат. *гістон* — ткацька майстерня). «Нитками» слугують молекули ДНК (іл. 8.3).

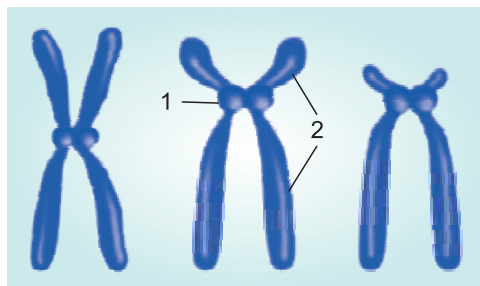
Саме в ДНК хромосом міститься спадкова інформація організму, тому сукупність хромосом ядра називають *генетичним апаратом* клітини.

Форма хромосом може бути різною і залежить від розміщення особливої перетяжки — *центромери*, яка поділяє її на дві частини — *плечі*. Відповідно до розміщення центромери розрізняють кілька типів хромосом (іл. 13.5).

Ядерце — добре помітне у світловий мікроскоп овальне або округле тільце (іл. 11.1). У ядрі може бути кілька ядерець і, відповідно до стану клітини, їх кількість змінюється. У молодих клітинах, де синтез білка протікає більш інтенсивно, кількість ядерець завжди більша, адже саме в ядрах відбувається синтез рРНК, а потім збираються рибосоми.

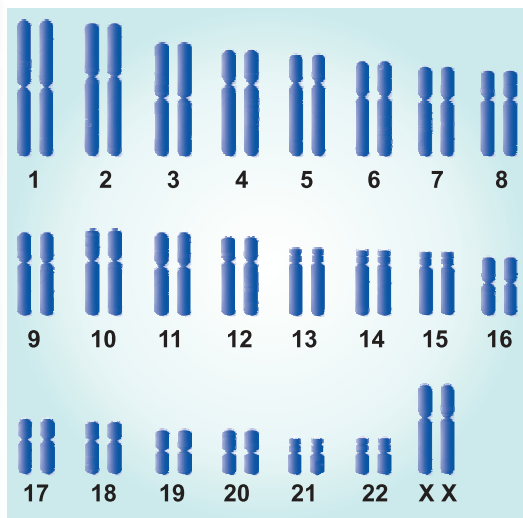
Каріоплазма (ядерний сік) — це напіврідка безструктурна рідина, що заповнює порожнину між хроматином і ядерцями. У ній містяться білкові фібрили та молекули РНК.

Хромосомний набір. У ядрі клітин усіх еукаріотів міститься не одна, а кілька хромосом, число яких парне і зазвичай змінюється залежно від виду організму — від 4 до 200. Це і є *хромосомний набір* клітини.



Іл. 13.5. Вигляд хромосом різного типу під час поділу клітини:
1 — центромера; 2 — плечі

Хромосоми чітко групуються на пари хромосом, які називають гомологічними. Одна з гомологічних хромосом походить від матері, друга — від батька. Хромосоми кожної пари за своєю структурою унікальні. Вони різняться не лише за місцем розташування центромери, а й за розмірами всієї хромосоми або окремих її частин. У



Іл. 13.6. Кариотип людини (жінка)

різних, навіть зовні дуже подібних видів тварин і рослин число хромосом зазвичай відрізняється, і певної логіки та очевидного функціонального сенсу в цьому немає.

Ці ознаки хромосомного набору (число хромосом, їх форма й розміри), за якими набір хромосом одного виду відрізняється від іншого, називають *каріотипом* (від грец. *каріон* — ядро, *типос* — зразок) (іл. 13.6).

Соматичні (від грец. *сома* — тіло) клітини, з яких, власне, й складається тіло будь-якого багатоклітинного організму, зберігають усі ознаки хромосомного набору, властиві певному біологічному виду — їх кількість та індивідуальність. Причому такі клітини мають подвійний, або *диплоїдний*, набір, один з яких походить від яйцеклітини, а другий — від сперматозоїда, тоді як статеві клітини є *гаплоїдними* і мають лише один набір змішаних хромосом, тобто в статевих клітинах містяться як хромосоми від матері, так і від батька, причому бувають вони в найрізноманітніших комбінаціях.



Ядро — це місце зберігання генетичної інформації та апарат керування клітиною. Ядро відокремлене від цитоплазми подвійною клітинною мембраною і містить ДНК та спеціальні білки, з яких утворюється хроматин.

Хроматин — це будівельна речовина хромосом, структур ядра, у яких міститься спадкова інформація. Сукупність хромосом ядра є **генетичним апаратом клітини**.

Кожен вид рослин чи тварин має свій особливий набір хромосом, який називають **каріотипом**. Соматичні клітини, з яких будується тіло організму, **диплоїдні** (містять подвійний набір хромосом): один від матері, другий — від батька. Статеві клітини — **гаплоїдні** та мають один набір хромосом.



1. Який вигляд має ядро та чому ця органела має таку назву? 2. Які експерименти довели, що ядро — це апарат для керування клітиною? 3. У чому полягають особливості будови ядерної оболонки? 4. Де відбувається синтез рРНК? 5. Що таке генетичний апарат? 6. За якими параметрами відрізняються хромосомні набори різних видів?



- Чому кожен вид організмів має свій особливий каріотип?

§ 14. Різноманітність типів будови клітини. Клітинна теорія

Терміни та поняття: прокаріоти, еукаріоти, клітинна теорія, принцип «клітинної організації живого», принцип «клітина від клітини».

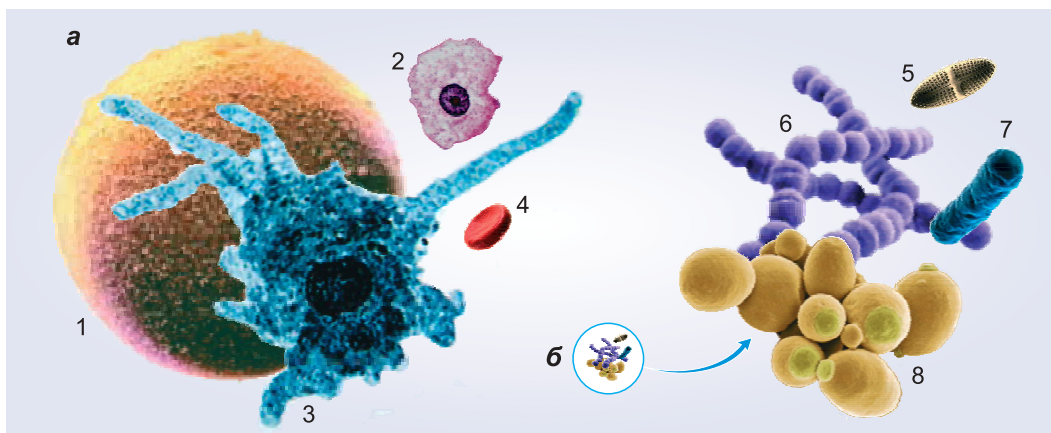
Подібність та відмінність клітин різних організмів. Як уже зазначалось, клітини всіх живих істот мають спільний план будови: клітинна мембрана; цитоплазма, яка містить органели та генетичний апарат — вмістилище спадкової інформації.

Слід зазначити, що клітини різних груп організмів бактерій, рослин, тварин і грибів мають певні відмінності, які й зумовлюють їхній спосіб життя, тип живлення і здатність пересуватися.

Найбільші відмінності спостерігаються між клітинами прокаріотів, до яких відносять різноманітні бактерії та еукаріоти — рослини, тварини й гриби.

Головні відмінності клітин прокаріотів та еукаріотів.

● **Різні розміри.** Клітини еукаріотів зазвичай у тисячі разів більші за об'ємом, ніж прокаріотів. Наприклад, діаметр типової клітини людини — близько 0,03 мм, тоді як розмір найбільших бактерій становить лише 0,002 мм (іл. 14.1).



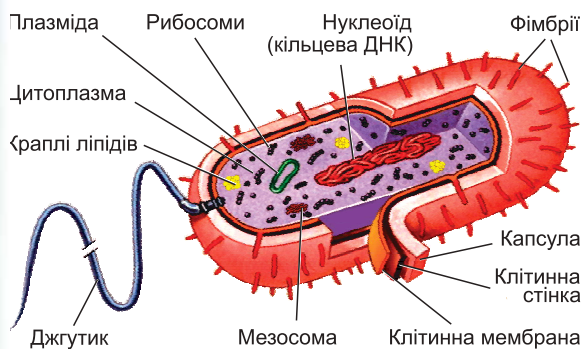
Іл. 14.1. Приблизні порівняльні розміри клітин еукаріотів (а) та прокаріотів (б):
1 — яйцеклітина; 2 — клітина печінки; 3 — амеба; 4 — еритроцит;
5 — діатомова водорість; 6 — стрептокок; 7 — бацила; 8 — дріжджі

Значно більші розміри дозволяють еукаріотній клітині створити систему клітинних органел, підвищити рівень організації, зробити процеси, що в ній відбуваються, більш складними й водночас більш керованими.

● **Принципово різна організація цитоплазми.** Сучасні дані, отримані за допомогою електронного мікроскопа, довели, що цитоплазма еукаріотного організму має чітко визначену структуру.

Її основою є система пов'язаних між собою плазматичних мембран, що утворюють різноманітні функціональні відсіки-органели: ендоплазматичну сітку, апарат Гольджі, лізосоми, мікротільця і вакуолі. Тоді як у прокаріотів усі ці органели відсутні, а процеси, пов'язані із синтезом біологічних речовин, відбуваються на внутрішній стороні клітинної мембрани (іл. 14.2).

У результаті бактерії просто не можуть ефективно використати весь об'єм клітини, як це роблять еукаріоти, а тому хімічні перетворення речовин у їхніх клітинах відбуваються не так ефективно.

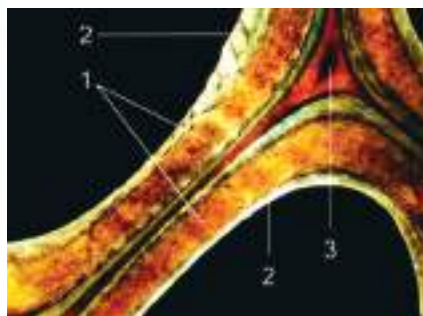


Іл. 14.2. Схема будови клітини бактерії

● **Відмінність у будові генетичного апарата.** У клітинах рослин, тварин чи грибів генетичний апарат міститься в ядрі — органілі, яка відокремлена від цитоплазми оболонкою. Генетичний матеріал — молекула ДНК разом зі спеціальними білками-гістонами формує речовину хроматин, з якої утворюються хромосоми. У бактерій немає ані чітко оформленого ядра, ані хромосом, ані хроматину. Функцію хромосоми в них виконує молекула ДНК (іл. 14.2).

Вона має форму замкненого кільця, яке прикріплене до внутрішньої сторони клітинної мембрани (іл. 14.2).

● **Відмінність між клітинами різних царств еукаріотів.** Представники трьох царств еукаріотів: Рослини, Тварини й Гриби — чітко розрізняються за способом життя та живленням. Рослини — це автотрофні фотосинтезуючі нерухомі організми, тварини — гетеротрофні, що активно рухаються, а гриби — нерухомі гетеротрофи.



Іл. 14.3. Місце стикання оболонок трьох рослинних клітин: 1 — клітинні стінки сусідніх клітин; 2 — плазматична мембрана; 3 — міжклітинна речовина

Усі ці особливості чітко відбиваються на особливостях будови їхніх клітин, хоча правильніше казати — саме особливості будови їх клітин і визначають рухомий чи нерухомий спосіб життя і здатність чи нездатність до фотосинтезу.

Клітини рослин закуті у тверду клітинну оболонку, основою якої в усіх вищих рослин є молекули полісахариду целюлози (іл. 14.3).

У нижчих рослин — водоростей — клітинна оболонка більш різноманітної будови. Її складовою також є целюлоза, однак вагоме значення мають й особливі білки глікопротеїди. У діатомових водоростей панцир складається з силіцій(IV) оксиду (іл. 14.4). У клітинах рослин обов'язково наявний фотосинтетичний апарат, який утворюють хлоропласти.



Іл. 14.4. Діатомова водорість

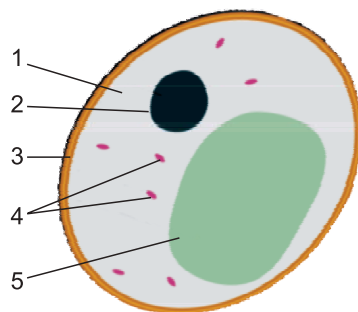
Ще одна особливість зрілих рослинних клітин — наявність вакуолей, які можуть займати близько 90 % об'єму цитоплазми.

Клітини тварин на своїй поверхні містять гнучкий глікокалікс, що дозволяє їм легко змі-

нювати свою форму (іл. 10.11). У них немає ані пластид, ані вакуоль, однак є розвинутий цитоскелет, що складається з мікротрубочок й мікрофіламентів та виконує функцію опорно-рухового апарату. Завдяки відсутності клітинних стінок і наявності цитоскелета клітини розтягуються і скорочуються, а тварини швидко пересуваються.

Клітина грибів дуже незвичайна (іл. 14.5, 13.2). Практично все тіло — це одна величезна багатоядерна клітина, яка може бути розділена перегородками на окремі сегменти. Поверхня клітини має тверду клітинну стінку, побудовану зі складного полісахариду хітину. Згадайте: саме ця речовина є складовою міцного панцира членистоногих тварин.

Отже, клітини грибів не здатні змінювати свою форму, а тому гриби є нерухомими організмами. У клітинах грибів відсутні пластиди, вакуолі й цитоскелет. Порівняльна характеристика будови клітин чотирьох царств живого наведена в таблиці 3.



Іл. 14.5. Схема будови клітини гриба: 1 — цитоплазма; 2 — ядро; 3 — клітинна оболонка; 4 — мітохондрії; 5 — вакуоля

Порівняльна характеристика будови клітин представників чотирьох царств живого

Таблиця 3.

Ознака чи структура	Бактерії	Рослини	Тварини	Гриби
Плазматична мембрана	Є	Є	Є	Є
Клітинна оболонка	3 особливих білків	3 целюлози	Немає	3 хітину
Ендоплазматична сітка	Немає	Є	Є	Є
Комплекс Гольджі	Немає	Є	Є	Є
Лізосоми	Немає	Є	Є	Є
Вакуолі	Немає	Є	Немає	Немає
Рибосоми	Є дрібні	Є звичайного розміру	Є звичайного розміру	Є звичайного розміру
Клітинний центр	Немає	Немає	Є	Немає
Цитоскелет	Немає	Немає	Є	Немає
Генетичний апарат	Є	Є	Є	Є
Ядро	Немає	Є	Є	Є
Хромосоми	Немає	Є	Є	Є
Генетична речовина	ДНК	ДНК	ДНК	ДНК

Теорія клітинної будови організмів. Одним з головних теоретичних положень сучасної біології є клітинна теорія. Це біологічне узагальнення бере свій по-

чаток ще з XIX ст. Воно доводить існування єдиного принципу будови й життєдіяльності всіх живих організмів. Ключовим положенням є уявлення про клітину як одиницю будови живих організмів. Головними слід вважати чотири положення.

1. Принцип «клітинної організації живого». Клітина є найменшою елементарною одиницею живого; поза клітиною життя немає. Близько 200 років тому це положення сформулював німецький дослідник Теодор Шванн.



*Теодор Шванн
(1810–1882)*

Воно й досі залишається ключовим у клітинній теорії та одним з основоположних принципів науки про живе. Виходячи з теорії клітинної будови організмів, можна стверджувати, що життя та його відтворення поза клітиною неможливі, а всі організми, які живуть на Землі, складаються з клітин. Це стосується як мікроскопічних одноклітинних організмів, так і гігантів світу тварин і рослин.

2. Принцип спадковості клітин, або закон Вірхова. Нова клітина виникає лише внаслідок поділу материнської клітини.



*Рудольф Вірхов
(1821–1902)*

Цей принцип сформулював видатний німецький біолог Рудольф Вірхов. Із принципу спадковості клітин випливають важливі висновки, які вважають універсальними положеннями сучасної біології.

- Основою процесу росту й розвитку багатоклітинного організму є поділ клітин. Цей поділ спричиняє збільшення кількості клітин у геометричній прогресії та, у свою чергу, — збільшення організму в розмірах і його розвитку.

- Розмноження організмів пов'язане лише з поділом клітин. Так, одноклітинні організми розмножуються лише поділом навпіл материнської клітини, а багатоклітинні — спеціальними статевими клітинами, які утворюються внаслідок мейозу.

Усі організми, що складаються зі значної кількості клітин, беруть початок від однієї заплідненої яйцеклітини.

3. Принцип спільності в будові та походженні клітин. Усі клітини подібні за своїми основними властивостями й організацією, мають спільне походження, однаковий план будови, складаються з однакових хімічних елементів і речовин. Так, найпоширенішою речовиною клітин є вода; будівельним матеріалом усіх клітин — клітинна мембрана, що побудована з фосфоліпідів; основною функціональною речовиною клітини є білок; джерелом енергії слугують жири та вуглеводи, а носієм спадкової інформації — ДНК.

4. Активність багатоклітинного організму як сума активностей його клітин. Будь-який життєвий прояв багатоклітинного організму — це сукупність активних дій клітин. Наприклад, рухи людини — це скорочення волокон м'язових клітин, роботу яких координують нервові клітини, а забезпечують еритроцити, що здійснюють газообмін. Навіть думка, яка промайнула в голові, є результатом скоординованої роботи окремих клітин кори великих півкуль головного мозку.

Крім того, що клітини мають спільний план будови, представники різних царств живого мають свої особливості, які визначають їх спосіб життя й тип живлення. Особливо відрізняються клітини прокаріотів та еукаріотів, у будові яких спільними залишаються лише найбільш загальні риси.



Клітинна теорія є одним з головних теоретичних положень сучасної біології, яка стверджує існування єдиного принципу будови й життєдіяльності всіх живих організмів. Ключовим її положенням є уявлення про клітину як одиницю будови живих організмів.



1. У чому полягають головні відмінності будови клітин прокаріотів порівняно з еукаріотами? **2.** Що є особливого в будові генетичного апарату тварин порівняно з бактеріями? **3.** Назвіть головні відмінності будови клітин рослин та тварин. **4.** Які особливості клітинної будови тварин особливо позначаються на способі їх життя? **5.** Яке з положень клітинної теорії вважають головним. Чому? **6.** Який процес на рівні клітин спричиняє ріст і розвиток організму?



• Чи може квіткова рослина повністю перейти на гетеротрофний спосіб живлення? Якщо так, то які зміни на рівні клітин мають відбутися?

Лабораторна робота

Тема: Вивчення структурно-функціональної різноманітності клітин.

Мета: отримати наочне уявлення про різноманітність клітин людини, тварин та рослин.

Обладнання та матеріали: мікроскоп, постійні препарати різних типів тканин та органів людини, постійні препарати тваринних і рослинних клітин.

Теоретична частина. Клітини, з яких побудовані тіла вищих рослин і тварин, відрізняються за своїм функціональним призначенням, місцем, яке вони займають в організмі, розмірами, формою та будовою. Клітини певних типів, сполучаючись між собою, утворюють тканини, з яких уже формуються органи рослин і тварин, а згодом — і все тіло. Будова, розміри й форма клітин призначені для найбільш ефективної роботи.

Варіант 1

Завдання: 1) порівняти розміри й форму клітин, що належать до різних типів тканин; 2) обґрунтувати особливості форми й розмірів клітин у зв'язку з функціями, які вони виконують.

Хід роботи.

1. Налаштуйте мікроскоп, виставивши потрібне збільшення.
2. Детально розгляньте клітинну будову різних тканин людини.
3. Опишіть побачені клітини.
4. Визначте залежність між типом клітин і функцією, яку вони виконують в організмі людини.
5. Намалюйте побачені клітини.
6. Заповніть протокол лабораторного дослідження:
 - за якого збільшення мікроскопа проводилося дослідження;
 - запишіть результати спостережень;
 - поясніть різноманітність типів клітин;

Варіант 2

Завдання: 1) порівняти розміри і форму клітин, що належать до рослинних та тваринних тканин; 2) обґрунтувати особливості форми й будови клітин різних царств у зв'язку з особливостями способів життя рослин і тварин.

Хід роботи.

1. Налаштуйте мікроскоп, виставивши потрібне збільшення.
2. Детально розгляньте клітинну будову різних тканин рослини й тварин.
3. Визначте найпомітніші відмінності в їх будові.

4. Замалюйте побачені клітини.
 5. Заповніть протокол лабораторного дослідження:
 • укажіть, за якого збільшення мікроскопа проводилося дослідження;
 • укажіть відмінність у будові клітин рослин і тварин;
 • поясніть причини різноманітності типів клітин.

Тестові завдання до теми 2

2.1. Першим побачив клітину в мікроскопі

- A** Р. Гук **Б** К. Гольджі **В** Т. Шванн **Г** Р. Вірхов

2.2. Світловий мікроскоп здатний збільшувати зображення щонайбільше до

- A** 100 разів **Б** 1 000 разів **В** 2 000 разів **Г** 50 000 разів

2.3. Метод, за допомогою якого найкраще досліджувати деталі будови клітинної мембрани

- A** світлова мікроскопія **Б** авторадіографія
В електронна мікроскопія **Г** центрифугування

2.4. Речовина, яка визначає властивості клітинної мембрани

- A** глікопротеїди **Б** фосфоліпіди **В** целюлоза **Г** клітковина

2.5. Речовина, яка входить до складу клітинної стінки рослин

- A** крохмаль **Б** віск
В фосфоліпіди **Г** целюлоза

2.6. Глікокаліксом називають

- A** нещільний покрив тваринної клітини
Б щільний покрив рослинної клітини
В будь-який покрив клітини
Г клітинну оболонку тваринних клітин

2.7. Органела, у якій відбувається синтез білків

- A** шорстка ендоплазматична сітка **Б** гладенька ендоплазматична сітка
В комплекс Гольджі **Г** клітинний центр

2.8. Органела, яка побудована лише з одного шару клітинної мембрани

- A** лізосома **Б** хлоропласт **В** мітохондрія **Г** ядро

2.9. У відповідність органели та функції, які вони виконують

- | | |
|---|---|
| <p>1 хлоропласт
 2 мітохондрія
 3 клітинний центр
 4 апарат Гольджі</p> | <p>A забезпечує фотосинтез
 Б забезпечує внутрішньоклітинне травлення
 В формує мікротрубочки
 Г накопичує білки та полісахариди
 Д окиснює органічні речовини</p> |
|---|---|

2.10. Складіть характеристику тваринній клітині, вибравши правильні відповіді

Особливість поверхнього апарату	Наявність органел з подвійним шаром клітинної мембрани	Особливості організації цитоплазми
1 взагалі немає	1 лише мітохондрії	1 наявні вакуолі
2 нещільний	2 лише пластиди	2 наявний цитоскелет
3 глікокалікс, клітинна стінка	3 пластиди та мітохондрії	3 немає ані цитоскелета, ані вакуоль

Тема 3. ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ КЛІТИНИ

§ 15. Метаболізм (обмін речовин і трансформація енергії) — одна з головних ознак живого

Терміни й поняття: обмін речовин, або метаболізм; анаболізм (асиміляція) або пластичний обмін; катаболізм (дисиміляція), або енергетичний обмін; гомойотермні і пойкилотермні організми; трансформація енергії.

Обмін речовин та перетворення енергії в клітині. Основою будь-яких процесів, що відбуваються в організмі (рух, ріст, розвиток, розмноження) є відповідь на подразник — хімічні реакції перетворення одних хімічних речовин на інші, що супроводжуються накопиченням або виділенням енергії. Власне кажучи, вони є основою життєвих процесів і дозволяють організму рости, розмножуватися, підтримувати сталість своєї організації й відповідати на подразники зовнішнього середовища.

Навіть у найменшій за розмірами клітині щосекунди відбувається тисячі хімічних перетворень. Причому ці перетворення мають протилежну спрямованість: в одних частинах клітини відбувається синтез речовини, наприклад АТФ, а в інших — їх розпад. Проте всі реакції чітко узгоджені та здійснюються під контролем клітини й організму, а тому за обов'язковою участю ферментів. Це дозволяє не лише прискорювати реакції в мільйони разів, причому без підвищення температури та за дуже низьких концентрацій речовин, а й регулювати процеси хімічних перетворень, що відбуваються в клітині.

Сукупність реакцій, які відбуваються у клітинах живих істот, називають *обміном речовин*, або *метаболізмом* (від грец. *метаболе* — зміна, перетворення).

Слід зазначити, що ключові реакції обміну речовин є універсальними для всіх живих істот, однак не лише кожний біологічний вид, а й кожна особина, яка має індивідуальні особливості будови, мають свої власні особливості обміну речовин. Хімічні реакції в клітинах відбуваються послідовно, тобто продукт, що утворився внаслідок однієї реакції, стає матеріалом для іншої і т. д. Цю сукупність реакцій називають *метаболічними шляхами* які зазвичай розгалужуються та утворюють цілі сітки метаболічних шляхів.

Два напрямки метаболічних процесів. Перший метаболічний шлях — це сукупність реакцій розщеплення органічних речовин до найпростіших неорганічних сполук, таких як вода (H_2O), карбон(IV) оксид (CO_2), амоніак (NH_3). Цей процес називають *катаболізмом* (від грец. *катаболе* — руйнування), або *дисиміляцією* (від лат. *діссіміляціо* — розподібнення), або енергетичним обміном. Усі реакції енергетичного обміну відбуваються з вивільненням енергії, частина якої резервується організмом головним чином у молекулах АТФ, а інша частина вивільняється у вигляді тепла.

Крім того, під час розпаду величезних біологічних молекул з'являються нові речовини, які клітина використовує для утворення потрібних їй речовин.

Другий метаболічний шлях — це хімічні реакції зворотного напрямку, коли з простих речовин утворюються більш складні. Це реакції біологічного синтезу, су-

купність яких називають *анаболізмом* (від грец. *анаболе* — підняття), або *асиміляцією* (від лат. *асиміляціо* — уподібнення), або *пластичним обміном*. Реакції пластичного обміну завжди потребують витрат енергії, джерелом якої передусім є АТФ.

Межа між енергетичним та пластичним обміном інколи дуже невизначена, адже, з одного боку, ті ж самі речовини утворюються під час розщеплення величезних макромолекул, а з іншого — беруть участь у біологічному синтезі (іл. 15.1).



Іл. 15.1. Співвідношення між анаболізмом та катаболізмом

Обмін речовин забезпечує властиву живому організму як цілісній системі динамічну рівновагу: між реакціями синтезу й розпаду виникає баланс. Можна сформулювати й так: на певну кількість утворених організмом хімічних сполук припадає відповідна кількість тих, що розклалися.

Етапи метаболізму. Як і будь-який складний процес, об-

мін речовин краще поділити на кілька етапів. У людини виділяють три основні.

- Перший етап — травлення. Процес передбачає не лише розпад макромолекул за допомогою реакції гідролізу на дрібні складові, а ще й механічну обробку їжі. Кінцевим результатом цього етапу є перетворення їжі на відносно дрібні молекули, які всмоктуються кишечником.

- Другий етап — транспорт речовин кров'ю і подальше їх розкладання на компоненти, які вже здатні проникати всередину клітин, де відбуваються процеси пластичного й енергетичного обміну.

- Третій етап — виділення продуктів обміну із сечею, калом, потом і видихуваним повітрям.

Інтенсивність метаболізму. Число хімічних перетворень за одиницю часу, що відбувається в клітинах організму, називають інтенсивністю метаболізму. Вона залежить від багатьох факторів: маси, віку, розмірів організму (у дрібних ссавців чи птахів швидкість обміну речовин значно вища, ніж у великих за розмірами тварин), температури, освітлення, сонячної радіації, вологості та інших фізичних і хімічних чинників середовища. У людини метаболізм регулюється гормонами, що виробляються залозами внутрішньої секреції, робота яких, у свою чергу, координується нервовою системою.

У різних живих істот процеси хімічних перетворень відбуваються з неоднаковою інтенсивністю. У ссавців та птахів, яким властиві найбільш досконалі системи органів, інтенсивність метаболізму досягає такого високого рівня, що температура їхнього тіла завжди висока та постійна і не залежить від температури навколишнього середовища. Таких тварин називають *гомойотермними* (від грец. *гомос* — рівний, однаковий і *терме* — тепло) (іл. 15.2).

У менш еволюційно просунутих тварин, наприклад риб, земноводних, плазунів температура тіла нестала й змінюється в широких межах залежно від температури навколишнього середовища (іл. 15.3). Таких тварин називають *пойкілотермними* (від грец. *пойкілос* — мінливий і *терме*).



Іл. 15.2. Миша лісова — типова гомойотермна істота



Іл. 15.3. Карась звичайний — пойкилотермна істота

Клітинний гомеостаз. У здоровому організмі існує чіткий баланс між хімічними реакціями, що відбуваються на рівні клітини. Цей стан називають *клітинним гомеостазом* (від грец. *гомоіос* — подібний і *стасіс* — стан). У його основі лежить урівноваженість й узгодженість різноманітних хімічних перетворень, що відбуваються в клітині. Важливою умовою клітинного гомеостазу є стале співвідношення між хімічними реакціями синтезу й розпаду. Ключова роль у перебігу цих реакцій, як і в реакціях обміну, відведена ферментам, які, власне, й визначають, що за речовини та в якій кількості в клітині будуть розкладатися або синтезуватися. Найважливішою особливістю дії ферментів є те, що реакції за їх участю точно вивірені, а тому під час їх перебігу побічні продукти, які могли б згодом накопичитися в клітині та отруїти її, не утворюються.

Практичне значення знань про метаболічні процеси. Кожний, хто вважає себе «людиною розумною», повинен мати хоча б елементарне уявлення про те, які процеси відбуваються в його організмі, особливо, якщо йдеться про такий важливий біологічний процес як метаболізм. Цілком очевидно: щоб бути здоровим і жити довго, потрібно знати, що основою життя є сукупність хімічних реакцій, які протікають за чітко визначеною програмою. Потрібно чітко усвідомлювати, що таке правильне харчування, навіщо й наскільки потрібні організму, наприклад вітаміни. Адже ці речовини є складниками ферментів, а саме ці біомолекули й визначають набір та швидкість хімічних реакцій, що відбуваються в клітині.

Потрібно добре розуміти призначення і склад лікарських засобів, спосіб їх застосування та їх вплив на перебіг хімічних реакцій в окремих органах чи в усьому тілі. Слід пам'ятати, що нормальний метаболізм неможливий без окремих груп корисних бактерій, які живуть в організмі. Загалом, добре налагоджений метаболізм — це і є життя, краса та здоров'я (іл. 15.4).



Іл. 15.4. Налагоджений метаболізм — це життя, краса та здоров'я

Будь-яка хвороба неодмінно призводить до порушення обміну речовин. Інколи на цій особливості організму базуються методи діагностики різноманітних захворювань, які важко визначити іншими способами. Однак не лише хвороби впливають на метаболізм, а й порушення метаболізму впливає на здоров'я. Саме такі розлади в роботі організму викликає певна група спадкових хвороб, спричинених мутаціями, які зупиняють утворення певних ферментів. У результаті в клітинах не лише не відбуваються необхідні хімічні реакції, а навіть накопичуються непотрібні речовини, які згодом стають токсичними й призводять до хвороб.

Трансформація енергії в клітині. Організм — це відкрита система, а тому його функціонування можливе лише завдяки безперервному споживанню енергії. Саме тому будь-яка клітина здатна зберігати свою структуру й виконувати певну роботу лише за умови потрапляння енергії ззовні. Якщо потік енергії припиняється, а власні резерви вичерпуються, клітина втрачає здатність виконувати механічну, електричну та хімічну роботу, а її структура починає руйнуватися. Згодом настає смерть. Рослини як джерело енергії використовують сонячне світло, а тварини отримують енергію з їжею.

У клітині перетворення енергії пов'язані з перетворенням потенційної енергії в кінетичну і навпаки. Потенційна енергія клітини — це та частина енергії, що накопичується у вигляді зв'язків між атомами хімічних сполук: АТФ, вуглеводів, жирів. Кінетична енергія — вивільнення цих запасів у вигляді будь-якої механічної роботи клітини, тепла або енергії, яка необхідна для синтезу органічних речовин. Між надходженням та витратою енергії повинен бути певний баланс. Якщо енергії поступає забагато, то вона переходить у форму потенційної енергії хімічних сполук. Якщо енергії бракує, то організм починає розкладати речовини, призначені для інших функцій. Це може призвести до виснаження.



Сукупність керованих хімічних перетворень у кожній клітині організму називають **обміном речовин**, або **метаболізмом**. Реакції розпаду, що супроводжуються вивільненням енергії, називають **енергетичним обміном**, а реакції синтезу, що потребують енергії, — **пластичним обміном**. Процеси метаболізму, їх інтенсивність залежать від багатьох чинників: як зовнішніх, так і внутрішніх. Порушення обміну речовин можуть викликати спадкові фактори або нездоровий спосіб життя, а це призводить до розладів у роботі організму та до важких захворювань.



1. Що таке обмін речовин і де він відбувається? 2. Чим енергетичний обмін відрізняється від пластичного? 3. Що забезпечує клітинний гомеостаз? 4. Від чого залежить інтенсивність обміну речовин? 5. Чому ссавці та птахи мають постійну температуру тіла? 6. Як відбувається трансформація енергії в живому організмі?



• Чому в дрібніших організмів інтенсивність метаболізму вища, ніж у крупніших представників цього самого виду? Які це може мати наслідки?

§ 16. Енергетичний обмін, або розпад величезних молекул до найдрібніших сполук

Терміни й поняття: гліколіз, клітинне дихання, цикл трикарбонових кислот, окисне фосфорилування, дихальний ланцюг.

Сутність біологічного «горіння». Хоча перетворення енергії у клітині відбувається за тими ж законами фізики та хімії, що й спалювання вугілля на теплоелектростанціях або бензину у двигуні автомобіля (процес окиснення карбоновмісних сполук Оксигеном повітря), його ефективність у живих організмів значно вища. Вважають, що близько 55 % енергії, що вивільнилась під час окиснення органічних речовин, клітина запасає у формі енергії макроергічних зв'язків.

До того ж, на відміну від теплових машин (двигун внутрішнього згорання, реактивний двигун, газова турбіна тощо), які також використовують для роботи потенційну енергію хімічних зв'язків, перенесення кінетичної енергії в клітині здійснюється не від гарячих частин до холодних. У клітині спрацьовують інші механізми (табл. 4).

Таблиця 4.

Порівняння процесів горіння та дихання

Горіння	Дихання
Відбувається за високих температур (наприклад, дрова горять за температури 500–600 °С)	Відбувається за температури 36–37 °С
Енергія виділяється у вигляді теплоти та світла	Перетворюється на енергію хімічних зв'язків
Енергія вивільняється одразу	Вивільняється маленькими порціями
Неможливе у водному середовищі	У водному середовищі цілком можливе

Наприклад, температура мітохондрії, незважаючи на те, що в ній постійно відбуваються хімічні реакції, супроводжувані виділенням значної кількості енергії, не відрізняється від температури інших частин клітини й температура у клітині залишається сталою та невисокою. Це вкрай необхідно, адже білки не витримують температури, вищої за 50 °С, понад яку відбувається денатурація. Невипадково в гомойотермних тварин температура в клітині зазвичай підтримується в діапазоні 36–40 °С, а в пойкилотермних — майже не відрізняється від температури довкілля. Наприклад, в антарктичних риб, що живуть під льодом, вона навіть трохи нижча за 0 °С.

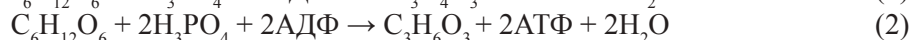
Енергетичний обмін та його етапи. Енергетичний обмін складається з трьох етапів: підготовчого, безкисневого та кисневого.

Перший етап — підготовчий — це розщеплення полісахаридів на глюкозу та інші моносахариди; жирів — на гліцерин та жирні кислоти; білків — на амінокислоти; полінуклеотидів — на окремі нуклеотиди. Цей етап відбувається у тварин спочатку в травному тракті, а потім уже в клітинах; у рослин — безпосередньо в клітинах. Процес супроводжується виділенням незначної кількості енергії, що розсіюється у вигляді теплоти.

Другий етап — *анаеробний (безкисневий)*, або *неповний*. Процес відбувається без участі Оксигену і завершується утворенням проміжних сполук. Усі речовини, що утворились на першому етапі енергетичного обміну, можуть стати матеріалом для отримання енергії, але тоді вони зазнають подальшого розпаду. Це складний багатоступеневий процес, який являє собою каскад послідовних перетворень складних речовин на більш прості сполуки й відбувається в цитоплазмі клітини. Безкисневе розщеплення каталізується ферментами, що послідовно розташовуються на внутрішніх мембранах клітин. Речовина, отримана в результаті першої ферментативної реакції, надходить до другого ферменту, потім — до третього й т. д., що забезпечує чітку послідовність і відповідну організацію цього процесу.

Універсальною послідовністю реакцій другого етапу енергетичного обміну, що властива всім живим істотам, є *гліколіз* (від грец. *глікис* — солодкий, *лізіс* — розкладання) — безкисневе розщеплення молекул глюкози, яка є головною енергетичною речовиною майже усіх живих істот. Гліколіз включає 12 проміжних реакцій, що каталізуються тринадцятьма ферментами.

У процесі гліколізу, що відбувається в умовах доступу вільного кисню, молекула глюкози ($C_6H_{12}O_6$) розщеплюється на дві молекули пірвиноградної кислоти ($C_3H_4O_3$) (1). Якщо клітині не вистачає кисню, або він взагалі до неї не надходить, то утворюються дві молекули молочної кислоти ($C_3H_6O_3$) (2). При цьому виділяється енергія, якої вистачає лише для перетворення двох молекул АДФ на дві молекули АТФ.



Гліколіз — малоефективний шлях отримання енергії. Адже значна частина енергії, що вивільняється під час розщеплення глюкози, просто не використовується і розсіюється у вигляді тепла. Підраховано, що на цьому етапі в молекулах АТФ концентрується лише менше половини потенційної енергії хімічних зв'язків, а тому в аеробних умовах гліколіз лише передує кисневому розщепленню речовин.



Сутність енергетичного обміну в організмах, що поглинають кисень, полягає в окисненні карбоновмісних органічних речовин Оксигеном. На перший погляд, цей процес подібний до горіння, адже кінцевими продуктами стають вода та вуглекислий газ. Однак існує декілька суттєвих деталей, що відрізняють розпад органічних сполук в клітині від простого горіння. Адже **енергетичний обмін у клітині відбувається за допомогою ферментів і протікає у кілька етапів; при цьому теплова енергія вивільняється дуже малими порціями;** процес може проходити у водному середовищі. Енергетичний обмін відбувається в три етапи: **підготовчий**, який передбачає розпад біологічних макромолекул, **анаеробний** (гліколіз) та **аеробний** (тканинне або клітинне дихання).



1. Що спільного між енергетичним обміном у людини та горінням дров? **2.** Які суттєві деталі відрізняють розпад органічних сполук, що відбувається у клітині, від простого горіння? **3.** Які процеси проходять на першому етапі енергетичного обміну? **4.** Що таке гліколіз і з яких етапів він складається?



• Які істоти виникли раніше — автотрофні чи гетеротрофні? Чи є можливим їх одночасне виникнення?

§ 17. Третій етап енергетичного обміну — клітинне дихання

Терміни і поняття: клітинне дихання, цикл трикарбонових кислот, окисне фосфорилування, дихальний ланцюг

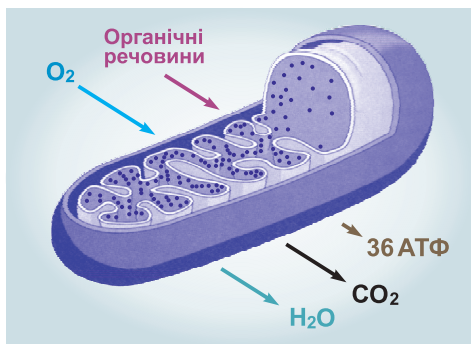
Кисневий (аеробний) етап енергетичного обміну. Як уже зазначалося, енергетичний обмін речовин у організмів, що не можуть жити в безкисневих умовах, відбувається у три етапи. Найголовнішим вважають третій етап — окиснення карбоновмісних органічних речовин. Саме тоді клітина запасає найбільшу кількість енергії. Така висока ефективність клітинного дихання стала причиною того, що всі еволюційно розвинуті організми (тварини, гриби та рослини) виявилися просто нездатними повноцінно жити в безкисневому середовищі. Таку здатність мають лише примітивні одноклітинні істоти — бактерії, хоча й не всі.

Аеробний етап енергетичного обміну називають *клітинним* (інколи *тканинним*) *диханням*. При цьому спершу відбувається окиснення Оксигеном пірвіноградної кислоти, утвореної в результаті гліколізу, до CO_2 та H_2O . Ці дві прості неорганічні речовини є кінцевими продуктами енергетичного обміну. У такий самий спосіб можуть окиснюватися й інші органічні молекули, наприклад амінокислоти. Однак у цьому випадку, крім CO_2 і H_2O будуть утворюватися прості нітрогенумісні неорганічні речовини, наприклад амоніак NH_3 .

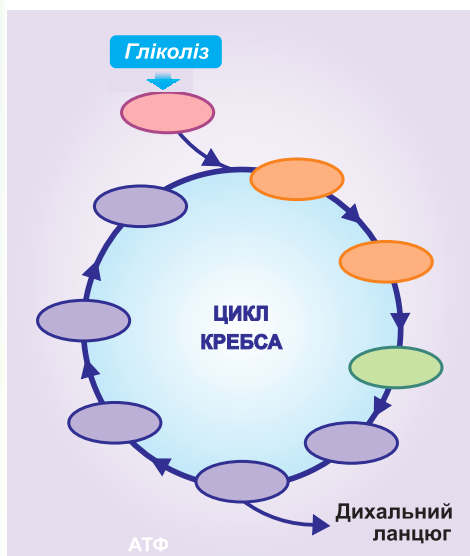
Клітинне дихання — це сукупність складних хімічних перетворень, що контролюються ферментами. Цей процес в еукаріотних організмів відбувається в мітохондріях, а в бактерій — на внутрішній поверхні клітинної мембрани (іл. 17.1) Як і гліколіз, клітинне дихання є багатоетапним процесом, і кожна його стадія супроводжується виділенням енергії з наступним накопиченням її під час синтезу молекул АТФ.

Цикл трикарбонових кислот — один із двох ключових етапів клітинного дихання. Хімічні перетворення під час клітинного дихання мають вигляд низки окиснювальних реакцій органічних кислот, що складаються з трьох, а інколи й двох атомів Карбону. Процес починається зі сполук, що утворюються з молекул пірвіноградної кислоти. Далі хімічні перетворення йдуть циклічно — ніби за колом. Ця сукупність хімічних реакцій отримала назву *цикл трикарбонових кислот*, або за ім'ям її першовідкривача, німецького біохіміка Ханса Кребса (1900–1981) — *цикл Кребса* (іл. 17.2). Ці послідовні перетворення органічних кислот в еукаріотів відбуваються у матриксі мітохондрій, а в бактерій — у цитоплазмі. Наслідком реакцій є утворення двох молекул карбон(IV) оксиду, вивільнення електронів і синтез кількох енерговмісних речовин, що еквівалентні 12 молекулам АТФ.

Цикл Кребса вважають центральним у метаболізмі будь-якої еукаріотної клітини і не лише тому, що він зв'язує між собою різні етапи енергетичного обміну, а

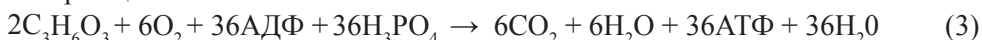


Іл. 17.1. Третій етап енергетичного обміну, що відбувається в мітохондріях, завершується синтезом 36 молекул АТФ



Іл. 17.2. Спрощена схема циклу Кребса — першого етапу клітинного дихання, що настає після гліколізу та є перетворенням кислот, вуглеводневий ланцюг яких кладається із трьох атомів Карбону

Наслідки енергетичного обміну. Підраховано, що внаслідок окиснення двох молекул піровиноградної кислоти під час клітинного дихання утворюється 36 молекул АТФ (3). Отже, загалом під час розщеплення однієї молекули глюкози (4) утворюється 38 молекул АТФ. З них лише 2 молекули синтезуються під час безкисневого розщеплення.



Слід зазначити, що енергія для окисного фосфорилування вивільняється за рахунок розщеплення не лише вуглеводів, але й інших органічних речовин, зокрема різноманітних трикарбонових кислот, амінокислот, жирів. Причому в різних типів тканин джерелом енергії можуть слугувати різні речовини: наприклад, у нервовій тканині — це винятково молекули глюкози.

Отже, клітинне дихання — це дуже енергетично вигідний процес. У цьому нескладно переконатися самому. Якщо вам де-небудь трапиться жаба, то поспостерігайте за нею. Перший стрибок переляканої тварини довгий, другий — відразу після приземлення — майже такий самий, третій — уже через деякий час — короткий. Далі паузи між стрибками стають тривалішими, а самі стрибки коротшають. Так триватиме доти, доки жаба взагалі не зможе рухатися. Чому? Причиною всього є недосконале легеневе дихання амфібій. Під час інтенсивної роботи м'язам починає не вистачати кисню і клітини перемикаються на процес гліколізу. М'язи швидко витрачають свій запас глюкози і втрачають здатність скорочуватися.

й тому, що під час цього циклу утворюється ціла низка органічних молекул. Саме з цих молекул згодом синтезуються важливі для життя клітини сполуки — наприклад амінокислоти, а тому цикл також має безпосередній стосунок до пластичного обміну.

Окисне фосфорилування — ключовий процес енергетичного обміну. Електрони, що вивільняються в хімічних перетвореннях у циклі Кребса, передаються до дихального ланцюга, який є сукупністю ферментів, що розташовані на внутрішній мембрані мітохондрій і транспортують електрони. Під час транспорту електронів вивільняється енергія, яка слугує для синтезу АТФ з молекул АДФ і H_3PO_4 — відбувається процес, який має назву окисне фосфорилування. У результаті вільний Оксиген, який потрапляє до мітохондрій ззовні, приєднує до себе по два електрони та два йони H^+ і перетворюється на молекули води.



Найбільш енергетично вигідним етапом енергетичного обміну є клітинне дихання, яке складається з двох етапів: циклу Кребса та окисного фосфорилування. На цих етапах синтезується 36 молекул АТФ із 38, що утворюються за розщеплення однієї молекули глюкози



1. Усі високорозвинені організми не можуть жити в середовищі, позбавленому Оксигену. Чому? **2.** Які хімічні процеси відбуваються під час циклу Кребса? **3.** Чому цикл Кребса вважають головною ланкою метаболізму будь-якої еукаріотної клітини? **4.** Що таке дихальний ланцюг? **5.** На якому етапі енергетичного обміну клітина запасає найбільше енергії?



- Чи правильним буде твердження, що мітохондрії — це теплові станції клітини?

§ 18. Фотосинтез — утворення органічних сполук за допомогою енергії сонячного світла

Терміни й поняття: фотосинтез, хлорофіл, фотосистеми, світлова фаза фотосинтезу, фотофосфорилування, фотоліз води, темнова фаза фотосинтезу.

Життя з точки зору фізики. За фізичними законами, життєві процеси полягають у поглинанні організмами енергії й речовин з навколишнього середовища та їх перетворенні. Саме ці процеси й становлять матеріальну основу для підтримання життєдіяльності й розмноження організмів. Тому головні завдання для будь-якого організму: перше — отримати енергію, життєву силу, друге — отримати з навколишнього середовища потрібні речовини, з яких за допомогою вже накопиченої енергії синтезувати біологічні молекули.

Фотосинтез і його значення в природі. Основним джерелом енергії для нашої планети загалом та для живої матерії зокрема є сонячна радіація. Енергію сонячного світла уловлюють рослини й перетворюють на потенційну енергію хімічних зв'язків.

Цей процес називають *фотосинтезом* (від грец. *фотос* — світло і синтез). Завдяки енергії світла рослини з карбон(IV) оксиду, води та мінеральних солей синтезують усі необхідні для життя біологічні молекули. Під час фотосинтезу також відбувається виділення Оксигену. Саме біологічними молекулами, що синтезують клітини рослин, зрештою і живляться тварини, гриби та бактерії.

Біосферні функції фотосинтезу.

1. Без фотосинтезу неможливе життя і це явище планетарного рівня (іл. 18.1).

2. Фотосинтез є основним джерелом біологічної енергії, завдяки якому в клітинах рослин відбувається біологічний синтез — утворення органічних речовин з неорганіч-



Іл. 18.1. Схема фотосинтезу

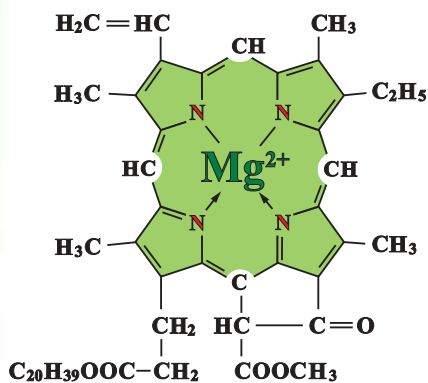
них. Таким чином у біосфері накопичуються запаси біологічної речовини та енергії.

3. Тварини, поїдаючи рослини чи одні одних, так чи інакше існують за рахунок енергії, яку запасли рослини.

4. Завдяки фотосинтезу неорганічний Карбон стає складовою органічних речовин і входить до біологічного кругообігу.

5. Увесь Оксиген атмосфери і Світового океану — це також результат фотосинтезу. Завдяки вільному Оксигену з'явилось клітинне дихання, а утворення озонового шару атмосфери дозволило живим істотам вийти на суходіл.

Хлоропласти — місце, де відбувається фотосинтез у рослинних клітинах. Речовини, що беруть участь у фотосинтезі, — пігменти й ферменти — у чіткому порядку розташовані в мембрані тилакоїдів і в стромі. Причому знаковою речовиною, що бере участь у реакціях фотосинтезу, є *хлорофіл* (від грец. *хлорос* — зелений і *філон* — листок). Насправді за цією назвою приховується група дуже схожих зелених пігментів, які трохи відрізняються за своєю будовою.



Іл. 18.2. Модель молекули хлорофілу

Усі хлорофіли забарвлюють тіло організму або окремих його частин в інтенсивний зелений колір. Це викликано тим, що ці молекули синє й частково червоне світло сонячного спектра поглинають, а зелене — відбивають.

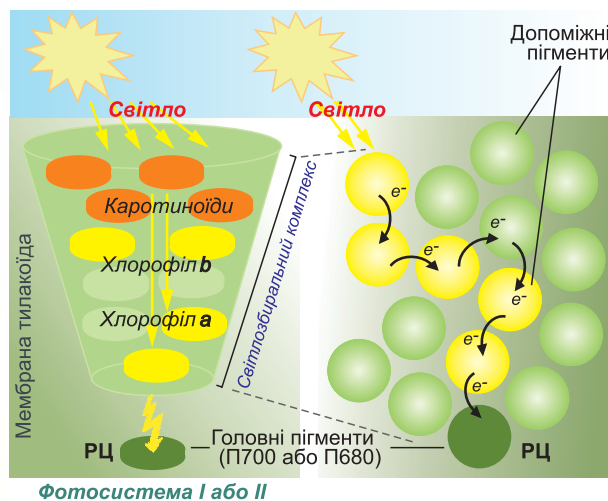
Крім того, хлорофілам властива *флуоресценція* (назва цього фізичного явища походить від мінералу флуориту, в якого воно було вперше виявлено) — нетривале післясвітіння під впливом опромінення світлом.

За хімічною природою хлорофіли — це сполуки, побудовані за тим самим принципом, що й небілокча частина (гем) гемоглобіну: їх основою є кільце, у центрі якого міститься Mg^{2+} (іл. 18.2).

Фотосистеми.

Молекули хлорофілу зібрані у *світлозбиральні комплекси* (СЗК), у яких для кожної молекули розписана чітка роль. СЗК розташовуються в тилакоїдах. Крім того, що до складу СЗК входить кілька сотень молекул хлорофілу; у них також є і допоміжні пігменти — каротиноїди (іл. 18.3).

Завдання пігментів СЗК — уловлювати електрони та переда-

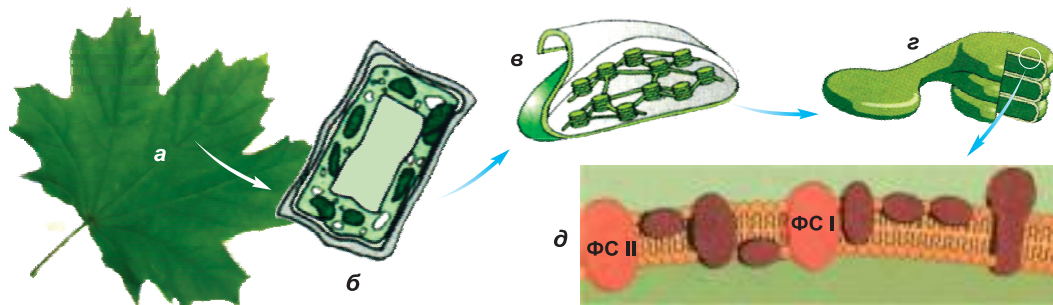


Іл. 18.3. Схема будови фотосистеми та рух по ній електрона

вати їх у реакційний центр (РЦ). Тут відбувається перетворення світлової енергії на енергію хімічних зв'язків. Реакційний центр формується однією або двома молекулами хлорофілу. Розподіл «праці» між молекулами пігментів у СЗК суттєво збільшує ефективність фотосинтезу, внаслідок чого він може проходити навіть за слабкого й штучного освітлення. Світлозбиральний комплекс і реакційний центр, а також білки-переносники електронів формують *фотосистеми* (ФС), які бувають двох типів: *фотосистема-I* (ФС-I) і *фотосистема-II* (ФС-II). Вони розрізняються за кількістю і складом молекул пігментів, зокрема й хлорофілу.

Реакції фотосинтезу. Фотосинтез відбувається в три етапи. Перший — уловлювання світлової енергії; другий — перетворення її на енергію хімічних зв'язків і третій — запасання цієї енергії шляхом синтезу вуглеводів. Ці етапи розділяють на дві фази.

Перший та другий етапи відбуваються лише на світлі, а тому вони отримали назву *світлова фаза фотосинтезу*. Вона відбувається в тилакоїдах (іл. 18.4).



Іл. 18.4. Рівні перебігу фотосинтезу: а — листок; б — клітина; в — хлоропласт; г — тилакоїд; д — фотосистеми

Кванти світла поглинаються хлорофілом світлозбиральних комплексів. Вони збуджують електрони хлорофілів, що легко переходять на більш високий енергетичний рівень. У результаті молекули хлорофілу втрачають електрони, які надходять до молекул хлорофілу реакційного центру, а далі — до ферментів, що формують транспортний ланцюг електронів, рухаючись яким електрони віддають енергію в окисно-відновлювальних реакціях. У результаті з АДФ і H_3PO_4 синтезується АТФ (відбувається фотофосфорилування).

Молекула хлорофілу, віддавши свій електрон, окиснюється. У результаті в ній виникає електронна недостатність, яку необхідно компенсувати. Для цього використовуються молекули води. Виявляється, що під впливом сонячного світла, за участі особливих ферментів і з використанням енергії, отриманої в результаті фотофосфорилування, рослини здатні здійснювати *фотоліз* (грец. *фотос* — світло, *лізис* — розпад), тобто проводити реакцію дисоціації води, під час якої виділяються Оксиген, а атоми Гідрогену розпадаються на протони й електрони (1).



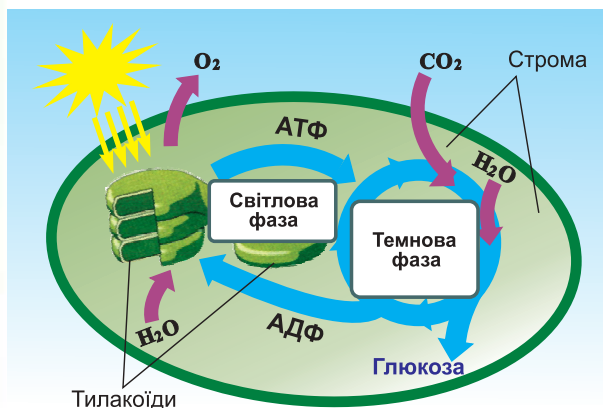
Отримані під час фотолізу електрони компенсують їх нестачу в молекулах хлорофілу, йони H^+ приймають участь у синтезі енергоємних сполук клітини, енергія

яких використовується для синтезу АТФ, а Оксиген у вільному вигляді виділяється у воду чи повітря.

У роботі ФС-I й ФС-II є певні відмінності. Головною слід вважати ФС-II, у якій відбувається не лише фотофосфорилування, а й фотоліз, тому тут вивільняється Оксиген. Таким чином, у результаті світлової стадії фотосинтезу за рахунок світлової енергії синтезуються енергоємні речовини, зокрема АТФ, у яких запасється енергія для майбутнього синтезу, а також, як побічний продукт реакції, виділяється Оксиген (2).



Третій етап фотосинтезу триває в рослин постійно і не потребує світла. Його називають *темною фазою* фотосинтезу. Відбувається він у стромі хлоропластів (іл. 18.5).



Іл. 18.5. Етапи фотосинтезу: **світлова фаза** (відбувається в тилакоїдах хлоропластів з розкладанням вуглекислого газу під дією сонячного світла, її наслідком є накопичення енергії у вигляді АТФ та вивільнення Оксигену); **темнова фаза** (відбувається у стромі хлоропластів з використанням енергії АТФ, вуглекислого газу й води, внаслідок чого відбувається синтез глюкози)

Ключовим моментом цієї фази є поглинання вуглекислоти з повітря і зв'язування її в хімічні сполуки. Кінцевим продуктом цього процесу є утворення молекул глюкози (3). Цей процес відбувається з витратами енергії, а тому потребує участі молекул АТФ, синтезованих під час світлової фази фотосинтезу, та йонів Гідрогену, які утворили комплекс з енергоємними сполуками клітини.



Отже, загалом хімічну суть фотосинтезу може описати рівняння (4)



Використання глюкози, що утворюється під час фотосинтезу. Вона витрачається або безпосередньо як джерело енергії, або накопичується як енергетичний резерв у вигляді сахарози чи крохмалю. Це залежить від фізіологічного стану рослини, її віку і сезону. Далі рослини, використовуючи енергію накопичених вуглеводів, а також різноманітні органічні кислоти й сполуки Нітрогену, утворюють всі необхідні для життя речовини: полісахариди, амінокислоти, вітаміни, білки, ліпіди, нуклеотиди.

Цим рослини принципово відрізняються від тварин, які не здатні самі синтезувати всі необхідні для життя речовини, а можуть лише отримувати вже готові органічні речовини з їжею.



Фотосинтез — це процес поглинання рослинами та деякими бактеріями світлової сонячної енергії та перетворення її на енергію хімічних зв'язків. При цьому з вуглекислого газу й води утворюється глюкоза й вивільняється Оксиген.

Перетворення енергії сонячного світла на енергію хімічних зв'язків відбувається під час **світлової стадії фотосинтезу**. Молекули хлорофілу вловлюють фотони, збуджуються і передають власні електрони по транспортному ланцюгу, внаслідок чого відбувається запасаєння енергії у вигляді молекул АТФ. Паралельно протікає **фотоліз** — розкладання молекул води на **Гідроген та Оксиген**, внаслідок чого молекули хлорофілу отримують втрачені електрони, а протони використовуються для подальшого біологічного синтезу. Побічним результатом фотолізу є виділення Оксигену. **Темнова стадія фотосинтезу** — це синтез глюкози, який відбувається за рахунок енергії, що накопичилась під час світлової стадії.



1. У чому полягає біосферна функція фотосинтезу? 2. Які пігменти необхідні для здійснення фотосинтезу? 3. Що собою являють фотосистеми? 4. Навіщо потрібен фотоліз води? 5. Чим завершується темнова стадія фотосинтезу?



- Чому швидкість хімічних реакцій, які відбуваються під час світлової фази фотосинтезу, майже не залежить від температури середовища, а темної — залежить?

- Чому рослина вдень вивільняє Оксиген, а вночі — поглинає його?

§ 19. Особливості метаболізму прокаріотних організмів: бродіння і хемосинтез

Терміни й поняття: аероби, анаероби, бродіння, гниття, хемосинтез

Особливості метаболізму прокаріотних організмів. Бактерії, незважаючи на дуже примітивну будову клітин, за різноманітністю способів живлення не мають собі подібних серед інших груп організмів. Серед них трапляються як гетеротрофні, так і автотрофні істоти; ті, що живуть лише за наявності вільного Оксигену, або навпаки, — у середовищі, повністю позбавленому кисню. Цілком очевидно, що залежно від способу життя бактерії мають певні особливості обміну речовин, хоча при цьому й зберігають принципові властивості, притаманні усім живим істотам. Це, зокрема, стосується певного балансу в їхніх клітинах реакцій протилежної спрямованості — адже метаболізм бактерій також є сукупністю двох взаємозв'язаних протилежних процесів: катаболізму й анаболізму (іл. 15.3). Реакції розпаду супроводжуються виділенням енергії, яка накопичується у вигляді АТФ чи інших енергоємних речовин, а під час реакцій синтезу, навпаки, енергія витрачається. Усі реакції обов'язково каталізуються ферментами.

Особливості метаболізму гетеротрофних бактерій. Завдяки величезному різноманіттю ферментів, які синтезують бактерії, поживою для них можуть бути практично всі органічні та навіть деякі неорганічні речовини, що трапляються у природі. Вони можуть використовувати як їжу не лише традиційно поживні продукти (вуглеводи, білки, амінокислоти й жири), а й такі неістивні, як нафта або навіть отруйні: сечовину чи антибіотики. Причому отруйні для одних видів бактерій речовини є поживою для інших. Ця дивна особливість бактерій — живитися неживими речовинами, яку зараз широко використовують для очищення води від промислових та каналізаційних відходів, зумовлена наявністю в їхньому організмі особливих ферментів, яких немає у клітинах еукаріотів.

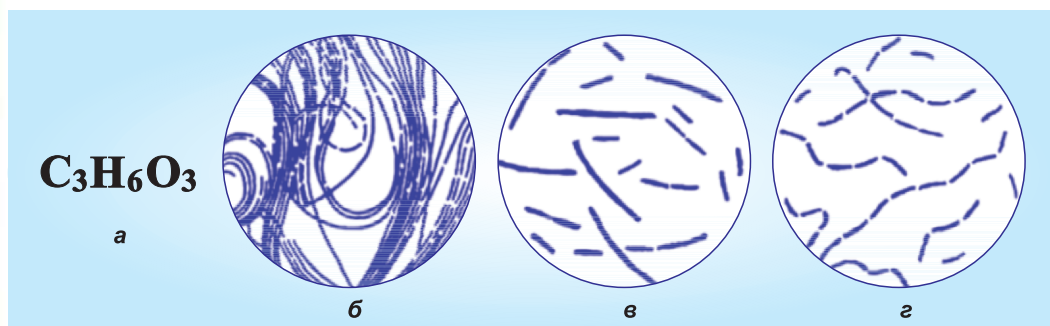
Деякі види бактерій здатні жити лише за умови наявності вільного Оксигену, інші — лише в безкисневому середовищі, а є й такі, що розвиваються однаково добре як за наявності, так і за відсутності Оксигену. Бактерії, що живуть у кисневому середовищі, є *аеробами* (від грец. *аер* — повітря і *біос* — життя). Вони дихають і добувають енергію завдяки біологічному окисненню. У них у такій же спосіб, що і в еукаріотів, відбувається окисне фосфорилування, однак цей процес перебігає не в мітохондріях (їх у прокаріотів немає), а на внутрішній поверхні клітинної мембрани.

Однак багато бактерій є *анаеробами* (від грец. *ан* — ні та *аероби*). Вони постійно або тимчасово живуть в середовищі, позбавленому Оксигену. Тому енергію вони отримують унаслідок часткового розкладання речовин до проміжних продуктів, а не до води й вуглекислоти, як це відбувається під час кисневого окиснення.

Анаеробні бактерії, здатні існувати в безкисневому середовищі, отримують енергію шляхом ферментативного розпаду глюкози, тобто *бродіння*.

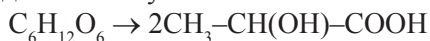
Молочнокисле бродіння відбувається під час скисання молока під дією специфічних бактерій (іл. 19.1).

Цей процес включає ті самі хімічні перетворення, що й гліколіз багатоклітинних організмів, ось тільки він завершується утворенням не двох молекул пі-



Іл. 19.1. Молочна кислота (а) — основний продукт молочно-кислого бродіння; різні форми молочнокислих бактерій (б, в, г) у світловому мікроскопі

ривиноградної кислоти, а двох молекул молочної кислоти:



Спиртове бродіння відрізняється від молочнокислого двома останніми реакціями, унаслідок яких утворюється етиловий спирт і виділяється вуглекислий газ (1). Цей процес відбувається у дріжджових грибів. Його використовують, наприклад, у виробництві вина та пива.

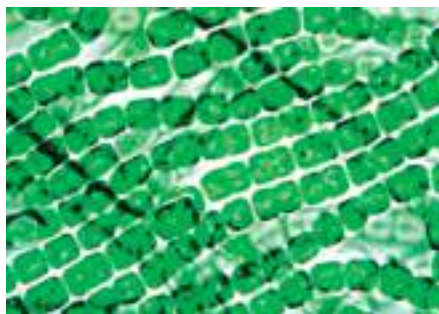


Якщо ж бактерії отримують енергію та необхідні для життя сполуки внаслідок *гниття* — анаеробного розщеплення білків чи амінокислот, то процес триває до утворення аміаку й сірководню, яким властивий характерний неприємний запах. Саме такі бактерії розкладають трупи тварин. Вони також живуть, хоча й під жорстким контролем з боку організму, в товстому кишечнику людини та є невід'ємною складовою нормального травлення, допомагаючи розкласти білки на складові частини.

Особливості автотрофного живлення бактерій. Як вже зазначалося, бактерії відрізняються доволі різноманітними способами живлення. Не є винятком й автотрофні бактерії, які поділяють на дві великі групи: фотоавтотрофи та хемоавтотрофи (від грец. хемія — хімія і автотрофи).

До найбільш відомої групи фототрофних бактерій належать *ціанобактерії* (іл. 19.2). Живуть ці бактерії величезними колоніями, а тому добре помітні неозброєним оком, коли плавають у товщі води або збираються на її поверхні.

Саме ці бактерії, а не водорості, як вважає більшість людей, спричиняють літнє «цвітіння» ставків та водоймищ, коли у спеку за один день вода в ставку перетворюється на синьо-зелену брудну рідину. Хлорофіл ціанобактерій має синьо-зелений колір. Він розкиданий по всій цитоплазмі у вигляді дрібних зерняток, а не зібраний у хлоропластах, як у клітинах рослин. Молекулярні механізми фотосинтезу в них такі самі, як і в рослин, а тому в період світлової фази вони виділяють Оксиген.



Іл. 19.2. Колонія ціанобактерій

Подібний до водоростей водний спосіб життя, а також фотосинтез, що здійснюється за тими самими механізмами, що й у рослин, доводять невідповідність того, що ціанобактерії раніше називали синьо-зеленими водоростями.

Хемосинтез. Особливу групу автотрофних прокариотів становлять доволі різноманітні за систематичною належністю бактерії хемоавтотрофи, які для засвоєння CO_2 і синтезу органічних речовин використовують енергію, яку вони отримують у результаті окиснення неорганічних сполук. І хоча, на відміну від фотосинтезу, у цьому процесі використовується не сонячна, а хімічна енергія, ці бактерії належать до автотрофів — адже всі необхідні для життя органічні речовини вони синтезують самостійно, а не отримують їх, як гетеротрофи, у готовому вигляді від інших організмів. Таку здатність бактерій до синтезу органічних речовин завдяки енергії, що вивільняється під час окиснення неорганічних речовин, називають *хемосинтезом* (від грец. хемія і синтез).

Це явище вперше відкрив Сергій Миколайович Виноградський — наш співвітчизник, який народився в Києві, однак більшу частину життя працював у Швейцарії. Він установив, що певні ґрунтові бактерії отримують енергію від окиснення амонієвих солей до нітратів. Цей процес відбувається у два етапи: спочатку — окиснення до нітритів, а вже потім — до нітратів. Виноградський і запропонував для цього процесу назву «хемосинтез».

Під час хемосинтезу енергія запасається у вигляді АТФ при перенесенні електронів ланцюгом дихальних ферментів, що вбудовані до клітинної мембрани бактерій.

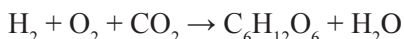


Сергій
Виноградський
(1856–1953)

За допомогою накопиченої енергії відбувається біосинтез органічних речовин і саме у такий спосіб, що й за темної фази фотосинтезу.

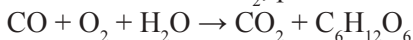
Крім *нітрифікуючих бактерій*, джерелом енергії яких є реакція окиснення аміаку до нітратів, існують й інші групи бактерій, які використовують інші неорганічні речовини.

Гідрогенові бактерії — найбільш численна група хемосинтезуючих бактерій — здійснюють реакцію за схемою:



Вони можуть давати велику масу, а тому їх планують використовувати для отримання білка та очистки повітря від CO_2 .

Карбоксидактерії окиснюють CO до CO_2 ; реакція йде за такою схемою:

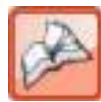


Залізобактерії використовують енергію, що виділяється внаслідок окиснення Феруму (II) у Ферум (III).

Сіркобактерії перетворюють сірководень на сульфатну кислоту.



Метаболізм прокариотів має як свої особливості, так і риси, спільні з усіма іншими живими істотами. Головна особливість автотрофного живлення — це **хемо-автотрофний спосіб отримання енергії**, притаманний деяким групам бактерій. У цьому випадку джерелом енергії для біологічного синтезу є реакції окиснення неорганічних речовин. Унікальною властивістю гетеротрофних бактерій є здатність накопичувати енергію у безкисневих умовах за рахунок реакцій бродиння та гниття.



1. Які риси метаболізму прокариотів є спільними з особливостями обміну речовин еукаріотів? 2. Що таке хемосинтез? 3. Якими способами отримують енергію бактерії-анаероби? 4. Які види бродиння існують і чим вони відрізняються один від одного? 5. Що таке гниття і які кінцеві хімічні продукти цього процесу?



- Чому бактерії змогли засвоїти найрізноманітніші способи живлення?

Тестові завдання до теми 3

3.1. Синонім до слова *метаболізм*

- A** внутрішньоклітинний транспорт **Б** фотосинтез
В обмін речовин **Г** клітинне дихання

3.2. Назва реакції розпаду біологічних молекул, що супроводжуються вивільненням енергії

- A** катаболізм **Б** анаболізм **В** асиміляція **Г** пластичний обмін

3.3. Група реакцій обміну речовин, до якої належить фотосинтез

- A** пластичний обмін **Б** енергетичний обмін
В дисиміліція **Г** катаболізм

3.4. Тварина з найвищою інтенсивністю метаболізму

- A** хатня миша **Б** пацюк
В синій кит **Г** африканський слон

3.5. Кількість молекул АТФ, які будуть синтезовані під час кисневого розщеплення 6 молекул глюкози

- A** 36 **Б** 38 **В** 72 **Г** 228

3.6. Назва другого етапу енергетичного обміну в клітинах людини

- A** бродіння **B** цикл трикарбонових кислот
V окисне фосфорилування **Г** гліколіз

3.7. Окисне фосфорилування відбувається

- A** у ядрі **B** у цитоплазмі
V у матриксі мітохондрій **Г** на кристах мітохондрій

3.8. Етап енергетичного обміну, на якому відбувається утворення карбон(IV) оксиду

- A** підготовчий **B** гліколіз
V цикл трикарбонових кислот **Г** окисне фосфорилування

3.9. Принципова різниця між окисненням карбоновмісних сполук у клітині та процесами, що відбуваються при спалюванні бензину

- A** енергія вивільняється у вигляді теплоти й світла
B процес нормально відбувається у водному середовищі
V відбувається за температури 500–600 °С
Г енергія вивільняється одразу

3.10. Правильним визначенням фотосинтезу є

- 1. Перетворення рослинами сонячної енергії на потенційну енергію хімічних зв'язків.
 2. Синтез органічних речовин за рахунок енергії світла.*

- A** перше **B** друге **V** обидва правильні **Г** обидва неправильні

3.11. Йон металу, який входить до складу хлорофілу

- A** Fe **B** Mg **V** Zn **Г** Mn

3.12. Процес, який відбувається під час темної фази фотосинтезу

- A** фотоліз **B** синтез АТФ
V фотофосфорилування **Г** синтез глюкози

3.13. У відповідність назви процесів та хімічні реакції, які під час них відбуваються

- | | |
|----------------------|--|
| 1 бродіння | A розпад молекули глюкози на дві молекули пірвіноградної кислоти |
| 2 гліколіз | B утворення двох молекул молочної кислоти з однієї молекули глюкози |
| 3 цикл Кребса | V перетворення трикарбонових кислот |
| 4 гниття | Г синтез вітамінів |
| | Д безкисневий розпад білків |

3.14. У відповідність групи живих істот та метаболічні процеси, які відбуваються в їхніх клітинах

- | | |
|-------------------|---|
| 1 бактерії | A гліколіз, клітинне дихання |
| 2 рослини | B гліколіз, фотосинтез, клітинне дихання |
| 3 тварини | V лише клітинне дихання |
| | Г бродіння, хемосинтез, гліколіз, фотосинтез, клітинне дихання |

3.15. Складіть характеристику для процесів катаболізму в клітинах інфузорій

Окисне фосфорилування відбувається		Під час реакцій гліколізу утворюються		Кінцевими продуктами окиснення молекули глюкози є	
1	у цитоплазмі	1	2 молекули АТФ	1	CO ₂ та амоніак
2	у матриксі мітохондрій	2	12 молекул АТФ	2	H ₂ O і CO ₂
3	на кристах мітохондрій	3	34 молекули АТФ	3	H ₂ O, CO ₂ та амоніак

Тема 4. ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СПАДКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

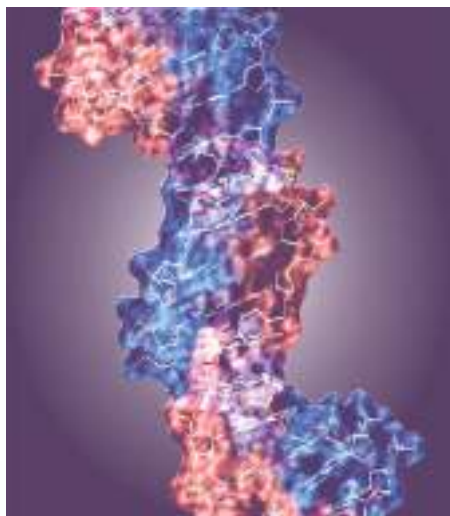
§ 20. Спадкова інформація, гени та геном

Терміни й поняття: *спадкова інформація, принципи спадкової інформації, генетичний код, ген, локус, триплет, структурний ген, регуляторний ген, геном.*

Універсальність та індивідуальність живих об'єктів. Усім живим об'єктам притаманні дві, на перший погляд, протилежні властивості: універсальність та індивідуальність (іл. 20.1). Це означає, що всі особини одного виду мають спільні властивості, завдяки яким вони здатні, усеperеч відмінностям у будові, формі, розмірам, легко упізнавати один одного. Водночас кожен організм має свої особливі властивості. Щоб переконатися в цьому, варто провести експеримент: пересадити шматочок шкіри від однієї жаби до іншої. Спочатку шматочок шкіри приживеться, але за 2–3 тижні відбудеться його відторгнення, оскільки лейкоцити розпізнають «чужинця», тобто чужорідне тіло. Це означає, що особини одного виду, незважаючи на значну подібність між собою, у деталях відрізняються одні від одних.



Іл. 20.1. Подібність і відмінності обличч людей визначаються спадковою інформацією



Іл. 20.2. Молекула ДНК — універсальний зберігач генетичної інформації

Ця особливість організмів мати універсальні властивості, будучи при цьому унікальними, обумовлена спадковою, або генетичною, інформацією, яка передається від батьків до потомства та яка записана у вигляді послідовностей нуклеотидів у молекулі ДНК (іл. 20.2).

Принципи спадкової інформації. Що таке механізми передавання загальних ознак та неповторних особливостей від батьків до нащадків? Адже щось змушує особини одного виду протягом тисяч і мільйонів поколінь розвиватися за загальним планом, хоча й з певними індивідуальними особливостями. Відповіді на ці запитання були отримані в середині минулого століття. Вони є одними з фундаментальних положень сучасної біології та мають назву *принципи спадкової інформації*.

Саме тоді було встановлено, що спадкову інформацію записано в молекулі ДНК; вона містить відомості про набір білків, сотні й навіть тисячі видів яких синтезуються в клітинах того самого організму.

Саме склад і структура білків у клітинах організму визначають його загальні й індивідуальні властивості.

Принципи спадкової інформації.

1. Запис у молекулі ДНК є послідовністю нуклеотидів на певних ділянках цієї молекули і є своєрідним шифром, який отримав назву **генетичний код**.

2. Генетичний код містить інформацію про склад білків у клітині, а також амінокислотний склад певних білків і послідовність розташування амінокислот у білку.

3. Набір білків та їхня первинна структура загалом універсальні для певного біологічного виду, хоча близько 1–2 % білків у особин того самого виду різняться між собою, що й визначає властивість індивідуальної мінливості організмів.

Кодування генетичної інформації. Молекули ДНК мають розміри значно більші, ніж найдовші молекули білка, тому вздовж однієї молекули ДНК можна «розмістити» сотні й тисячі молекул білків. Проте ДНК у клітинах тварин та рослин все одно містяться в надмірній кількості. Підраховано, що у людини лише близько 5 % усієї ДНК містить інформацію про будову білків. Ця інформаційно значуща частина ДНК хаотично розсіяна у вигляді окремих ділянок по молекулі ДНК, яка є основою хромосоми (іл. 20.3). Кожна така ділянка містить інформацію про амінокислотну послідовність ланцюга певного білка та має назву *структурний ген* (від грец. *генос* — рід), а його місцезнаходження у молекулі ДНК — *локус* (від лат. *локус* — місце). За звичай кожний структурний ген складається з 1 000–1 500 пар нуклеотидів.



Іл. 20.3. Інформаційно значущі ділянки ДНК (позначені смугами) розташовані на хромосомах без певного порядку

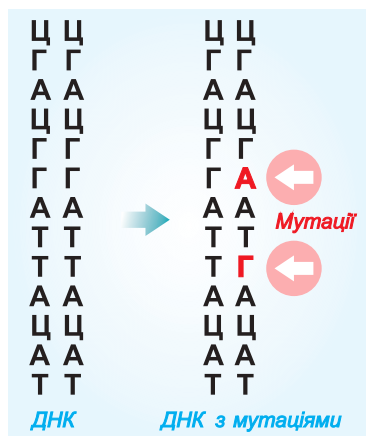
Генетичний код. В азбуці Морзе код визначається чергуванням крапок і тире, а в генетичному коді — це чергування нуклеотидних пар, кожна з яких є буквою генетичного алфавіту. Як ви пам'ятаєте, білки усіх живих організмів складаються з 20 амінокислот, отже, генетичний код ДНК має містити принаймні 20 слів, кожне з яких позначало б певну амінокислоту. Очевидно, що для цього недостатньо слів із двох букв, оскільки 4^2 дасть лише 16 сполучень. Тому можливий щонайменш трибуквений код, одиницею якого є *триплет* — три поруч розміщені нуклеотиди. З триплетів можна побудувати $4^3 = 64$ різних сполучень (слова). Цього більш ніж достатньо для кодування всіх 20 амінокислот. Експериментальні дослідження підтвердили, що одиниця генетичного коду — триплет, або *кодон*, — справді складається з трьох послідовно розташованих нуклеотидів, а генетичний код є універсальним для всіх живих організмів. Йому притаманна висока специфічність: той самий триплет відповідає лише одній амінокислоті. Наприклад, триплет ГТГ ДНК чітко відповідає проліну, ТТТ — лізину, ААЦ — лейцину тощо. Якщо є послідовність нуклеотидів у ДНК ТТААЦАААЦЦААГГТТТ, яка розкладається на триплети ТТА, АЦА, ААЦ, ЦАА, ГТГ, ТТТ, то результатом буде така послідовність амінокислот: *лейцин — цистеїн — лейцин — валін — пролін — лізин*.

Крім того, є триплети, що не кодують жодної амінокислоти, вони є своєрідними розділовими знаками — позначають початок і закінчення синтезу полінуклеотидного ланцюга.

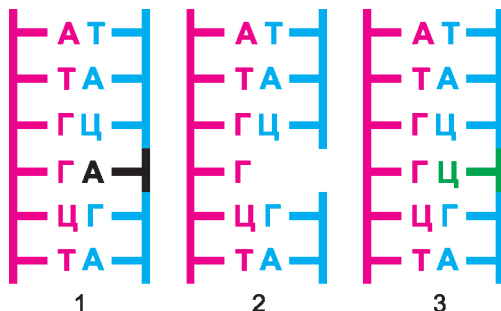
Для синтезу 20 амінокислот, з яких будуються білки людини, більш ніж достатньо 64 триплети (табл., форзац 1).

Тому більша частина амінокислот кодується кількома триплетами, а це дуже важливо для надійності зберігання та передавання генетичної інформації. Ця властивість генетичного коду отримала назву «виродженість». Наприклад, амінокислоту аргінін позначають на ДНК триплети ГЦА, ГЦГ, ГЦТ і ГЦЦ. Зрозуміло, що випадкова зміна третього нуклеотиду в даному випадку не впливатиме на характер генетичної інформації. Однак зміна перших двох призведе до того, що замість цієї амінокислоти буде кодуватися інша. І дуже добре, якщо неполярну амінокислоту гліцин, наприклад, замінить неполярна — аланін. А якщо на її місці з'явиться полярна та ще й заряджена (наприклад, аспарагінова кислота), то це може призвести до зміни третинної структури білка. Для організму це доволі небезпечно, оскільки фермент або не зможе працювати так швидко, як потрібно, або взагалі буде неспроможний каталізувати хімічну реакцію. Особливо небезпечні зміни в кодонах ініціації та кодонах, що є розділовими знаками, оскільки ферменти, що здійснюють синтез, не можуть упізнати, де початок, а де кінець гена. Такі спонтанні чи спричинені певними фізичними або хімічними агентами зміни нуклеотидів ДНК називають *мутаціями*, які призводять до змін у структурах білка та вкрай негативно позначаються на функціонуванні організму (іл. 20.4).

Тому існують спеціальні механізми відновлення вихідних послідовностей у молекулі ДНК — *репарації* (від англ. *repair* — відновлювати) (іл. 20.5).



Іл. 20.4. Мутації — зміни послідовностей нуклеотидів у молекулі ДНК



Іл. 20.5. Схема репарації, яка відбувається у кілька етапів:

- 1 — помилкове заміщення,
- 2 — вирізання помилкового нуклеотида,
- 3 — вишивання нормального нуклеотида

Геном. Ще одним з важливих понять сучасної біології є геном. Зазвичай у сучасній науці під цим терміном розуміють усю сукупність генетичного матеріалу, що міститься в клітині. Геном містить біологічну

інформацію, яка необхідна для побудови організму, для підтримання його сталого стану й розмноження. Геном усіх живих організмів побудований з ДНК.

Однак існує більш вузьке трактування цього поняття. *Геном — це лише генетичний матеріал, що міститься в гаплоїдному наборі хромосом, тобто хромосомах, отриманих від батька чи матері.*



Спадкова (генетична) інформація — це сукупність властивостей організму, яка успадковується в поколіннях і записана в певних послідовностях ДНК — генах. Відомі три принципи генетичної інформації, що є універсальними для всіх живих істот.

Провідним слід вважати **принцип генетичного коду**, згідно з яким у ДНК закладена інформація про набір білків клітини, амінокислотний склад цих білків і послідовність розташування в них амінокислот. **Одиницею генетичного коду є триплет** — три сусідні нуклеотиди, що визначають певну амінокислоту. Саме певний набір молекул білків зрештою і визначає загальні особливості будови й функціонування особин одного виду, а відхилення в цьому наборі — індивідуальні особливості кожної особини.



1. Що таке генетична інформація і в якому вигляді вона міститься у клітині? 2. Сформулюйте принципи генетичної інформації. 3. Чим поняття «ген» відрізняється від поняття «локус»? 4. Що є одиницею генетичного коду та на які групи ці одиниці поділяють? 5. Які існують визначення поняття «геном» і яка наука вивчає його структуру?



• Чому лише 5 % ДНК, що міститься у хромосомах людини, є носієм генетичної інформації, а інша частина є генетично нейтральною?

§ 21. Матричний синтез: реплікація, транскрипція, трансляція

Терміни й поняття: *матричний синтез, реплікація, транскрипція, процесинг, екзон, інтрон, сплайсинг, трансляція, антикодон.*

Матричний синтез. Важливою особливістю хімічних процесів, що відбуваються в живих системах, є реакції матричного синтезу. Що це за реакції? У техніці й поліграфії термін *матриця* (від лат. *matrīx* — початок, джерело) означає зразок, модель, штамп, шаблон, форму, інструмент, що використовують для серійного виробництва однакових предметів, наприклад монет. Так само внаслідок реакцій матричного синтезу з одних біологічних молекул, які слугують матрицею, «відливається» безліч однакових молекул-копій.

Слід зазначити, що реакції синтезу в неживій природі — взагалі щось рідкісне й надзвичайне, а такий складний процес, як матричний синтез, що обов'язково повинен каталізуватись спеціальними ферментами, за межами клітини просто неможливий. Саме тому чимало вчених вважає, що важлива відмінність живого від неживого — це не просто наявність обміну речовин, а саме реакції матричного синтезу.

Завдяки реакціям матричного синтезу в клітині відбувається синтез усіх біополімерів, за винятком полісахаридів, ланцюги яких, як ви, напевно, пам'ятаєте, на відміну від інших, утворюються з однакових мономерів.

Синтез ДНК. Процес синтезу ДНК розпочинається перед поділом клітини й зумовлений необхідністю утворення нового полінуклеотидного ланцюга, який синтезується в повній відповідності до «матриці» старого ланцюга, тобто за принципом

комплементарності: навпроти нуклеотиду А старого ланцюга розміщується нуклеотид Т нового (або навпаки), а навпроти Ц — відповідно Г (або також навпаки). Саме тому синтез ДНК називають *реплікацією* (від. лат. *реплікаціо* — відбиття (іл. 21.1)).



Іл. 21.1. Схема реплікації ДНК

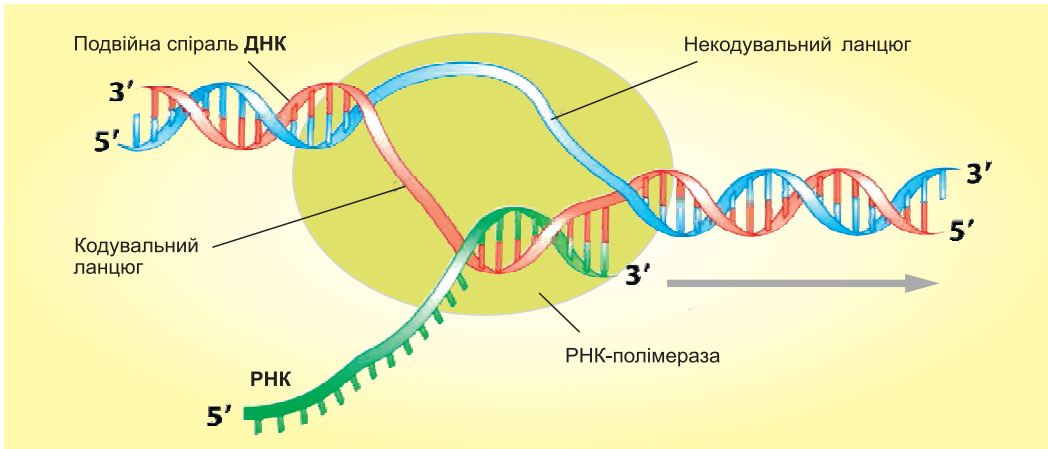
Відбувається він у такій послідовності. Спочатку під дією спеціальних ферментів подвійна спіраль розкручується й утворюється *реплікативна вилка*. Майже відразу завдяки ферменту ДНК-полімеразі починається ферментативне складання нових полінуклеотидних ланцюгів. Причому на різних ланцюгах ДНК синтез відбувається неоднаково. На першому ланцюзі синтез полінуклеотидів триває безперервно — від початку розкрученої ділянки до кінця. На другому ланцюзі синтез відбувається з деяким запізненням і спрямований у протилежний бік: спочатку збираються невеликі блоки, що згодом «зшиваються» в єдиний ланцюг.

Особливостями матричного синтезу є точність копіювання та висока швидкість перебігу реакцій. Надійність копіювання — це надзвичайно важлива властивість процесу реплікації.

Біосинтез білка. Цей процес доволі непростий та складається з трьох головних етапів.

Перший етап — *транскрипція* (від лат. *транскріпціо* — переписую), або синтез РНК за матрицею ДНК (іл. 21.2).

Молекули ДНК не беруть безпосередньої участі в синтезі білка, цим процесом займаються «посередники» — молекули РНК. При цьому транспортні (тРНК) і рибосомальні (рРНК) виконують допоміжні, технічні функції, а ключову роль відведено інформаційній (іРНК). Усі без винятку молекули РНК синтезуються за матрицями, якими слугують певні ділянки ДНК. При цьому тРНК синтезуються на багатьох ділянках, розкиданих по різних хромосомах, а рРНК — у спеціальних утвореннях — ядрцях, що також розміщуються на різних хромосомах. Число ядрець в одній клітині завжди кратне двом і може змінюватись у межах від 2 до 10, що залежить не



Іл. 21.2. Схема транскрипції (стрілочкою показано напрям матричного синтезу)

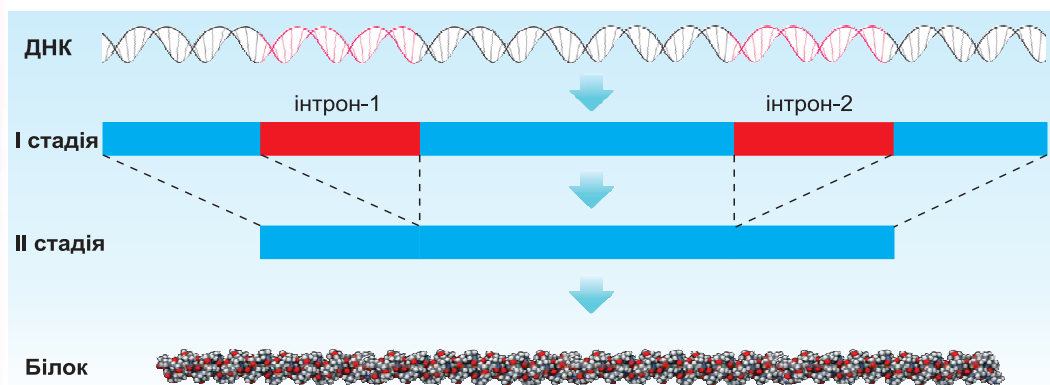
лише від виду організму, а й від його стану. У період інтенсивного росту число ядерць зростає.

Початком синтезу білка є зчитування інформації з молекули ДНК, яке здійснюється лише з одного ланцюга, який вважають відомим, а інший слугує лише стабілізатором структури ДНК. Причому в різних генів, розташованих на одній молекулі ДНК, зчитування відбувається з того чи іншого ланцюга. Цей процес починається лише з певних триплетів ДНК — ТАЦ і ЦАТ, які відповідно кодують амінокислоти ізолейцин та валін. Подібно до того, як по одній нитці ДНК відбувається синтез другої нитки ДНК, так і по розплетеній нитці ДНК здійснюється синтез молекули іРНК. Реакція прискорюється ферментом РНК-полімеразою, а тому протікає дуже швидко та з високою точністю.

Завдяки комплементарним зв'язкам нуклеотидів проти нуклеотиду ДНК стає відповідний нуклеотид РНК. Тому проти $\Gamma_{\text{ДНК}}$ стає $\Pi_{\text{РНК}}$; проти $\Pi_{\text{ДНК}}$ — $\Gamma_{\text{РНК}}$; проти $\text{T}_{\text{ДНК}}$ — $\text{A}_{\text{РНК}}$ і проти $\text{A}_{\text{ДНК}}$ — $\text{У}_{\text{РНК}}$. Далі ці нуклеотиди «зшиваються» РНК-полімеразою в один полінуклеотидний ланцюг іРНК. Він, з одного боку, повністю комплементарний ділянці ДНК, з якої він зчитувався, а з іншого — є майже точною копією другої ділянки ДНК. Процес синтезу іРНК зупиняється на певних кодонах ДНК (АЦТ, АГТ, АТЦ), які отримали назву стоп-кодонів і які не кодують амінокислот.

Другий етап — *процесинг* (від англ. *process* — хід, рух). Так називають «визрівання» матриці іРНК, яке безпосередньо передуює синтезу поліпептидних ланцюгів (іл. 21.3). Що таке визрівання іРНК і для чого воно потрібне? Слід зазначити, що гени еукаріотних організмів мають переривчасту будову й відрізки гена, які кодують амінокислотні послідовності — *екзони* (від грец. *екзо* — зовні), — чергуються з ділянками ДНК, які не несуть генетичної інформації, — *інтронами* (від лат. *inter* — поміж). Тому на другому етапі синтезу білка відбувається «редагування» послідовності: спочатку на першій стадії з неї вирізаються інтрони, а екзони на другій стадії за допомогою спеціальної ферментної системи «зшиваються» в одну більш коротку нитку іРНК.



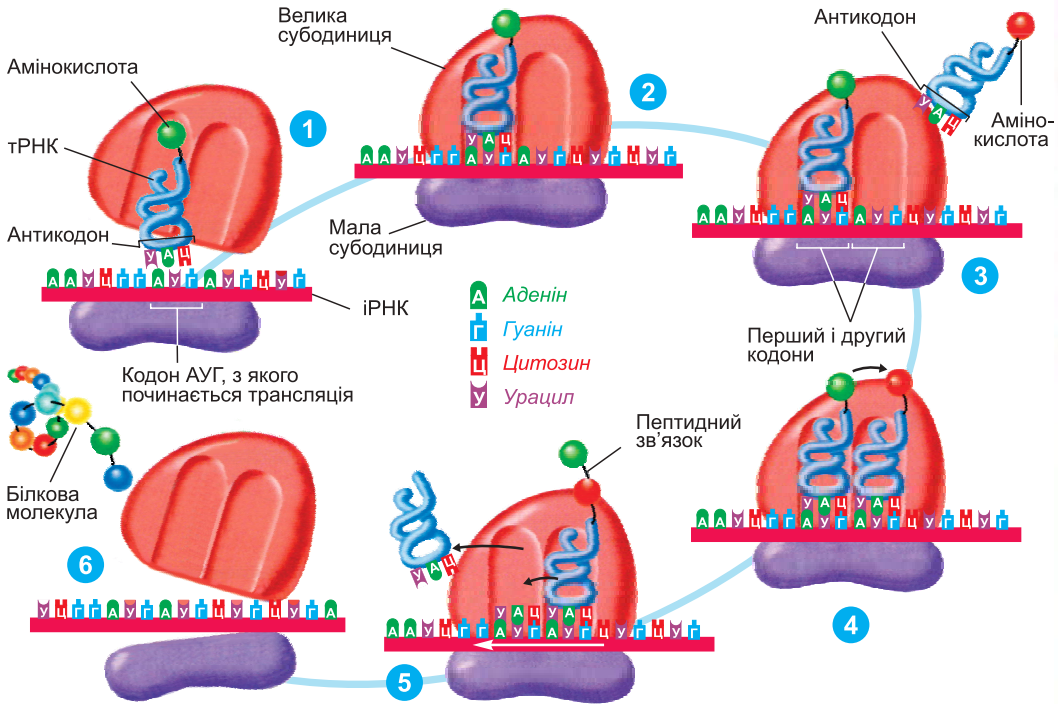


Іл. 21.3. Процесинг: I стадія — незріла іРНК; II стадія — зріла іРНК

Третій етап — трансляція, або синтез білка за матрицею іРНК. Процес синтезу поліпептидного ланцюга являє собою переписування інформації з «мови» нуклеїнових кислот на «мову» білків і тому має назву *трансляція* (від лат. *трансляціо* — перенесення). Відбувається цей процес у такий спосіб. Ядерна іРНК за допомогою спеціальних білків крізь пори в ядерній оболонці виходить у цитоплазму клітини. Далі по каналах шорсткої ендоплазматичної сітки вона транспортується на те місце клітини, яке потребує білок, амінокислотний склад якого вона кодує.

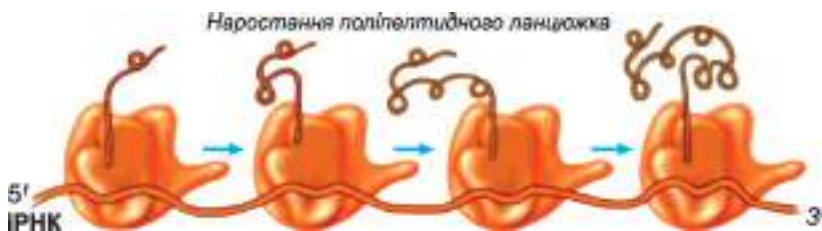
На один кінець молекули іРНК нанизуються рибосома і синтез поліпептидного ланцюга відбувається «крок за кроком»: рибосома пересувається наче «кроками» з триплету на триплет (іл. 21.4). На кожному «кроці» відбувається приєднання до ланцюга однієї амінокислоти. Швидкість синтезу ланцюга висока, зв'язування однієї амінокислоти триває близько 0,5 с та відбувається за участі спеціальних ферментів. Процес з'єднання амінокислот у єдиний ланцюг триває до стоп-кодона, а це означає, що синтез закінчено. Після цього рибосома сходить з ланцюга іРНК, від неї відділяється поліпептидний ланцюг, який спочатку закручується у спіраль, а потім набуває третинної структури. На одній молекулі іРНК одночасно може розміщуватись до 5 рибосом. Така структура отримала назву **полісома** (від грец. полі — багато, сома — тіло). Один і той же ланцюг іРНК може використовуватись багаторазово (іл. 21.5).

Якщо синтези ДНК та РНК відбуваються за матрицею ДНК і нуклеотиди самі знаходять собі місце в ланцюзі, то амінокислоти не комплементарні відповідним трьом нуклеотидам. Функцію добору та транспорту амінокислот здійснюють тРНК. На передній частині цієї молекули міститься триплет. Він комплементарний триплету іРНК і є розпізнавальним знаком цього типу тРНК. Однак послідовність триплету тРНК — обернена кодону іРНК, а тому його називають антикодоном (іл. 7.5, 20.4). Отже, кожна амінокислота має одну або кілька тРНК, які зв'язуються зі специфічною для них амінокислотою, просувають її до рибосоми, а потім шляхом взаємодії антикодону з кодоном визначають порядок розташування амінокислоти у поліпептидному ланцюзі.



Іл. 21.4. Схема біосинтезу білка.

1. Молекула іРНК зв'язується з малою субодинацею рибосоми. Ініціатор-тРНК зв'язується зі старт-кодоном на іРНК.
2. Велика субодинаця прикріплюється до малої субодинаці, створюючи функціональну рибосому.
3. Антикодон іншої тРНК з амінокислотою прикріплюється до додаткового кодону іРНК поруч з ініціатор-тРНК.
4. Між амінокислотами утворюється пептидний зв'язок, який переноситься ініціатор-тРНК і тРНК, що поруч з ею.
5. Після утворення пептидного зв'язку тРНК від'єднується від рибосоми, а рибосома просуває ланцюг іРНК на один кодон. Оскільки тРНК несе новосформовані фрагменти білкової молекули, інша тРНК з амінокислотою зв'язується з новим кодоном. Під час подовження білкової молекули кроки 3–5 повторюються знову і знову.
6. Синтез білка закінчується, коли рибосома досягає стоп-кодону. Сформована молекула білка від'єднується від кінцевої тРНК. тРНК вивільняє рибосому й вона розпадається на велику та малу субодинаці.



Іл. 21.5. Полісома

Дія генів — це визначення складу і структури білків, що синтезуються в клітині, а також чітко визначені впливи, що регулюють синтез РНК і білків. Причому ре-

алізація генетичної інформації відбувається на двох рівнях: від ДНК до РНК і від РНК до білків. Невипадково принцип «один ген — один поліпептидний ланцюг» є одним з найважливіших принципів генетики й сучасної біології.

Особливості матричного синтезу в прокариотів. Процеси синтезу РНК і білків у бактерій значно простіші, адже синтез РНК відбувається безпосередньо в цитоплазмі. Крім того, їх гени не мають інтронів, а тому процес визрівання у них не відбувається — їх іРНК одразу ж готова до трансляції. Крім того, якщо в клітинах еукаріотів майже 95 % ДНК не мають безпосереднього відношення до генетичної інформації, то у бактерій усе навпаки: практично вся ДНК — це і є структурні гени, а це означає, що шлях від ДНК до білків у бактерій значно коротший, ніж в еукаріотів.



За допомогою матричного синтезу відбувається **синтез ДНК (реплікація), РНК (транскрипція), білків (трансляція)**. За своєю суттю — це процес реалізації генетичної інформації, що відбувається на двох рівнях і є переходом від молекул ДНК до РНК і від РНК до білків. В еукаріотів реалізація генетичної інформації відбувається у три етапи: **транскрипція, процесинг і трансляція**.



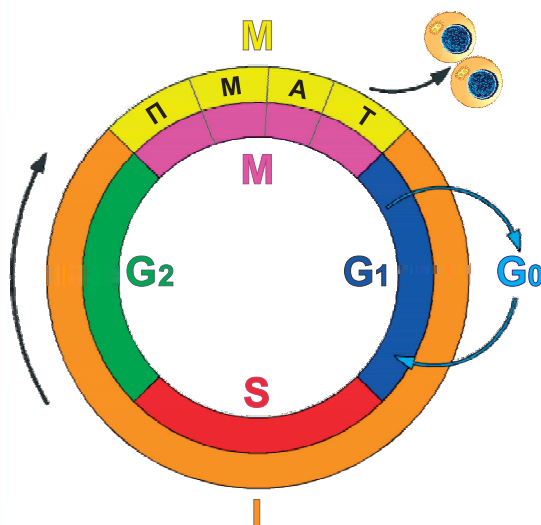
1. Чому матричний синтез вважають однією з найважливіших ознак живого?
2. На яких рівнях відбувається реалізація генетичної інформації?
3. Чому РНК, яка синтезується на матриці ДНК, називають інформаційною?
4. Чому процес синтезу білка позначили терміном, що походить від латинського слова «трансляція»?
5. У чому полягають функції транспортної РНК?



- Транскрипція відбувається лише з одного ланцюга ДНК. Чому?

§ 22. Клітинний цикл: інтерфаза і мітоз

Терміни й поняття: клітинний цикл, інтерфаза, мітоз, хроматиди, мітотичний апарат клітини, профаза, метафаза, анафаза, телофаза.



Іл. 22.1. Складові клітинного циклу.

Інтерфаза (I): G₁ — період постмітотичної паузи; S — синтетична фаза;

G₂ — період перед мітозом; G₀ — вихід клітини з мітозу.

Мітоз (M): П, М, А, Т — профаза, метафаза, анафаза, телофаза відповідно

Клітинний цикл. Кожна клітина є результатом поділу материнської клітини. Далі вона росте, проходячи у своєму розвитку визначені стадії та досягає розмірів зрілої клітини. Надалі клітина залишається в такому стані й згодом гине або ділиться, даючи нові клітини.

Життя клітини від моменту її виникнення до власного поділу або її природної смерті називають **клітинним циклом** (іл. 21.1), який складається з двох стадій: фази росту — **інтерфази** (від лат. *інтер* — між і фаза) і фази розмноження, або поділу, — **мітозу** (від грец. *мітос* — нитка).

Інтерфаза. Період між поділами клітини, коли вона росте, збільшуючись у розмірах, називають інтерфазою. У цей період у клітині відбуваються інтенсивні процеси пластичного обміну, здійснюється синтез ДНК, РНК і більшості білків, формується мембранна система та цитоскелет. Унаслідок цього об'єм клітини збільшується майже вдвічі, у ній накопичується запасний «будівельний матеріал» для майбутнього клітинного поділу. На інтерфазу припадає близько 90 % часу клітинного циклу (іл. 22.1).

В інтерфазі розрізняють три періоди. Одразу ж після поділу клітини настає фаза постмітотичної паузи. Її в жодному разі не слід вважати часом «відпочинку» клітини. Саме тоді розпочинається синтез іРНК і білків. Ці процеси підготовлюють майбутній синтез ДНК.

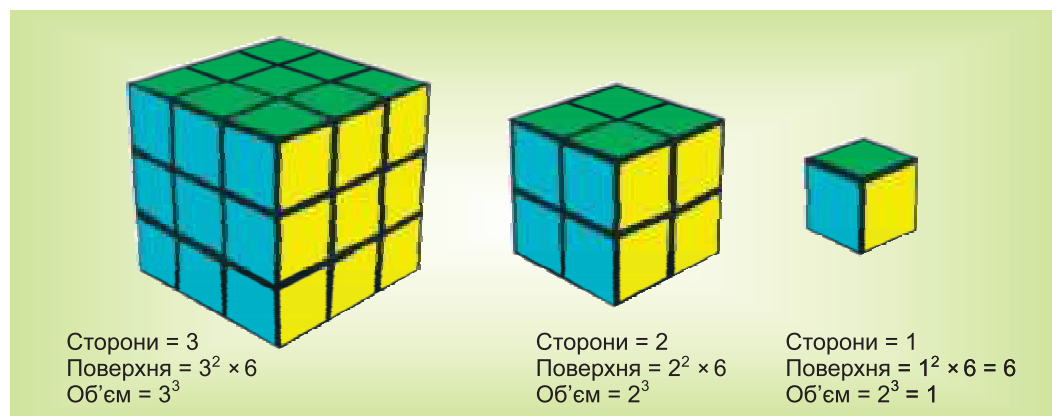
Далі настає ключова стадія інтерфази — *синтетична фаза*. Цей період у житті клітини найтриваліший.

Відбувається реплікація ДНК, і ще більш активізується синтез РНК і білків. У результаті кожна хромосома подвоюється і з цього моменту починає складатися з двох хромосомних ниток — хроматид. Крім того, у тваринних клітинах відбувається подвоєння центріолей. Завершується інтерфаза *передмітотичною фазою*.

Її також не слід вважати станом спокою клітини, бо саме на цю стадію припадає синтез білків, з яких формується *мітотичний апарат клітини*.

Отже, інтерфазу можна визначити як тривалий підготовчий період, що передуює поділу клітини.

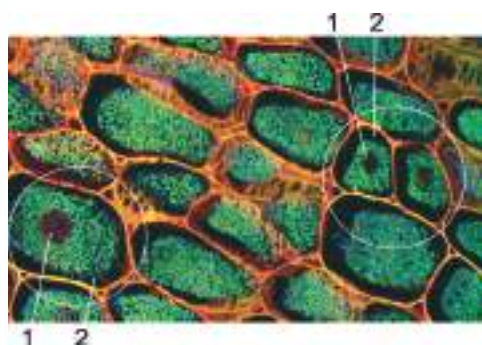
Причини поділу клітини. На ранніх стадіях розвитку ембріона людини поділ клітин відбувається кожні 30 хвилин, а в періоди, коли ріст уповільнюється, поділи у тих самих тканинах здійснюються лише через 2–3 години. Яким чином клітина «дізнається», що настав час розпочинати поділ і в чому полягають механізми, що спонукають її до розмноження? Відповідь на це запитання відома. Насамперед це співвідношення між об'ємом цитоплазми та поверхнею клітини. За правилами геометрії збільшення лінійних розмірів будь-якого тіла спричинює зростання його поверхні пропорційно квадрату лінійних розмірів, а об'єм — пропорційно кубу (іл. 22.2).



Іл. 22.2. Співвідношення об'єму до поверхні кубика з гранню 1 см становить 1 : 6, у кубика з гранню 2 см — 1 : 3, а в кубика з гранню 3 см лише 1 : 2.

Стосовно клітини це означає, що з її ростом на одиницю площі клітинної поверхні припадає дедалі більший об'єм цитоплазми. Дрібна клітина, яка щойно утворилася, має цілком достатню поверхню для того, аби швидко наситити цитоплазму Оксигеном і поживними речовинами: за одиницю часу крізь плазматичну мембрану вони проникатимуть у достатній кількості. Проте поступово, у міру того, як клітина росте, для обслуговування об'єму цитоплазми наявної клітинної поверхні не вистачає. У такому випадку клітина має або загинути, або зменшитися в розмірах шляхом поділу, внаслідок якого співвідношення поверхні до об'єму стає оптимальнішим. Отже, певне співвідношення поверхні та об'єму і є сигналом до початку клітинного поділу.

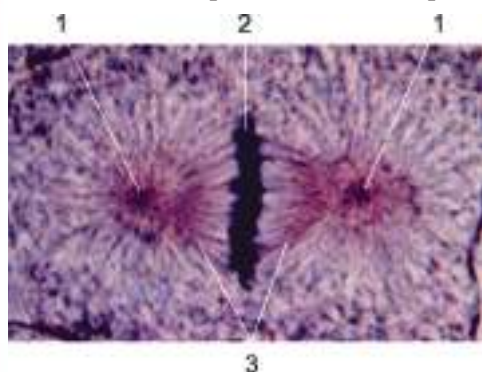
Ще одним сигналом до поділу клітини слугує відношення об'ємів ядра та цитоплазми (іл. 22.3). Адже в зрілих клітин воно значно менше, ніж у молодих, що не дозволяє ядру ефективно керувати фізіологічними процесами в цитоплазмі клітин.



Іл. 22.3. Співвідношення між об'ємом ядра (1) та цитоплазми (2)

Мітоз. Єдиним способом нормально-го поділу клітин, з яких складається тіло будь-якого еукаріотного організму, є мітоз. Завдяки цьому процесу відбуваються ріст, розвиток і розмноження організмів. Особливістю мітозу є його багатоетапність, тому його називають непрямим поділом. Крім того, мітотичний поділ тісно пов'язаний з певними органелами клітини, з яких формується *мітотичний апарат*, який забезпечує чіткий поділ генетичного матеріалу ядра навпіл.

Основою мітотичного апарату тварин є клітинний центр, який міститься в центрі клітини біля ядра. Він, як ви пам'ятаєте, складається з двох тілець — центріолей. На ранніх стадіях мітозу центріолі діляться навпіл і розходяться до протилежних полюсів клітини, формуючи веретено поділу, або мітотичний апарат (іл. 22.4).



Іл. 22.4. Веретено поділу клітини:
1 — центріолі клітинного центру;
2 — хромосоми;
3 — нитки веретена поділу

Веретено поділу — це нитки, які складаються зі спеціальних білків, здатних до скорочення. Одним кінцем нитки прикріплюються до відповідної хромосоми, а іншим — до центріолей. Отже, скільки хромосом — стільки й ниток.

Фази мітозу. Як вже зазначалося вище, мітоз складається з чотирьох послідовних фаз, кожна з яких має свої особливості.

Профаза (від грец. *про* — перед і фаза) — перша та одна з найдовших стадій мітозу (іл. 22.5). У цей час збільшується об'єм ядра, ядерна оболонка розчиняється,

хромосоми спіралізуються, їх уже можна побачити у світловий мікроскоп.

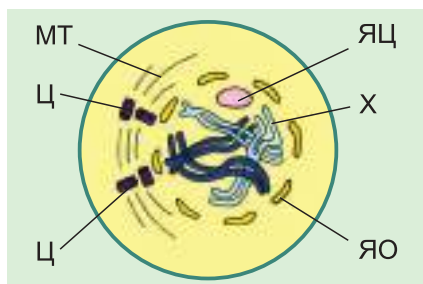
Починає формуватися веретено поділу. У клітинах тварин відбувається поділ центріолей, які починають розходитися до різних полюсів клітини. Навколо них з цитоплазми формуються нитки. У клітинах рослин центріолей немає, і тому веретено поділу в них формується в інший спосіб.

Друга стадія мітозу — **метафаза** (від грец. *meta* — поруч і *phasa*), відбувається дуже швидко (іл. 22.6). Відповідно до розходження центріолей відбувається поляризація клітини, і хаотично розташовані хромосоми спрямовуються до екватора, утворюючи там два ряди з однаковою кількістю хромосом. У період метафазі повністю формується мітотичний апарат, який сполучає полюси клітини з центромерами хромосом. Хромосоми починають ділитися на хроматиди. Саме в цей період легше всього роздивитися структуру кожної з хромосом.

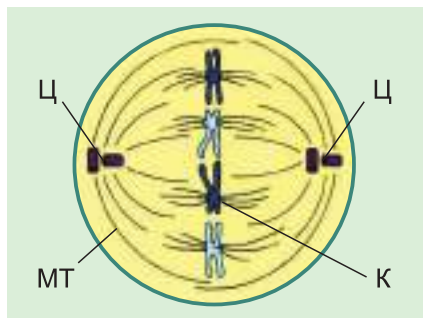
Анафаза (від грец. *ana* — знову і *phasa*) — третя фаза мітозу (іл. 22.7). На цій стадії добре видно, що кожна з хромосом складається з двох хроматид.

Нитки веретена, прикріплені до центромери кожної з хроматид, розтягують їх до протилежних полюсів. Такий механізм спонукає хромосоми чітко ділитися навпіл і розходитися до полюсів клітини.

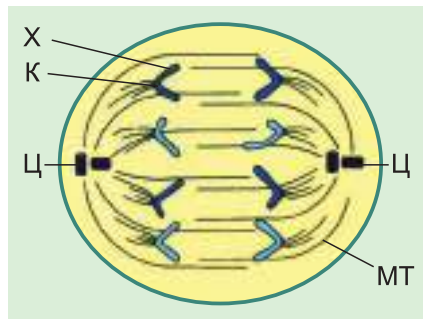
Телофаза (від грец. *telos* — кінець і *phasa*) — завершальна четверта і теж тривала фаза мітозу (іл. 22.8). Під час телофазі хромосоми починають розкручуватися (деспіралізуються) і їх знову неможливо побачити у світловий мікроскоп. На цьому етапі число хромосом уже чітко відповідає числу хроматид. Далі відновлюється ядерна оболонка, у тварин утворюється клітинна перетяжка, яка, заглиблюючись, ділить клітину навпіл, і кожна з половин має одне ядро з диплоїдним набором хромосом. Цитоплазму клітин рослин ділить навпіл клітинна оболонка, що формується в центрі цитоплазми. У ній ще немає щільної клітковини.



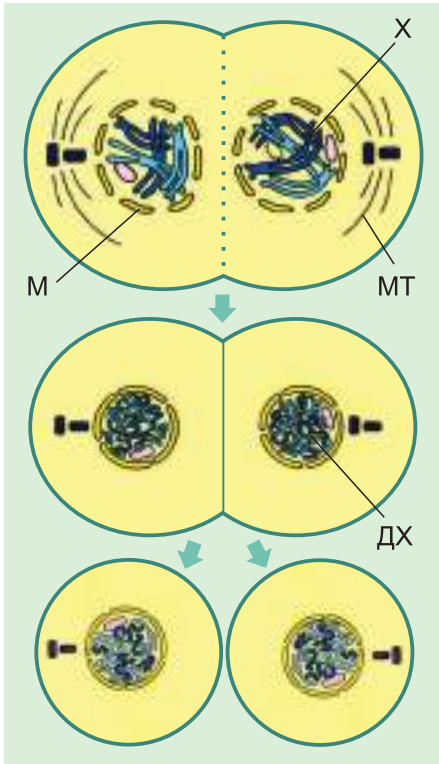
Іл. 22.5. Стадія профазі мітозу:
МТ — мікротрубочки; Ц — центріолі; ЯО — ядерна оболонка; Х — хромосома; ЯЦ — ядерце



Іл. 22.6. Стадія метафазі мітозу:
Ц — центріолі; МТ — мікротрубочки; К — кінетохори хромосом



Іл. 22.7. Стадія анафазі мітозу:
Х — хромосома; К — кінетохори хромосом; Ц — центріолі; МТ — мікротрубочки



Іл. 22.8. Стадія телофази мітозу:
М — мембрани; *МТ* — мікротрубочки; *Х* — хромосоми; *ДХ* — деспіралізація хромосом



Іл. 22.9. Множинний поділ у паразитичного найпростішого — трипаносоми

У бактерій також відбувається щось на зразок амітозу, однак це є нормою для істот, клітини яких не мають ані ядер, ані хромосом, ані центріолей і, відповідно, у них не може утворюватися веретено поділу. Тому розходження ниток ДНК до новоутворених клітин у бактерій відбувається дуже просто — їх тягнуть за собою мембрани, до яких вони прикріплені.

У результаті мітозу в кожній новоутвореній клітині зберігається повний хромосомний набір, однак кожна з хромосом представлена однією хроматидою. Це означає, що кожна дочірня клітина тотожна материнській та одна одній. Далі, після мітозу, в кожній новоутвореній клітині відбувається реорганізація цитоплазми, яка полягає в появі внаслідок поділу навпіл нових мітохондрій, а в рослин — ще й пластид, а також в утворенні нової системи цитоплазматичних каналів.

Винятки у процесі мітозу. У деяких видів одноклітинних еукаріотичних істот мітози спочатку відбуваються без поділу цитоплазми. У результаті клітина стає багатоядерною, у ній можуть бути десятки та сотні ядер. Згодом навколо ядер формується клітинна мембрана і материнська клітина розсіпається на сотні дрібних дочірніх клітин (іл. 22.9). Слід зазначити, що і в цьому випадку під час поділів ядра зберігаються всі етапи й правила проходження мітозу.

Ще однією формою поділу клітини та ядра є **амітоз** (від грец. *a* — ні й мітоз). Це так званий прямий поділ ядра, що відбувається в один етап без попередньої спіралізації хромосом й утворення веретена поділу. Ядро просто ділиться перетяжкою навпіл, а поділ цитоплазми може й не відбуватися. Внаслідок цього утворюються багатоядерні клітини. Під час амітозу ДНК розподіляється між дочірніми ядрами нерівномірно. Амітоз — це аномальний процес, який можуть спричинити різноманітні стресові фактори, зокрема різке зниження температури або рентгеновське випромінювання. Клітини, що виникли внаслідок амітозу, нежиттєздатні.



Життєвий цикл клітин включає період інтерфази, коли відбувається синтез необхідних речовин й утворення нових хроматид, і період мітозу — поділу ядра та клітини навпіл. **Мітоз — непрямої поділ ядра й клітини.** Він лежить в основі розмноження клітин, з яких побудоване тіло еукаріотних організмів, їх росту, розвитку та розмноження. Його **головна особливість — передача дочірнім клітинам абсолютно однакового генетичного матеріалу.** У результаті мітозу дочірні клітини повністю генетично тождні материнській. Мітоз має чотири головні фази: **профазу, метафазу, анафазу й телофазу.**



1. Що називають клітинним циклом? **2.** Які події відбуваються під час інтерфази та в якій послідовності? **3.** Що таке мітоз і з яких фаз він складається? **4.** Що таке мітотичний апарат тваринної клітини? **5.** Які події відбуваються під час метафази мітозу? **6.** У чому полягають особливості клітинного поділу бактерій?



• Вважають, що всі клітини багатоклітинного організму розмножуються за рахунок мітозів. А якщо так, то чи слід вважати амітоз винятком із цього правила?

§ 23. Мейоз, або редуційний поділ клітин. Рекомбінація

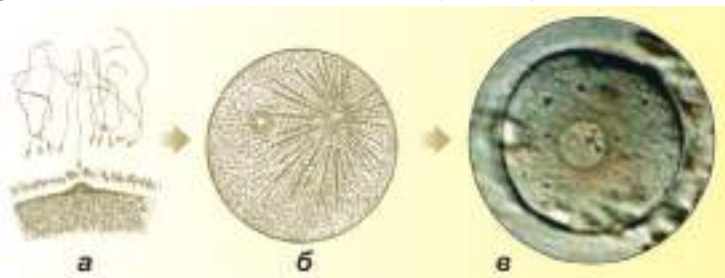
Терміни й поняття: редуційний поділ (мейоз), статевий процес, запліднення, гамети, зиготи, генетична рекомбінація.

Мейоз, або редуційний поділ клітин. Як вам відомо, клітини тіла багатоклітинного організму за деякими винятками складаються з диплоїдних клітин, що мають подвійне число хромосом, тоді як статеві клітини є гаплоїдними і мають лише один хромосомний набір. Цей перехід від диплоїдного стану клітин до гаплоїдного в межах одного організму здійснюється завдяки процесам *мейозу* (від грец. *мейозис* — зменшення), або редуційного поділу, — особливим клітинним поділом, що приводять до зменшення числа хромосом у дочірніх клітинах чітко удвічі.

Необхідність мейозу викликана тим, що в життєвому циклі всіх багатоклітинних організмів і деяких одноклітинних еукаріотів обов'язковим є запліднення — статевий процес, що передбачає злиття двох статевих клітин — *гамет* з утворенням спільного диплоїдного ядра та особливої клітини — *зиготи* (іл. 23.1).

Іл. 23.1. Схема утворення зиготи.

а — утворення горбка на яйцеклітині проти найближчого сперматозоїда; *б* — зближення ядер сперматозоїда та яйцеклітини, *в* — зигота під мікроскопом



Якби утворення статевих клітин відбувалося за тією ж схемою, що й за мітозу, і вони були б диплоїдними, то в кожному поколінні після запліднення кількість хромосом збільшувалася б удвічі. Наприклад, диплоїдний набір людини складається із 46 хромосом. Отже, після злиття двох диплоїдних клітин у потомків першого ж покоління в ядрах буде 92 хромосоми, другого — 184, а десятого — 47 104, що є просто неможливим. Саме тому в природі виник особливий спосіб поділу клітин, у ре-



зультаті якого утворюються клітини, що мають удвічі менше хромосом, ніж ті, з яких побудоване тіло будь-якого організму. Це зменшення числа хромосом відбувається регулярно і забезпечує стабільність диплоїдного стану організму від покоління до покоління.

Фази мейозу. Мейоз — процес, складніший, ніж мітоз, адже під час мейозу, крім збільшення кількості клітин, відбувається зменшення числа хромосом удвічі, а тому утворення гаплоїдних клітин пов'язане з двома непрямыми клітинними поділами, кожен з яких здійснюється, як і мітоз, у чотири етапи (іл. 23.2).

Під час інтерфази першого мейотичного поділу відбуваються ті самі процеси, що й при інтерфазі мітозу: синтез білків, РНК і ДНК, унаслідок чого кожна хромосома складається з двох хроматид.

• **Перший поділ. Профаза-I** складається з п'яти стадій. На першій відбувається спіралізація ДНК і скорочення хромосом, вони стають компактнішими і мають вигляд тонких ниток.

На другій стадії відбувається *кон'югація* (від лат. *кон'югаціо* — з'єднання) — гомологічні хромосоми зближуються і утворюють спільну структуру — *тетраду* (від грец. *тетрада* — група з чотирьох), що складається з чотирьох хроматид, адже кожна з гомологічних хромосом має по дві хроматиди. Далі гомологічні хромосоми, зібрані в тетради, у певних місцях особливо щільно з'єднуються і тут відбувається обмін ділянками. Цей процес отримав назву *кросинговер* (від англ. *crossingover* — пересічне схрещування).

Наступний етап передбачає деяке розплетення хромосом, а на завершальному етапі профазі-I хромосоми максимально ущільнюються, ядерна оболонка зникає; центріолі, якщо це тваринна клітина, розходяться до полюсів і гомологічні хромосоми залишаються з'єднаними між собою у тетради.

Іл. 23.2. Схема мейозу

● **Метафаза-I.** Комплекси з чотирьох хроматид розташовуються вздовж екватора клітини.

● **Анафаза-I.** Мікротрубочки веретена поділу скорочуються, і тетради діляться навпіл, унаслідок чого до полюсів клітини відходять окремі хромосоми, що складаються з двох хроматид. Зверніть на це увагу! До полюсів розходяться не окремі хроматиди, як при мітозі, а хромосоми, що складаються з двох хроматид.

● **Телофаза-I.** ДНК розплітається, і хромосоми втрачають щільну упаковку, їх уже неможливо роздивитись у світловий мікроскоп. Утворюється ядерна оболонка.

● **Интерфаза II.** Вона дуже нетривала і в цей період не відбувається синтезу ДНК, а отже, другий поділ розпочинають гаплоїдні клітини, хоча кожна хромосома ще складається з двох хроматид.

● **Другий поділ. Профаза-II.** Хромосоми ущільнюються, клітинний центр ділиться, і центріолі розходяться до полюсів клітини; утворюється веретено поділу, ядерна оболонка зникає.

● **Метафаза-II.** Хромосоми, що складаються з двох хроматид, розташовуються в ряд у центрі клітини.

● **Анафаза-II.** Кожна хромосома ділиться на хроматиди, які відходять до протилежних полюсів клітини.

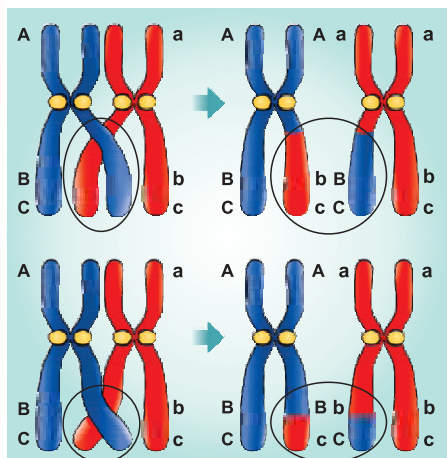
● **Телофаза-II.** Хромосоми деспіралізуються. Відновлюється ядерна оболонка. Отже, у результаті двох послідовних мейотичних поділів утворюються чотири клітини, кожна з яких містить одинарний набір хромосом.

Відмінність між мейозом і мітозом.

1. Процес мейозу відбувається у два етапи, а не в один, як мітоз.
2. Під час мітозу до дочірніх клітин відходять хроматиди однієї хромосоми, а під час мейозу — різні хромосоми, які після першого поділу ще складаються з двох хроматид.
3. Після мітозу дочірні клітини залишаються диплоїдними, після мейозу — мають лише один набір хромосом, тобто стають гаплоїдними.
4. Дочірні клітини, які утворилися внаслідок мітозу, генетично тотожні материнській та одна одній. У них повністю однаковий набір генів, тоді як дочірні клітини, що виникають внаслідок мейотичного поділу, є генетично унікальними, бо мають інший склад генів. Вони не тотожні ані материнській клітині, ані одна одній.

Генетична рекомбінація. Явище комбінування генетичного матеріалу під час статевого процесу, що виникає внаслідок трьох причин: випадкового злиття різних гамет, незалежного розходження хромосом різних пар до полюсів клітини, а також кросинговеру, що відбувається під час першого мейотичного поділу, отримало назву генетична рекомбінація. Це означає, що в новоутвореній клітині міститься не повний набір генів, отриманих від батька й матері, а лише його половина — у вигляді різноманітних комбінацій генів матері та батька (іл. 23.3).

Підраховано, що лише завдяки незалежному розходженню хромосом при мейозі може утворитися космічне число хромосомних комбінацій, яке можна підраху-



Іл. 23.3. Схема генетичної рекомбінації

їх ще називають, монозиготні близнюки, які генетично тотожні, бо зароджуються внаслідок одного й того ж запліднення (іл. 23.4).



Іл. 23.4. Монозиготні близнюки генетично повністю тотожні



Іл. 23.5. Вигляд спор аспергіду в мікроскопі

вати за допомогою формули 2^n , де n — число пар хромосом. Якщо ж взяти людину, то число комбінацій хромосом з урахуванням того, що її каріотип складається з 23 пар, становитиме 2^{23} (приблизно 8,4 млн). Якщо до цього додати фактор кросинговеру, то число генетичних комбінацій просто не піддаватиметься обчисленню і практично стане нескінченним.

У результаті новоутворені статеві клітини містять абсолютно унікальну комбінацію генетичного матеріалу. А це дає всі підстави стверджувати, що кожна людина — явище унікальне й неповторне навіть на рівні спадкової інформації, і на планеті Земля не живуть два генетично однакові індивіди.

Винятком є лише однайцеві, або, як їх ще називають, монозиготні близнюки, які генетично тотожні, бо зароджуються внаслідок одного й того ж запліднення (іл. 23.4). Зигота, яка ділиться на ранніх стадіях дроблення, може розпастися на 2, 4 і навіть більше частин, які надалі розвиватимуться в людину незалежно одна від одної.

Різновиди мейозу. Незважаючи на те що мейоз в той чи інший спосіб пов'язаний зі статевим розмноженням, все ж таки утворення статевих клітин є результатом лише гаметного мейозу, який притаманний тваринам і деяким багатоклітинним водоростям. Цей тип мейозу, який ще називають кінцевим, відбувається в статевих органах. У яєчниках утворюються яйцеклітини, у сім'яниках — сперматозоїди.

Споровий мейоз відбувається лише у вищих рослин. Його результатом є утворення спор, а не гамет, як у тварин (іл. 23.5). На відміну від статевих клітин, які утворюють новий організм лише після злиття жіночої та чоловічої гамет, розмноження за допомогою спор не потребує запліднення.

З мейотичних спор у нижчих спорових рослин, наприклад, у папоротей, з'являються гаплоїдні організми, які утворюють гамети мітотичними поділами, а у квіткових рослин розвиваються зародковий мішок і пилкові зерна, у яких за допомогою кількох мітотичних поділів утворюються жіночі й чоловічі гамети.

Зиготний мейоз, який ще називають початковим, при-

таманий одноклітинним еукаріотам. Він відбувається одразу ж після запліднення, у результаті якого диплоїдна зигота розпадається на чотири гаплоїдні клітини.



Усім організмам, що утворюються шляхом запліднення, властиве диплоїдне число хромосом. Перехід від диплоїдного рівня організації клітин до гаплоїдного здійснюється завдяки мейозу — двом непрямым клітинним поділам, що відбуваються один за одним. При цьому утворюються гаплоїдні клітини, які за своїм генетичним складом відрізняються від вихідних материнських. У процесі мейозу відбувається рекомбінація генетичного матеріалу, яка пов'язана з незалежним розходженням різних хромосом до полюсів клітини і кросинговером.



1. У яких організмів є мейоз і чому він виник? 2. У чому полягають особливості профазі-I мейозу? 3. Чим мейоз за своїми наслідками відрізняється від мітозу? 4. Що таке генетична рекомбінація та чим вона викликана? 5. Які існують різновиди мейозу?



• Чому так склалося, що в рослин мейоз спричиняється до утворення спор, а у тварин — гамет?

§ 24. Статеві клітини та їх утворення

Терміни й поняття: статеві клітини або гамети; яйцеклітина або ооцит; сперматозоїд; спермій; гаметогенез; сперматогенез; оогенез.

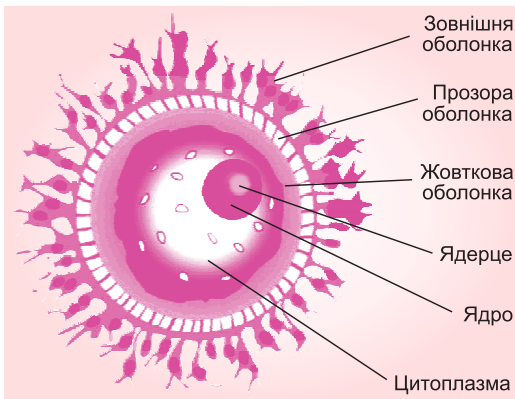
Статеві клітини. У кожної багатоклітинної істоти обов'язково утворюються статеві клітини, або *гамети* (від грец. *гамете* — жінка, *гаметес* — чоловік). Їх єдине призначення — це участь у процесі статевого розмноження, а головна особливість будови — гаплоїдний набір хромосом. Гамети поділяють на дві групи: жіночі та чоловічі. У примітивних багатоклітинних істот (деякі водорості й гриби) жіночі та чоловічі статеві клітини зовні не розрізняються, тоді як в еволюційно просунутих істот (тварини й вищі рослини) гамети мають зовсім різну будову та розміри (іл. 24.1).



Іл. 24.1. Яйцеклітина та сперматозоїд людини

Особливості будови жіночих гамет. Жіночі гамети — це яйцеклітини, або науковою мовою — *ооцити* (від грец. *оон* — яйце і *кітос* — клітина). Вони зазвичай мають майже ідеальну форму кулі та властиві тваринам і вищим рослинам.

Яйцеклітини нерухомі. Особливістю їхньої клітинної організації є значна кількість запасної речовини — *жовтка*, що міститься в цитоплазмі (іл. 24.2).



Іл. 24.2. Схема будови яйцеклітини

Слід зазначити, що в яйцеклітинах різних тварин уміст жовтка неоднаковий. Більше його в яйцях плазунів, птахів, риб та членистоногих, найменше жовтка в молюсків. А в деяких видів наїзників, личинки яких живуть і розвиваються в тілі інших комах, жовтка немає зовсім.

Яйцеклітини — найбільші за розмірами клітини тварин. Це обумовлено тим, що в їхній цитоплазмі міститься дуже багато резервних речовин. Саме тому серед них трапляються і клітини-велетні. Діаметр яйцеклітини оселедцевої акули — близько 22 см (іл. 24.3). Однак власником найбільшої яйцеклітини й водночас клітини взагалі серед організмів, що зараз живуть на Землі, є африканський страус, маса яйця якого становить близько 1,6 кг (іл. 24.4). Діаметр яйцеклітини людини становить усього 0,2 мм.



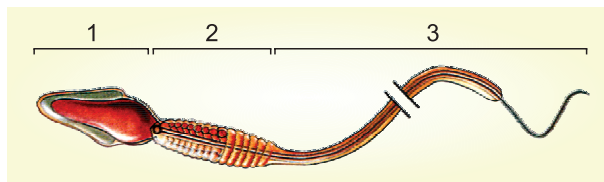
Іл. 24.3. Яйце оселедцевої акули



Іл. 24.4. Яйця африканського страуса

Особливості будови чоловічих гамет. Чоловічі гамети — це, навпаки, дуже дрібні клітини, які зовні зовсім не схожі на жіночі. Чоловічі гамети тварин, водоростей і спорових рослин рухливі й мають спеціальний орган руху — джгутик. Зазвичай рухливі чоловічі гамети називають *сперматозоїдами* (від грец. *сперма* — насіння, *зоон* — жива істота, *ейдос* — вигляд), а нерухливі, властиві насінним рослинам, — *сперміями*.

Сперматозоїд ссавців майже позбавлений цитоплазми (іл. 24.5) та має форму довгої нитки. У ньому розрізняють три відділи: головку, серединну частину та хвостик — джгутик.



Іл. 24.5. Будова сперматозоїда:

- 1 – голівка;
- 2 – серединна частина (війка);
- 3 – хвостик (джгутик)

У голівці розташовані: гаплоїдне ядро, клітинний центр, що формує цитоскелет сперматозоїда, та спеціальна

органела — *акросома* (від. грец. *акрос* — вершина і *сома* — тіло). Вона розміщена на самому кінчику головки й містить особливі ферменти, що розчиняють поверхневу мембрану яйцеклітини. У серединній частині міститься величезна мітохондрія, яка виробляє значну кількість енергії, що вкрай необхідна для активного руху сперматозоїда. Рухається сперматозоїд завдяки обертанню джгутика.

Гаметогенез (від грец. *гамета* і *генезис* — походження). Це процес дозрівання та формування статевих клітин. Гаметогенез має загальні правила й водночас особливості, притаманні різним рослинам і тваринам. Нам уже відомо, що гамети тварин формуються внаслідок мейотичних поділів, тоді як мейоз у рослин спричиняється до утворення спор, з яких спочатку виростають гаплоїдні організми, що й продукують гамети, які виникають внаслідок мітотичних поділів.

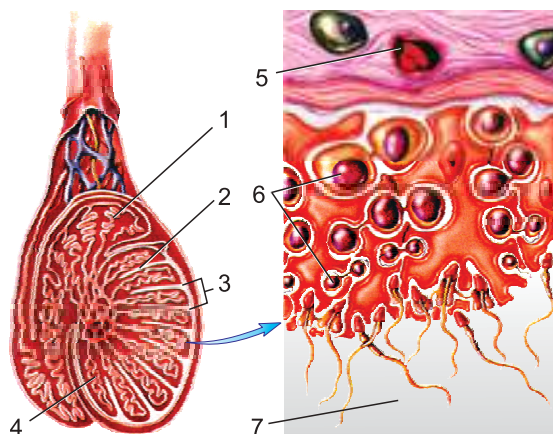
Спільним для всіх живих істот є те, що утворення статевих клітин відбувається у спеціальних органах: спермії та сперматозоїди формуються в чоловічих статевих органах, а яйцеклітини — у жіночих статевих органах.

Утворення чоловічих статевих клітин у людини. На прикладі людини розглянемо процес утворення чоловічих гамет, який називають сперматогенезом (від грец. *сперма* і *генезис*). Цей процес відбувається в сім'яниках, точніше — у звивистих каналцях сім'яників і є серією перетворень одних клітин на інші, причому етапи сперматогенезу чітко прив'язані до певних зон сім'яникових каналців (іл. 24.6).

Перший етап (іл. 24.7), розмноження, відбувається на самому початку каналців, де розміщуються дуже дрібні первинні статеві чоловічі клітини — *сперматогонії*, що мають круглясту форму. У період розвитку організму вони постійно діляться за допомогою мітозу, збільшуючи свою кількість у мільйони разів. Цю частину каналців називають *зоною розмноження*.

Другий етап — ріст. У статевозрілих організмів частина сперматогоній збільшується в розмірах і стає готовою до мейотичного поділу. На цьому етапі майбутні чоловічі гамети називають *сперматоцитами 1-го порядку*. Цей процес відбувається в *зоні росту*.

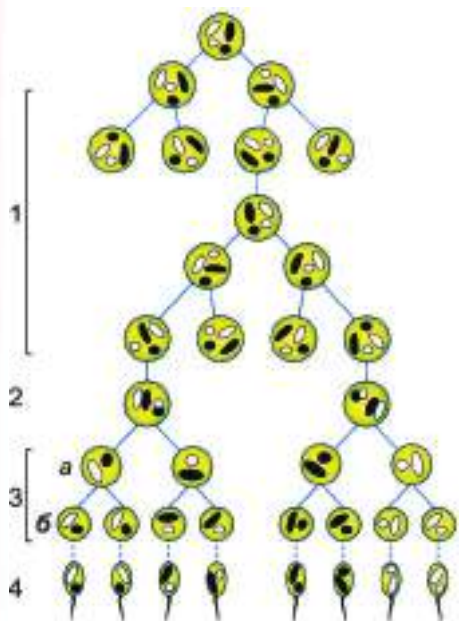
Третій етап — дозрівання, який, відповідно, відбувається у *зоні дозрівання*. Він включає два мейотичні поділи. Після першого поділу мейозу сперматоцити 1-го порядку перетворюються на *сперматоцити 2-го порядку*, а ті, у свою чергу, проходять другий поділ мейозу. У результаті утворюється чотири гаплоїдні клітини. Їх називають *сперматидами*.



Іл. 24.6. Будова яєчка та розвиток сперматозоїдів:

1 — придаток яєчка; 2 — сполучно-тканинна перегородка; 3 — часточка; 5 — кровоносний капіляр; 6 — незрілі сперматозоїди; 7 — сперма

Четвертий етап, що відбувається в зоні формування, є перетворенням сперматид на сперматозоїди. Цей процес супроводжується різким зменшенням розмірів ядра та об'єму цитоплазми, а також виникненням джгутика, завдяки якому сперматозоїд активно рухається.



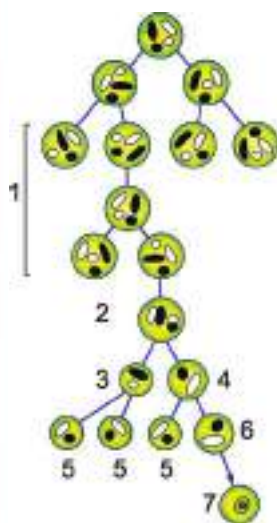
Іл. 24.7. Етапи сперматогенезу в людини: 1 — розмноження (сперматогонії); 2 — ріст (сперматоцит 1-го порядку); 3 — дозрівання (а — сперматоцит 2-го порядку; б — сперматиди); 4 — перетворення сперматид на сперматозоїди

Утворення жіночих статевих клітин у людини. Процес утворення жіночих статевих клітин називають *оогенезом* (від грец. *оон* і *генезис*). У людини, як і в усіх тварин, він відбувається у три етапи (іл. 24.8).

Перша стадія — період розмноження, що відбувається під час ембріонального розвитку людини та являє собою розмноження зародкових клітин — оогоній шляхом мітозу. Зазвичай цей період закінчується після народження, отже, немовля жіночої статі вже має певну кількість незрілих статевих клітин.

Друга стадія — період росту, що являє собою розвиток *ооцитів 1-го порядку*, що вступили до профазі-І мейозу й втратили здатність до мітозу. У період росту, що може тривати роками, розмір клітини збільшується в тисячі разів. У людини ця стадія збігається з періодом статевого дозрівання, коли раз на чотири тижні один з ооцитів починає рости. Цей процес супроводжується початком утворення жовтка.

Третя стадія — період дозрівання — включає поділи мейозу. Після першого мейотичного поділу ооцита 1-го порядку утворюються ооцит 2-го порядку і первинне полярне тільце. Далі відбувається другий поділ мейозу за участю ооцита 2-го порядку, за якого утворюється гаплоїдне яйце — *оотида*, яка, власне, вже і є зрілою яйцеклітиною і три полярних тільця, два з яких утворюються з первинного полярного тільця. Ці полярні тільця мають такі самі гаплоїдні набори хромосом, що й оотида, однак у них немає жовтка. З часом вони розпадаються.

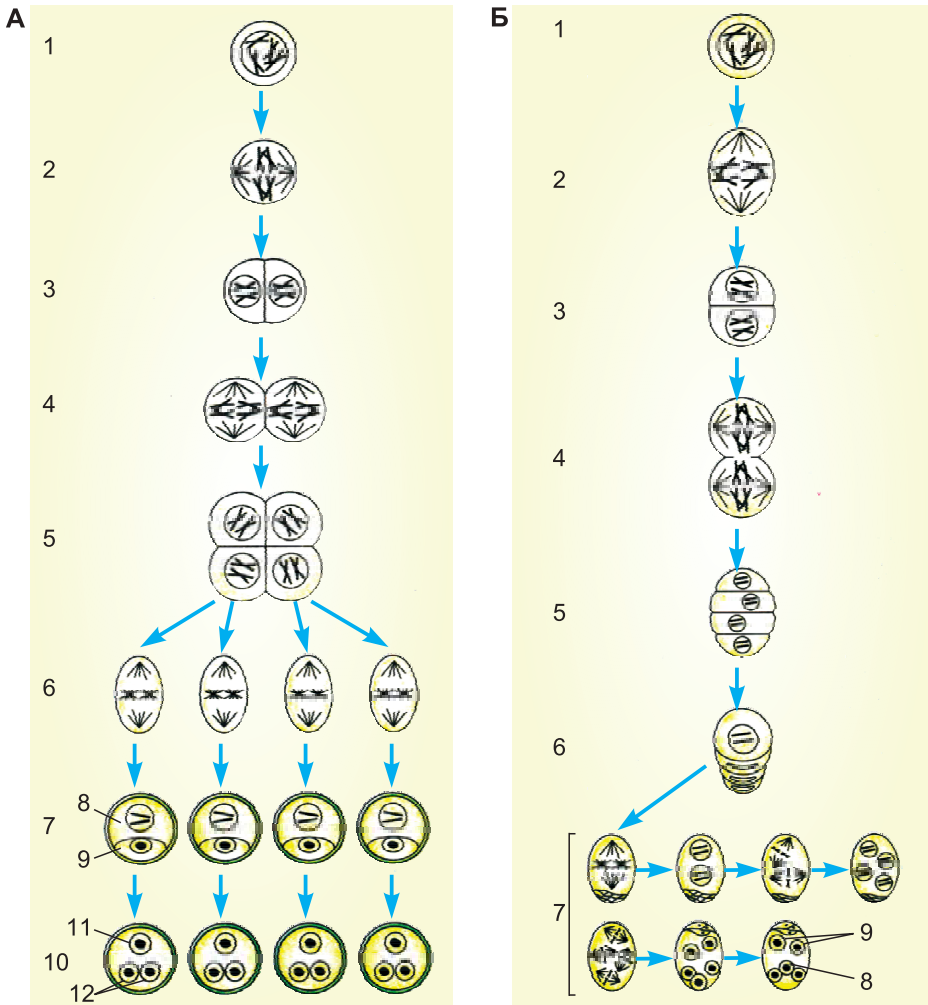


Іл. 24.8. Схема оогенезу в людини:
1 — оогонії;
2 — ооцит 1-го порядку;
3 — перше полярне тільце;
4 — ооцит 2-го порядку;
5 — друге полярне тільце;
6 — оотида;
7 — зріла яйцеклітина

Отже, унаслідок мейотичних поділів у процесі оогенезу з однієї зародкової клітини утворюється лише одна яйцеклітина,

яка вбирає весь накопичений за період розвитку жовток. Утворення жіночих статевих клітин відбувається послідовно по зонах яєчників відповідно до зон дозрівання сперматозоїдів у сім'яниках.

Утворення статевих клітин у квіткових рослин. Статевими чоловічими органами квіткових рослин слід вважати пиляки, у яких у великій кількості містяться так звані материнські клітини пилку (іл. 24.9, А). Саме ці клітини проходять мейоз і кожна з них перетворюється на чотири *мікроспори*, з яких формуються пилкові зер-



Іл. 24.9. Утворення чоловічих (А) та жіночих (Б) гамет у квіткових рослин

А: 1 — материнська мікроспора; 2 — метафаза-1; 3 — телофаза-1; 4 — метафаза-2; 5 — стадія чотирьох спор; 6 — перший мітоз у мікроспорах; 7 — двоклітинні пилкові зерна; 8 — вегетативна клітина; 9 — генеративна клітина; 10 — зрілі пилкові зерна; 11 — ядро пилкової трубки; 12 — спермії.

Б: 1 — материнська макроспора; 2 — метафаза-1; 3 — телофаза-1; 4 — метафаза-2; 5 — стадія чотирьох макроспор; 6 — дегенерація трьох макроспор; 7 — три міотичні поділи зародкового мішка, що ведуть до утворення зрілої жіночої гамет; 8 — яйцеклітина; 9 — ядра, що утворюють центральне тіло

на. Спочатку пилкові зерна одноклітинні, а після першого мітотичного поділу стають двоклітинними. Одна клітина, вегетативна, перестає ділитися, з неї утворюється пилкова трубка, а в другій — генеративній — відбувається ще один мітоз, унаслідок чого в ній утворюються два ядра. У результаті цих подій визріває пилкове зерно, що складається з двох клітин, одна з яких є двоядерною.

Жіночим статевим органом рослин є насінний зачаток, у якому містяться материнські клітини *макроспор*, з яких шляхом мейотичного поділу утворюється чотири дочірні макроспори, три з яких гинуть (іл. 24.9, Б). Макроспора, що залишилася і яку називають зародковим мішком, проходить три стадії мітозу, в результаті чого в ній утворюється вісім ядер, які формуються у три групи: дві полярні, що містять по три ядра, в одній з яких перебуває яйцеклітина, та одна центральна, що складається із двох центральних ядер, які, зливаючись, дають *диплоїдне центральне тіло*.



Гамети, або статеві клітини, поділяються на чоловічі (сперматозоїди) та жіночі (яйцеклітини). Жіночі гамети є нерухомими клітинами кулястої форми, величезними за розмірами; їх цитоплазма заповнена жовтком.

Чоловіча статеві клітина зазвичай рухлива. У ній майже немає цитоплазми, однак є певні пристосування: джгутик, особливий органіод акросома та величезна мітохондрія. Розвиток і дозрівання чоловічих гамет (**сперматогенез**) і жіночих (**оогенез**) відбувається в статевих органах і має певні особливості, пов'язані з будовою та розмірами жіночих і чоловічих гамет. Принципові відмінності між гаметогенезом рослин і тварин: **у рослин гамети утворюються внаслідок мітозів гаплоїдних клітин, а у тварин — унаслідок мейозу диплоїдних клітин.**



1. Що особливого в будові жіночих гамет? **2.** Яким чином здатність сперматозоїдів активно рухатися відображається на їхній будові? **3.** Які етапи властиві сперматогенезу тварин? **4.** У чому полягають особливості оогенезу порівняно зі сперматогенезом у тварин? **5.** Що спільного і що відмінного в гаметогенезах тварин та рослин?



• Як ти вважаєш, чому яйцеклітини птахів мають значно більші розміри ніж яйцеклітини ссавців?

§ 25. Розмноження. Статевий процес і запліднення

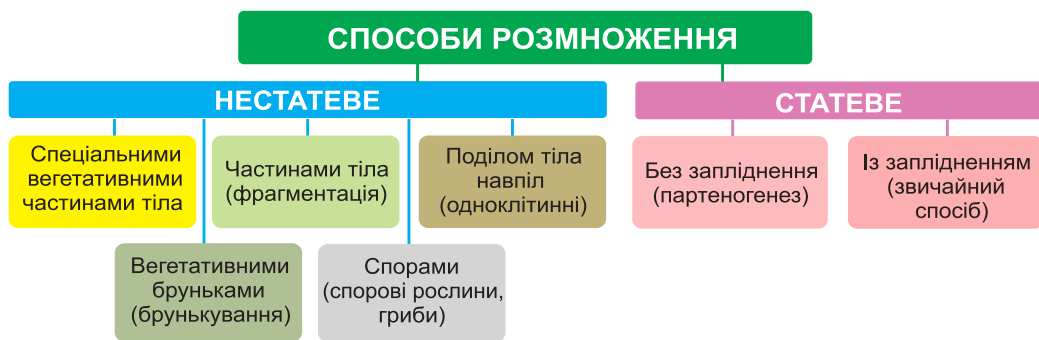
Терміни й поняття: *розмноження (нестатеве й статеве), фрагментація, брунькування, вегетативне розмноження, клонування, клон, статевий процес, запліднення, партеногенез, подвійне запліднення.*

Розмноження та його мета. Самовідтворення є однією з ключових ознак живої матерії й властиве всім живим істотам без винятку. Це здатність організмів до утворення собі подібних. Адже навіть найдосконаліший організм не може жити вічно, а тому безперервність і наступність життя забезпечується винятково розмноженням — відтворенням живих організмів.

Розмноження відбувається обов'язково зі збільшенням числа особин. У цьому закладений особливий сенс. Смерть від хвороб і з випадкових причин, низька життєздатність або фізична нездатність окремих особин дати потомство автоматично обумовлюють необхідність того, щоб потомства завжди було більше, ніж батьків. Якщо ж до цього додати, що тварини живуть лише за рахунок того, що живляться іншими істотами та самі слугують їжею для інших, то необхідно, щоб потомство перевищу-

вало число батьківських особин, інакше можлива ситуація, коли до статевозрілого стану з потомства ніхто просто не доживе. Для популяції людини підраховано: щоб народонаселення залишалось стабільним, на кожну жінку дітородного віку має припадати від 2,1 до 2,3 дитини. Якщо немовлят буде менше, то чисельність населення почне зменшуватися, якщо більше — зростати.

Нестатеве розмноження. Незважаючи на величезне різноманіття живого на Землі, існує лише два способи розмноження: нестатеве й статеве (іл. 25.1).



Іл. 25.1. Загальна схема класифікації способів розмноження живих організмів

Нестатеве розмноження відбувається або шляхом поділу власного тіла на дві й більше частин, окремими частинами тіла, або за допомогою спор. Процес нестатевого розмноження не передбачає будь-якого контакту з особинами свого виду, тому за такого способу утворення потомства не відбувається обмін генетичною інформацією.

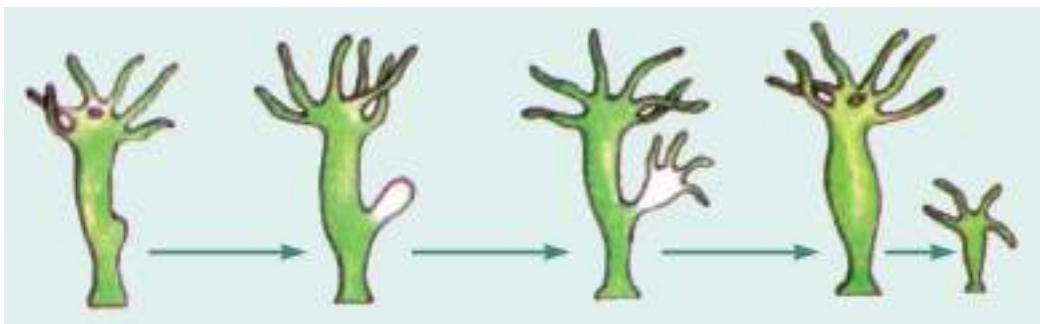
Розмноження поділом тіла навпіл характерне для одноклітинних істот. Якщо це еукаріотний організм, то в основі поділу лежить мітоз, якщо бактерія — відбувається прямий поділ.

У деяких найпростіших — форамініфер і споровиків — може бути інший тип клітинних поділів — **множинний поділ**. Спочатку в клітині відбувається низка послідовних ядерних поділів, у результаті яких утворюється кілька десятків ядер, після чого клітина розпадається на відповідне число одноядерних клітин.

Просто шматками або, висловлюючись науковою мовою, фрагментами тіла можуть розмножуватися лише примітивні багатоклітинні істоти — у тварин це губки, а у рослин — багатоклітинні водорості. Цей процес називають *фрагментацією*. Якщо від тіла губки-бодяги чи водорості-спірогіри випадково відпаде якась навіть дуже незначна його частина — з неї легко виросте нова повноцінна особина.

Брунькування — утворення випинів тіла, з яких розвивається новий організм. Такий механізм розмноження трапляється як в одноклітинних, так і в багатоклітинних істот. Серед вищих рослин брунькування трапляється в печінкових мохів, а у тварин воно доволі звичайне в тих організмів, що ведуть прикріплений спосіб життя, наприклад, губок чи коралів (іл. 25.2).

Вегетативне розмноження — ще один спосіб нестатевого розмноження, властивий для багатьох примітивних тварин і вищих рослин. У рослин воно відбувається за рахунок різноманітних видозмін пагонів (кореневищ, вусів, цибулин і бульб) або



Іл. 25.2. Брунькування у гідри

кореневої порослі, або вегетативних бруньках на листках. У тварин типовим прикладом вегетативного розмноження слід вважати розмноження деяких червів, наприклад, морських багатощетинкових (іл. 25.3).

За вегетативного розмноження часто утворюються колонії, про які важко сказати, що це — єдиний організм чи сукупність тісно пов'язаних між собою окремих особин.

Під час розмноження поділом, брунькуванням або вегетативними органами завжди утворюється генетично тотожне потомство, яке є точною копією материнського організму і має назву клон. Ця однорідність цілком природна, адже в основі вегетативного розмноження лежать мітози, за яких дочірні клітини одержують однаковий генетичний матеріал. Вегетативне розмноження, що проводиться в штучних умовах з метою отримання однорідного потомства, називають *кловуванням*.



Іл. 25.3. Вегетативне розмноження багатощетинкових червів

яких розвиваються багатоклітинні організми. Спорами розмножуються гриби (іл. 22.5), водорості й вищі спорові рослини. Для того щоб зі спори почав розвиватися новий організм, достатньо лише сприятливих умов. Спори грибів і водоростей можуть утворюватися в результаті як мітотичних, так і мейотичних поділів, а вищих спорових рослин — лише внаслідок мейозів. У першому випадку організми, що розвиваються зі спор одного материнського організму, являють собою клон і мають диплоїдну природу, у другому — гаплоїдну й генетично відрізняються один від одного.

Статеве розмноження. Це фундаментальна властивість багатоклітинних організмів — процес відтворення організмів за допомогою статевих клітин — *гамет*.

Ключовою подією нормального статевого розмноження є статевий процес — злиття чоловічої та жіночої гамет з утворенням спільного диплоїдного ядра. При цьому дрібна гамета — сперматозоїд — проникає всередину величезної нерухомої яйцеклітини. Цей процес також називають *заплідненням*. Його результатом є утворення *зиготи* (від грец. *зиготос* — спарений, подвоєний), з якої розвивається новий організм.

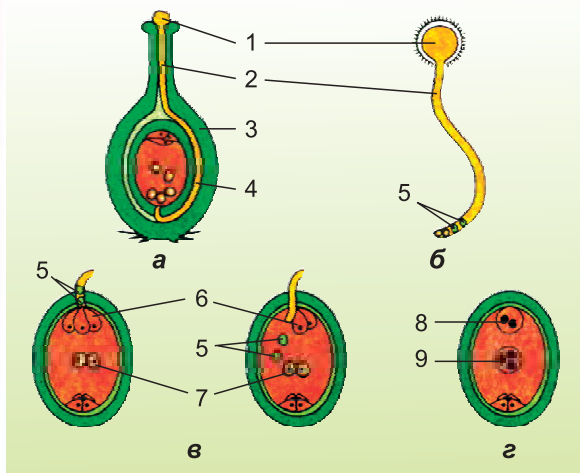
Часто статевий процес і статеве розмноження ототожнюють, але це неправильно. Для багатьох одноклітинних організмів статевий процес є обов'язковим (згадайте кон'югацію в інфузорій або злиття статевих клітин у малярійного плазмодія), а ось розмноження відбувається винятково нестатеве — шляхом клітинних поділів. Бувають й інші ситуації, коли статеве розмноження відбувається без запліднення. Це *партеногенез* (від грец. *партенос* — діва і генезис), який може відбуватися у різних формах. У таких випадках розвиток нової особини відбувається з незаплідненої яйцеклітини. У деяких риб, наприклад, карася сріблястого, для розвитку нового організму потрібна лише стимуляція яйцеклітини сперматозоїдом іншого виду. При цьому спільне ядро не утворюється, а отже, запліднення не відбувається.

Запліднення у тварин відбувається за єдиною схемою і є злиттям яйцеклітини та сперматозоїда (іл. 23.1). При цьому внесок сперматозоїда в майбутню зиготу — це лише гаплоїдний набір хромосом, який міститься в його ядрі. У момент зіткнення сперматозоїда з яйцеклітиною передня частина сперматозоїда перетворюється на трубочку, через яку виділяється вміст сперматозоїда — ядро зі спадковим матеріалом. Відразу після контакту сперматозоїда з яйцеклітиною на її поверхні утворюється щільна оболонка, яка не дає проникнути в яйцеклітину іншим сперматозоїдам. Так само відбувається й перебудова цитоплазми. Лише після цього спадковий матеріал сперматозоїда, що потрапив у яйцеклітину, поєднується з генетичним матеріалом яйцеклітини й у такий спосіб утворюється зигота. Місце проникнення сперматозоїда в яйцеклітину може згодом визначити розташування органів майбутнього організму. Відомо, що в земноводних та частина яйцеклітини, до якої входить сперматозоїд, у ході розвитку перетворюється на передній кінець тіла.

Запліднення в рослин. У багатоклітинних водоростей і вищих спорових рослин запліднення відбувається у такий же спосіб, як і у тварин, тобто рухливий сперматозоїд проникає в нерухому яйцеклітину, в якій згодом відбувається злиття двох ядер й утворення зиготи.

У насінних рослин існують суттєві відмінності, викликані тим, що запліднення в них міцно пов'язане з процесом запилення — перенесенням пилкових зерен, які складаються з двох частин, на приймочку маточки. Як ви пам'ятаєте, вегетативна частина пилкового зерна — це та клітина, що проростає у вигляді пилкової трубки, а генеративна частина є двоядерною клітиною, з якої утворюються дві чоловічі гамети — *спермії*. Вони в насінних рослин нерухомі, а тому потрапляють до яйцеклітини не завдяки активній роботі джгутика, а за рахунок проростання пилку й утворення пилкової трубки.

У квіткових рослин запліднення відбувається в дуже незвичний спосіб. Пилкова трубка проростає між клітинами маточки і входить у порожнину зав'язі, враста-



Іл. 25.4. Схема подвійного запліднення у квіткових рослин:

a — поздовжній розріз маточки; *б* — проростання пилкового зерна; *в* — проникнення пилкової трубки та двох спермій у зародковий мішок; *г* — зародковий мішок після запліднення.

1 — проростання пилкового зерна; 2 — пилова трубка; 3 — зав'язь; 4 — зрілий зародковий мішок; 5 — спермії; 6 — яйцеклітина; 7 — полярні ядра, що утворюють полярне тіло; 8 — зигота; 9 — триплоїдне ядро ендосперму

ючи в зародковий мішок. З пилкової трубки виходять спермії, один з яких зливається з яйцеклітиною, утворюючи диплоїдну зиготу, а другий — із центральною диплоїдною клітиною зародкового мішка, яка в результаті стає триплоїдною (іл. 25.4).

Із зиготи розвивається *зародок*, а із центральної клітини — *ендосперм* (від грец. *ендос* — внутрішній і *сперма*) — поживна речовина, яку зародок споживає під час свого розвитку. Зародок й ендосперм разом утворюють *насінину*.

Таким чином, запліднення у квіткових рослин — це доволі своєрідний процес, який отримав назву *подвійне запліднення*. Такий тип статевого процесу не трапляється більше в жодній із груп живих організмів. Його вперше описав у 1898 р. професор Київського університету Сергій Гаврилович Навашин.



Сергій Навашин (1857–1930)



Розмноження — це відтворення собі подібних, що супроводжується збільшенням числа особин. **Нестатеве розмноження** здійснюється за рахунок поділу тіла, окремих його частин або спор, **статеве розмноження** — лише за допомогою статевих клітин. У більшості випадків статеве розмноження передбачає наявність статевих процесів — **запліднення** — **злиття жіночої та чоловічої гамет**, що супроводжується утворенням спільного ядра.

Запліднення у квіткових рослин здійснюється особливим способом і передбачає **подвійне запліднення**, за якого із заплідненої яйцеклітини утворюється зародок, а із центральної клітини, що зливається з другим спермієм, утворюється ендосперм.



1. Що таке розмноження і чому цей процес передбачає збільшення числа особин? 2. Які існують способи нестатевих розмноження? 3. Що таке статевий процес і з якими подіями він пов'язаний? 4. У чому полягають особливості запліднення насінних рослин? 5. Чому процес запліднення квіткових рослин називають подвійним заплідненням?



• Відомо, що найбільш високорозвинені тварини повністю втрачають здатність до нестатевих розмноження і відтворюються лише статевим шляхом. Чому так?

§ 26. Індивідуальний розвиток, або онтогенез. Ембріональний розвиток тварин і рослин

Терміни й поняття: індивідуальний розвиток, або онтогенез; диференціальна активність генів, ембріогенез, постнатальний розвиток, дроблення, бластомери, морула, бластула, гаструла, нейрула.

Індивідуальний розвиток, або онтогенез. Після запліднення й утворення зиготи в більшості багатоклітинних істот одразу ж починається індивідуальний розвиток, що супроводжується глибинними перетвореннями спочатку зародка, а потім уже організму, здатного до самостійного життя. Цей життєвий шлях від утворення зиготи й до смерті організму називають індивідуальним розвитком, або *онтогенезом* (від грец. *онто* — наявний і *генезис* — походження). Під час онтогенезу організм зазвичай не лише росте, збільшуючись у розмірах, а й проходить ряд різних життєвих фаз, на кожній з яких він має особливу будову, а в деяких випадках кардинально відрізняється за способом життя. Галузь біології, що вивчає онтогенез, називають *біологією розвитку*.

Програма онтогенезу. Онтогенез має чітку програму — реалізацію спадкової інформації, що записана в генах. Саме тому особливості індивідуального розвитку окремих особин, різниця в розмірах або формі тіла визначаються індивідуальними комбінаціями генів, що були отримані від батьків, а на рівні видів, родів і навіть рядів і класів — особливими генами, властивими кожній систематичній групі організмів.

Механізм реалізації спадкової інформації полягає в диференціальній активності генів. Це означає, що в різні періоди розвитку і в різних клітинах організму відбувається синтез тих чи інших іРНК. У результаті в клітині синтезується цілком визначений набір білків і ферментів, що врешті й визначає особливості метаболізму клітини та функцію, яку вона виконує, швидкість її росту й настання поділу.

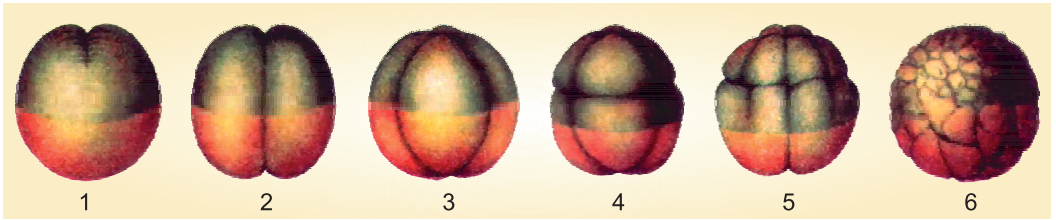
Етапи онтогенезу. У багатоклітинних тварин і насінних рослин онтогенез поділяють на два періоди.

Перший, *ембріональний розвиток*, або *ембріогенез* (від грец. *ембріон* — зародок і *генезис*) — період життя ембріону, або зародка. Він триває: у тварин — від зиготи й до народження або виходу з яйця, а в рослин — від зиготи й до початку проростання насінини.

Другий період — *постембріональний розвиток*. У тварин він триває від народження або виходу з яйця, а у рослин — від проростання насінини чи спори й до самої смерті організму.

Перший етап ембріогенезу. Розглянемо стадії ембріонального розвитку на прикладі жаби озерної — тварини класу Земноводні (іл. 26.1).

Уже через кілька годин після проникнення сперматозоїда до яйцеклітини починається перший етап ембріогенезу — дроблення, тобто низка послідовних мітотичних поділів зиготи. При цьому кожного разу утворюються все дрібніші клітини, які називають *бластомерами* (від грец. *бластос* — паросток і *мерос* — частина). Напевно, ви пам'ятаєте, що яйцеклітини — це величезні за розмірами клітини, а отже, для розвитку передусім потрібно здійснити здрібнення клітин зародку, що відбуваєть-



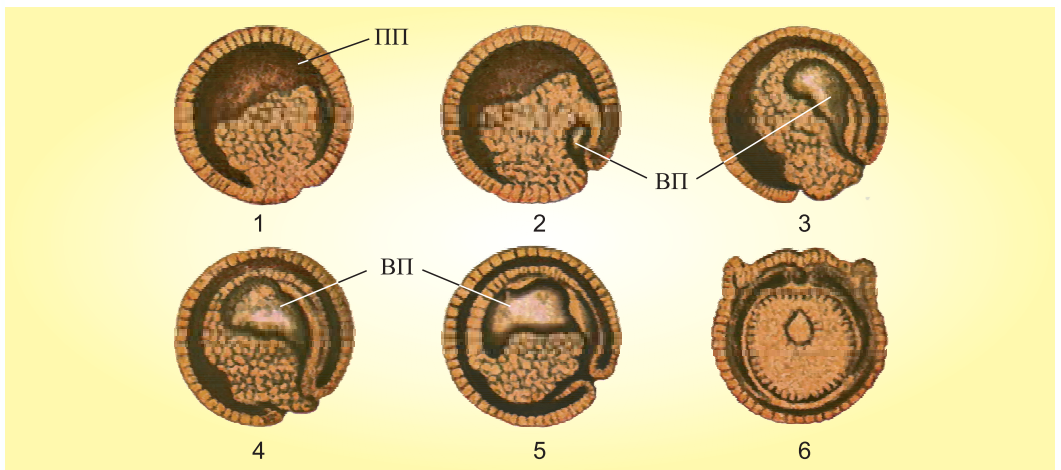
Іл. 26.1. Етапи дроблення зиготи жаби:

1 — початок формування борозни поділу; 2 — утворення перших двох бластомерів; 3 — стадія чотирьох бластомерів; 4 — стадія восьми бластомерів; 5 — стадія 16 бластомерів (бластомери починають розрізнятися за розмірами); 6 — пізня морула (бластомерів уже кілька десятків)

ся за рахунок зменшення об'єму цитоплазми. Цей процес триває доти, доки розміри клітин не стануть такими самими, як розміри інших соматичних клітин цього виду організмів. У результаті на завершальному етапі дроблення маса й розміри зародка залишаються такими самими, як і на початку дроблення зиготи.

Дроблення зиготи має чітко встановлений порядок. Спочатку через полюси зиготи проходить поперечна борозна поділу, що ділить зиготу навпіл. Далі в такий самий спосіб проходить друга борозна, яка вже ділить зиготу на чотири бластомери. У подальшому поділи відбувається як у поперечному, так і в поздовжньому напрямках.

Другий етап ембріогенезу — утворення двошарового зародка. Наступним етапом онтогенезу є утворення вже двошарового зародка — *гастроули* (від грец. *гастер* — шлунок) (іл. 26.2). Після того як бластула жаби повністю сформувалася, дроблення клітин найбільш інтенсивно відбувається на одному з полюсів. Це призводить до того, що ця частина втягується всередину.



Іл. 26.2. Розвиток ембріона жаби після проходження процесу дроблення (схеми подані в розрізі):

1 — стадія бластули (лише первинна порожнина); 2–6 — стадії утворення гастроули, (розпочинаються невеличким вгинанням і закінчуються утворенням вторинної порожнини тіла; на схемі 6 вгорі добре помітна нервова пластинка); (ПП — первинна порожнина, ВП — вторинна порожнина)

У результаті утворюється двошаровий зародок. Саме на цій стадії розвитку в багатоклітинних тварин з'являються зародкові листки — шари тіла зародка, які дають початок певним органам і тканинам.

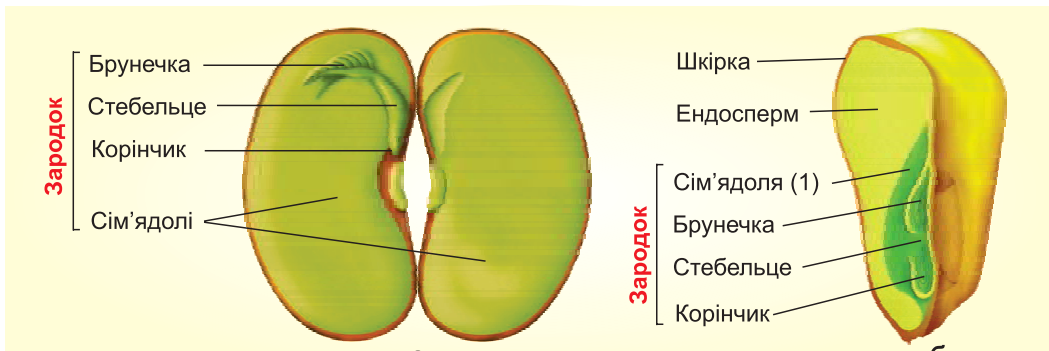
У найбільш примітивних багатоклітинних тварин — губок і кишковопорожнинних — ембріональний розвиток завершується на стадії двох зародкових листків — внутрішнього й зовнішнього, а в усіх інших тварин утворюється ще й третій — проміжний.

Із зовнішнього шару клітин — *ектодерми* (від грец. *ектос* — зовнішній і *дерма* — шкіра) — у тварин утворюються тканини, що виконують переважно покривну функцію; з них також формуються органи чуття і зовнішня частина травної системи. Із внутрішнього шару клітин — *ентодерми* (від грец. *ентос* — внутрішній і *дерма*) — формуються органи дихальної, видільної та внутрішня частина травної систем, а із середнього шару — *мезодерми* (від грец. *мезос* — серединний і *дерма*) — статеві системи й органи, що виконують рухову та опорну функції.

Третій етап — період закладки органів. Спочатку відбувається формування органів, що визначають основу — вісь будови тіла майбутнього дорослого організму. Цей етап називають *нейрулою* (від грец. *неврон* — нерв). Відбувається закладка хорди, нервової та кишкової трубок. Потім починається бурхливий поділ клітин, який завершується різким збільшенням їх кількості, що, відповідно, спричиняє ріст ембріона. Далі починається спеціалізація клітин. Вони набувають форми й розмірів, відповідних до їх функцій — саме з таких клітин утворюються різні тканини та органи, а контакти й взаємодії цих різних за будовою і функціями клітин забезпечують зв'язки окремих органів тіла один з одним.

Особливості ембріонального розвитку вищих хребетних тварин. Розвиток зародків плазунів, птахів і ссавців на ранніх стадіях розвитку дуже схожий на розвиток жаби, але в них уже, починаючи зі стадії бластули, з'являються спеціальні зародкові оболонки, які захищають зародок, що розвивається, від висихання й інших негативних впливів середовища. Саме наявність яйцевих оболонок дозволила плазунам покинути водне середовище проживання й стати суходільними істотами.

Особливості будови зародків рослин. У квіткових рослин зародок міститься всередині насінини і в представників різних класів має свої особливості (іл. 26.3).



Іл. 26.3. Будова насінин дводольних (а) та однодольних (б) рослин

Згадайте: у дводольних рослин зародок доволі великий і складається зі шкірки, зародкового кореня, зародкового стебла, зародкової бруньки й двох сім'ядоль, у яких міститься запас поживних речовин, необхідних для проростання насінини й розвитку (іл. 26.3 а).

У насінинах однодольних рослин замість шкірки — оболонка (іл. 26.3 б), зародок дуже малий і містить одну сім'ядолу, хоча також має зародковий корінь, зародкове стебло та зародкові бруньки. Крім того, поживні речовини, які в однодольних називають *ендоспермом* (від грец. *ендос* — внутрішній і *сперма* — насінина), містяться окремо від зародка.

Ембріональний розвиток у квіткових рослин. Відразу після утворення насінини не здатна дати початок новій рослині й деякий час повинна перебувати в стані спокою, після чого вона готова до проростання — переходу від стану спокою до росту зародка та перетворення його на паросток.

Проростання починається з моменту проникнення води в насінину через отвір біля рубчика. Вода зумовлює набухання насінини. Запасальні речовини ендосперму



Іл. 26.4. Етапи розвитку насінини

чи сім'ядолей переходять у розчинний стан і стають доступними для живлення клітинам зародка. Відтак розпочинається процес проростання насінини, для якого потрібні ще дві умови: достатньо висока температура та доступ кисню до насінини. Проростання (іл. 26.4) починається з того, що через розриви покривів з насінини виходить зародковий корінець. Він швидко росте вниз, випереджуючи ріст інших органів зародка, та закріплює рослину в ґрунті. В однодольних поряд з головним коренем швидко з'являються ще

два-три інші корені. Потім починає рости вгору зародковий пагіт: його стеблова частина подовжується й у дводольних рослин виносить вгору над ґрунтом сім'ядолі та верхівкову бруньку; в однодольних рослин швидко розвивається щиток. Далі розвивається надземний пагіт зі справжніми зеленими листками.

Життя організму від зиготи і до смерті називають онтогенезом, або індивідуальним розвитком. Онтогенез складається з двох етапів: **ембріонального розвитку (ембріогенезу)** і **постембріонального, або постнатального розвитку.**

Ембріональний розвиток усіх тварин складається з кількох етапів: **дроблення зиготи, утворення зародків, спеціалізації клітин, закладки органів.** Дроблення зиготи завершується утворенням **бластули**, яка переходить у **гаструлу**, на стадії якої у тварин утворюються три шари зародкових листків. **З ектодерми утворюються покривні тканини, а також органи чуття і зовнішня частина травної системи. З ентодерми формуються органи дихальної й травної систем. З мезодерми виникають органи, що виконують рухову й опорну функції.** Ембріональний розвиток рослин складається з двох періодів: **формування зародка в насінині та проростання**, за якого відбувається подальший розвиток зародка: формування ембріонального кореня та ембріонального пагона.



1. Що означає термін «онтогенез»? 2. У чому полягають особливості процесу дроблення? 3. Що собою являє процес утворення гастрুলи? 4. З якого шару клітин утворюються скелетні м'язи? 5. У чому полягають особливості будови ембріонів однодольних та дводольних рослин? 6. Як відбувається проростання насінини?



- Чи правильно вважати зародок квіткових рослин ембріоном?

§ 27. Розвиток організму після народження

Терміни й поняття: *розвиток, прямий і непрямий, ріст, статеве дозрівання, максимальна тривалість життя, старіння, смерть.*

Постембріональний розвиток. Це період індивідуального розвитку (онтогенезу) організму, який триває від народження до набування організмом здатності до розмноження, старіння і смерті.

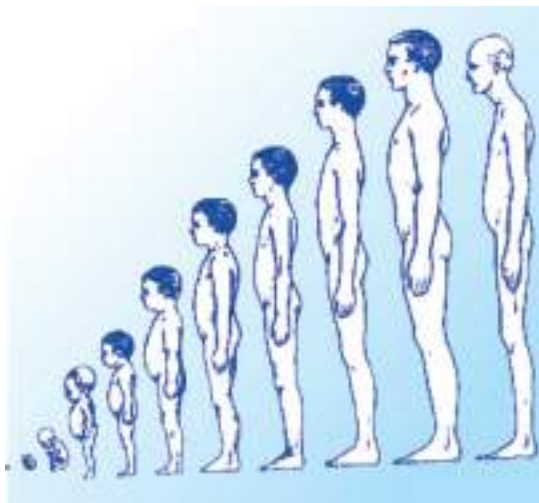
Під час постембріонального розвитку:

- завершується формування органів тіла;
- організм росте, збільшуючись у розмірах;
- відбувається статеве дозрівання і розмноження;
- настає старіння й смерть організму.

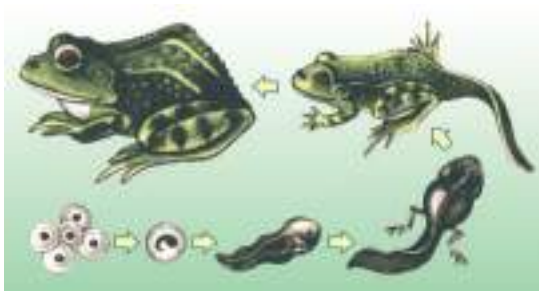
Типи постембріонального розвитку. Зазвичай розрізняють два типи постембріонального розвитку: прямий і непрямий.

Організми, що мають *прямий розвиток*, з'являються на світ такими, що за будовою своїх органів і способом життя майже не відрізняються від дорослих особин. У них є усі органи або структури, однак вони значно менші за розмірами і ще статеві незрілі. Подальший їх розвиток пов'язаний переважно з ростом і статевим дозріванням (іл. 27.1).

Непрямий розвиток, або *розвиток з метаморфозами*, трапляється лише у тварин і характерний для більшості видів цього царства. Це ті випадки, коли з яйця з'являються личинки, які, хоча й сильно відрізняються від дорослих особин за будовою, але вже здатні до самостійного живлення (іл. 27.2).



Іл. 27.1 Прямий розвиток ссавців на прикладі людини



Іл. 27.2 Непрямий розвиток жаби

Личинки завжди влаштовані простіше, а зовні часто схожі на своїх далеких предків (згадайте, який вигляд має личинка жаби й кого вона нагадує). З одного боку, у личинок є свої особливі органи, з іншого — у них часто немає деяких органів, притаманних дорослим стадіям, а тому вони зазвичай ведуть спосіб життя зовсім інший, ніж зрілі особини свого виду.

У личинок відсутні навіть зародкові статеві органи, за якими можна встановити, в кого вона розвинеться — у самку чи самця.

Ріст — важлива складова постнатального розвитку. Одним з головних результатів постембріонального розвитку є збільшення лінійних розмірів і маси організму, яке досягається у процесі росту. У його основі лежать два механізми: збільшення числа клітин, що досягається шляхом клітинних поділів, і ріст самих клітин, що відбувається за рахунок збільшення об'єму цитоплазми.

Ріст вищих рослин називають верхівковим, оскільки він здійснюється переважно за рахунок клітинних поділів у верхівковій меристемі. Причому рослини збільшують розмір свого тіла протягом усього життя (іл. 27.3).



Іл. 27.3. Ріст дерева протягом усього життя

На відміну від рослин, тварини ростуть усім тілом і зазвичай протягом обмеженого періоду. Це викликано тим, що у тварин ріст здійснюється завдяки клітинним поділам і росту клітин усього тіла, але в різних тканинах і органах цей процес відбувається по-різному. Клітинні поділи в нервовій і м'язовій тканинах у людини відбуваються лише в період зародкового розвитку, а в постембріональний період вони лише збільшуються в розмірах, тоді як клітини сполучної та епітеліальної тканин діляться протягом усього життя людини.

Ріст хребетних тварин перебуває під контролем гормонів росту, які синтезуються в гіпофізі. Цікаво, що на ріст людей впливають і статеві гормони.

Невипадково в дівчат у період активного статевого дозрівання у віці 12–13 років, а в хлопчиків — у 15–16 відбувається різке прискорення росту, але вже до 18–20 років він припиняється взагалі.

Статеве дозрівання — це ще одна складова постембріонального розвитку. Кінцевим результатом статевого дозрівання стає можливість статевого розмноження.

Тваринам з непрямим розвитком цьому передують личинкова стадія життя, а істотам із прямим типом розвитку — тривалий період росту. Звідси і статеве дозрівання має свої певні закономірності, прояв яких характерний для кожної групи організмів. Зокрема, для ссавців виявлені такі дві закономірності:

- самки дозрівають швидше за самців, хоча у риб, амфібій і рептилій, навпаки, раніше дозрівають самці;

- статева зрілість настає раніше, ніж закінчується ріст і дозрівання організму.

У рослин, як і у тварин, статеве дозрівання настає лише після доволі тривалого періоду росту. Його початок проявляється у цвітінні, адже саме у квітках перебувають «статеві органи» рослин.

Максимальна тривалість життя. Одноклітинні істоти живуть щонайбільше кілька діб, тоді як життя багатьох багатоклітинних організмів розтягується на десятки років, а в деяких деревних рослин рахунок навіть іде на тисячі років. Більше того, виявляється, що тривалість життя у різних видів організмів однієї систематичної групи й одного виду дуже різний. Різниця максимальної тривалості життя в представників одного класу хребетних може становити два, три та навіть кілька десятків разів (табл. 5).

Таблиця 5.

Максимальний вік людини та різних видів хребетних тварин

Представники	Тривалість життя, роки	Представники	Тривалість життя, роки
Ссавці		Плазуни	
Кит полярний	210	Черепаша галапагоська	177
Людина	122	Крокодил нільський	68
Слон африканський	86	Ящірка прудка	8–10
Шимпанзе	75	Риби	
Собака	34	Осетер	160
Білка	16	Щука	70–80
Миша хатня	4	Сом	60
Птахи		Карась	20
Гриф	118	Окунь	15
Лебідь	70	Морська форель	15
Голуб	23	Бичок	6
Ластівка	9	Гупі	3

Ідеальний вид-довгожитель для ссавців — це величезна тварина з доволі довгим періодом статевого дозрівання й нечисленним потомством. Також установлено, що повільніше старішають тварини з великим мозком і невисокою інтенсивністю

метаболізму. За цими критеріями, усі великі ссавці, особливо кити, слони й люди-на в ідеальних умовах повинні жити довго, а крихітні землерийки чи плодючі миші та полівки матимуть дуже короткий вік. Подібну закономірність легко можна простежити не лише у звірів, а й в інших хребетних: риб, рептилій і птахів. У чому ж причина такої закономірності? Виявляється, більші за розмірами організми за одиницю часу витрачають відносно менше енергії й речовини на 2 кг маси, тобто ніби заощаджують свої життєві сили.

Старіння і смерть — спільна біологічна особливість усіх живих істот. Старіння як зниження біологічних можливостей організму можна легко проілюструвати в такий спосіб. Виявляється, у 75-річного чоловіка порівняно з 30-річним уже на 10 % нижча швидкість проведення нервових імпульсів, кровопостачання мозку здійснюється лише на 80 %, а серця — на 75 %; швидкість фільтрації сечі в нирках знижена на 29 %, а працездатність кісткових м'язів падає на 30–40 %. Ці зміни у функціях органів зумовлені їхніми структурними змінами. Так, число смакових рецепторів у чоловіка похилого віку менше на 64 %, ниркових канальців — на 47 %, аксонів спинного мозку — на 37 %. Просвіти кровоносних судин через те, що на них відкладаються холестеринові бляшки, звужуються на 29 %, а життєвий об'єм легенів падає на 44 %. Цей процес поступової втрати організмом і його частинами природних функцій урешті-решт призводить до смерті — незворотних змін в організмі та припинення його функціонування.

Завдяки досягненням медицини та сучасного рівня життя за останні 1 000 років середня тривалість життя людей зросла в кілька разів (кам'яний вік — середня тривалість життя становила 19 років; 1970–2010 рр. — 73 роки).

Відомо, що впродовж більшої частини людської історії вона була незначною — приблизно 20–35 років. Починаючи з XVIII ст., усе більше людей стали доживати до похилого віку, а зараз середня тривалість життя, залежно від країни, становить 60–80 років. Причому що вище рівень життя в країні, то триваліше життя її громадян. Але найцікавіше те, що попри це не вдається збільшити максимальний вік.

А яка ж максимальна тривалість життя людини взагалі? Офіційно встановлений рекорд найдовшого життя, мабуть, належить французенці Жанні Кальман, яка



Іл. 27.4. Довгожителька Жанні Кальман у молодості й сторічному віці

народилася у 1875 р. (іл. 27.4), а померла в 1997 році, проживши 122 роки й 164 дні. У першу десятку офіційних довгожителів входить і українець Григорій Нестір, що прожив у невеликому містечку Львівської області трохи більше 116 років.

Причини старіння.

З чим пов'язані незворотні вікові порушення? З одного боку, відповідь на це запитан-

ня лежить на поверхні, й чимало учених вважають, що старіння людського організму подібне до зношування техніки. Однак, з іншого боку, організм, на відміну, скажімо, від автомобіля, є системою, яка сама себе відновлює, а тому звести процес старіння просто до зношування окремих деталей-органів було б не зовсім правильно.

Часто вчені пояснюють старіння процесами, що відбуваються на молекулярному рівні організації, наприклад, нагромадженням хімічних радикалів. Вони взаємодіють з білками й нуклеїновими кислотами, викликають у них пошкодження, які призводять до порушення їх функцій. Наприклад, взаємодії хімічних радикалів з молекулами ДНК ведуть до мутацій, які у свою чергу призводять до порушень структури білка. До цього слід додати, що мутації в клітинах можуть викликати й інші фактори. Мутації мають властивість накопичуватися впродовж життя, а тому в старих клітинах синтезується багато «неправильних» білків.

Існують також інші теорії старіння. Виявилось, що будь-які клітини людини можуть ділитися якнайбільше 50 разів, після чого гинуть. З'ясувалося, що причиною їх запрограмованої смерті є те, що після кожного клітинного поділу від кінцевої по-особливому влаштованої ділянки хромосоми (теломери) особливими ферментами ніби «відкушується» невеликий шматочок (іл. 27.5). Після 50 поділів уся теломера «з'їдається», і клітина гине. Ця межа отримала назву *ліміт Хейфліка* за ім'ям американського вченого Леонарда Хейфліка (нар. 1928), який її відкрив.

Подальші дослідження показали, що в організмах, клітини яких здатні до нескінченного числа поділів (до таких належать одноклітинні організми, багатоклітинні рослини й тварини, які можуть розмножуватися вегетативним шляхом, а також ракові клітини), міститься спеціальний фермент *теломераза*, за допомогою якого відновлюються втрачені ділянки.



Іл. 27.5. Теломери на кінцях хромосом



У період постембріонального розвитку, який у різних видів живих істот відбувається у прямий чи непрямий спосіб, **завершується формування органів тіла; організм росте і досягає кінцевих розмірів; відбувається статеве дозрівання і розмноження; настає старіння та смерть організму.**



1. Які події відбуваються під час постембріонального розвитку організму? **2.** Що таке розвиток з метаморфозами? **3.** Чим ріст рослин відрізняється від росту тварин? **4.** У чому полягають особливості статевого дозрівання ссавців? **5.** Назвіть причини старіння будь-якого організму?



• Чому високорозвинені хребетні: ссавці, птахи та плазуни — на відміну від більш просто організованих риб та земноводних, мають прямий розвиток?

§ 28. Життєві цикли та їх різноманіття

Терміни й поняття: життєвий цикл простий і складний, спорофіт, гаметофіт.

Життєвий цикл. Ще раз пригадаймо: онтогенез людини — це весь життєвий шлях організму від зачаття і до смерті, тоді як життєвий цикл тієї ж людини — це відрізок онтогенезу від зиготи й до статевої зрілості, або, як інколи влучно кажуть, це період індивідуального розвитку від «зиготи і до зиготи», тобто від зиготи, з якої утворився організм, і до спроможності цього організму дати початок зиготам наступного покоління.

Життєвий цикл, який уміщається в один онтогенез, називають *простим*. Він притаманний усім прокариотам і більшості одноклітинних еукаріот, що живуть від «поділу і до поділу», а також усім істотам, що досягли вершини еволюційних сходів: насінним рослинам і більшості тварин. Однак у примітивних організмів: деяких найпростіших, грибів, спорових рослин, кишковопорожнинних й окремих груп плоских червів — все не так просто — їм притаманний *складний життєвий цикл*. Адже для того, щоб замкнути «коло життя», вони мають утворити два та навіть більше поколінь живих істот, які відрізняються за будовою, ведуть різний спосіб життя і, головне, — по-різному розмножуються. Зазвичай за складного життєвого циклу відбувається чергування генерацій, що відтворюються нестатевим і статевим способами. Тому шлях від зиготи і до зиготи в організмів зі складним життєвим циклом пролягає через декілька поколінь. Слід зазначити, що складні життєві цикли доволі різноманітні і в найпростіших, рослин, тварин та грибів мають свої певні особливості.

Життєві цикли в найпростіших. Розглянемо чергування поколінь в одноклітинних еукаріотів. У більшості видів одноклітинних тварин і рослин життєві цикли прості. Вони починаються утворенням нової клітини й закінчуються її поділом. Однак у паразитичних найпростіших і деяких одноклітинних водоростей життєвий цикл відбувається із чергуванням поколінь, що пов'язано з наявністю у них статевого процесу та утворенням зиготи.

Згадаймо життєвий цикл *малярійного плазмодія* (іл. 28.1).

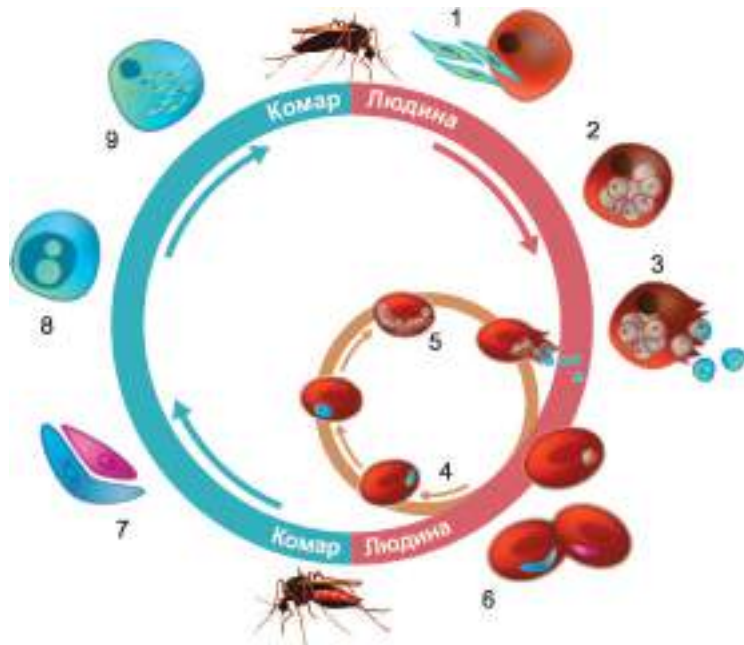
Після потрапляння в організм людини клітини плазмодія зазнають кількох етапів нестатевого розмноження, спочатку в печінці, а потім в еритроцитах. Згодом з них утворюються клітини — попередники гамет, які, однак, повністю дозрівають лише в тілі комара. Там і відбувається статевий процес — гамети зливаються. Зигота, що утворилася, покривається оболонкою, в ній відбувається величезна кількість поділів, а згодом — з'являються тисячі нових плазмодіїв.

Життєві цикли грибів. Життєвий цикл грибів відбувається завжди з чергуванням диплоїдних і гаплоїдних фаз. Диплоїдна стадія, як і в одноклітинних еукаріотів, — це лише швидкоплинний період стану зиготи, який завершується мейозом з утворенням гаплоїдних спор.

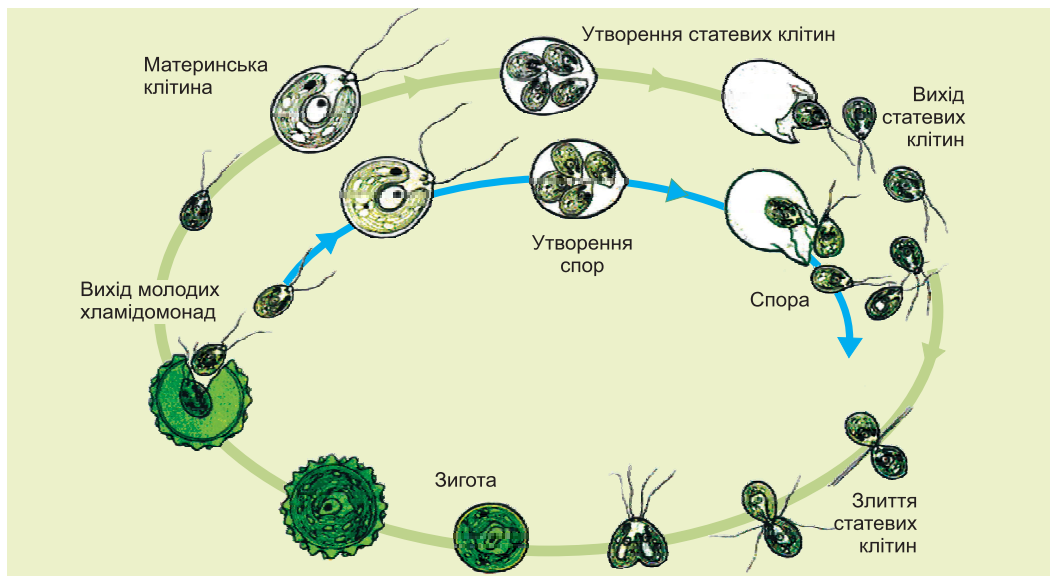
Життєві цикли водоростей. У водоростей життєвий цикл може бути простим або складним. Наприклад, в одноклітинній зеленої водорості *хламідомонади* клітина спочатку зазнає множинного поділу (іл. 28.2).

Іл. 28.1. Життєвий цикл малярійного плазмодія:

- 1–2 — розвиток плазмодія на першому етапі життєвого циклу;
- 3 — розмноження у клітинах печінки;
- 4–5 — розвиток і розмноження в еритроцитах;
- 6 — розвиток і дозрівання гамет;
- 7 — копуляція;
- 8 — зигота;
- 9 — розмноження після статевого процесу



Згодом її оболонка руйнується, і з неї виходять численні гамети, що зовні не відрізняються. Вони попарно зливаються, утворюючи зиготи, у яких відбувається мейоз і формуються чотири гаплоїдні клітини, які й виходять назовні.



Іл. 28.2. Статеве (зелена лінія) та нестатеве (синя лінія) розмноження хламідомонади

У багатоклітинної зеленої водорості спірогіри тіло складається з гаплоїдних клітин. Спірогіра постійно утворює спори, які зовні не відрізняються. Спори одного типу проростають у нову гаплоїдну особину, інші — попарно зливаються, утворюю-

ючи диплоїдну зиготу. У ній шляхом мейозу формуються гаплоїдні спори, що дають початок новій багатоклітинній слані (згадайте: так науковою мовою називають тіло багатоклітинної водорості чи гриба). Перший випадок — це простий життєвий цикл, другий — складний, з чергуванням гаплоїдної та диплоїдної фаз життя.

Гаметофіт та спорофіт — обов'язкові покоління спорових рослин. У вищих спорових рослин, до яких належать мохи, плауни, хвощі й папороті, завжди складний життєвий цикл, пов'язаний з чергуванням двох поколінь: *гаметофіту* (від гамета та грец. *фітон* — рослина) та *спорофіту* (від *спора* і *фітон*). Гаметофіт — це рослинний організм, тіло якого складається з гаплоїдних клітин, що розмножується статеву, причому гамети утворюються шляхом мітотичних поділів. Спорофіт — диплоїдне нестатеве покоління рослини, розмноження якого відбувається спорами, що утворюються внаслідок мейозу.

Розглянемо більш детально життєвий цикл спорових рослин на прикладі *папороті чоловічої* — звичайної рослини наших лісів (іл. 28.3).



Іл. 28.3. Спорофіт папороті чоловічої (а) та життєвий цикл рослини (б):

1 — спорангій; 2 — стадія чотирьох спор; 3 — молодий гаметофіт; 4 — зрілий гаметофіт; 5 — антеридій; 6 — архегоній; 7 — сперматозоїд; 8 — яйцеклітина; 9 — зигота; 10 — молодий спорофіт; 11 — зрілий спорофіт; 12 — спорангій

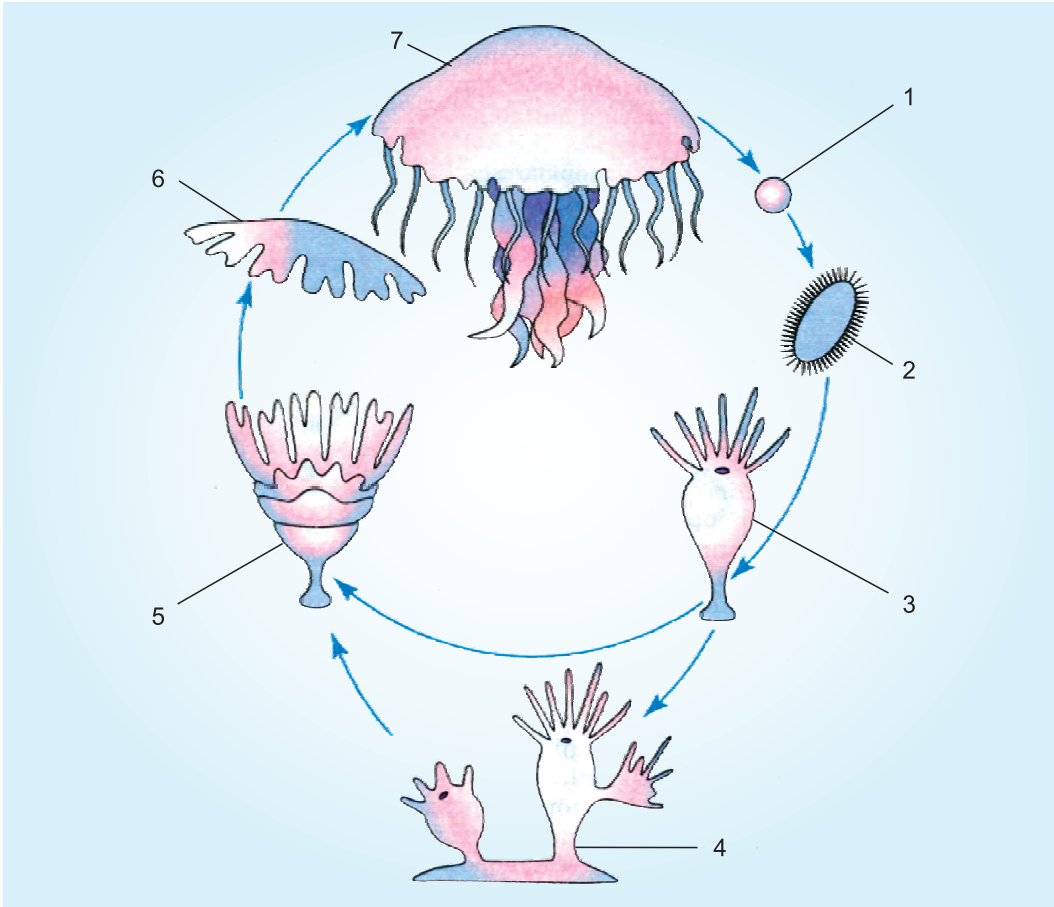
Спорофіт папороті — це власне і є рослина з великими розсіченими листовими пластинками. Спори у неї утворюються у спеціальних органах *спорангіях*, що містяться на нижньому боці листової пластинки. Тут відбувається мейоз, і гаплоїдні спори падають на землю, проростаючи і вигляді *заростку* — невеличкої, розміром близько 5 мм зеленої пластинки, на якій одночасно утворюються чоловічі та жіночі гамети. Заросток — це і є гаметофіт папороті. Чоловічі гамети мають джгутики і за наявності вологи (дощ, роса тощо) здатні активно рухатися й запліднювати нерухомі яйцеклітини. Із зигот згодом проростають спорофіти й у такий спосіб життєвий цикл замикається.

У мохів у життєвому циклі переважає гаплоїдна стадія — гаметофіт. В інших спорових рослин: плаунів, хвощів, папоротей домінує диплоїдна генерація — спорофіт.

У насінних рослин гаметофіт як окремий організм зникає, адже він перетворюється лише на окремі клітини. Редукованим чоловічим гаметофітом вважають пилкові зерна, а жіночим — зародковий мішок.

Складні життєві цикли тварин принципово відрізняються від життєвих циклів рослин тим, що це чергування поколінь диплоїдних організмів, у яких гаплоїдна фаза зведена до гамет, а гамети — це лише клітини організму, а не окремі істоти. Тому складні життєві цикли тварин можуть бути пов'язані лише з чергуванням диплоїдних поколінь, які відрізняються лише способом розмноження.

Типовим прикладом чергування статевого й нестатевого розмноження є складний життєвий цикл, властивий гідроїдним та сцифоїдним медузам (іл. 28.4).



Іл. 28.4. Життєвий цикл сцифоїдної медузи:

1 — яйце; 2 — личинка; 3 — зрілий поліп; 4 — нестатеве розмноження (брунькування поліпа); 5 — нестатеве розмноження (утворення медуз на поліпі); 6 — незріла медуза; 7 — зріла медуза

У них стадія поліпа — це нестатева фаза життєвого циклу, на етапі якої розмноження відбувається шляхом брунькування, а медузоїдна стадія — статевая. Саме в медуз формуються статеві органи, де утворюються гамети, після злиття яких утворюється зигота, з якої розвивається личинка, а згодом поліп.



Іл. 28.5. Фіна ехінокока (з кожної головки виростає окрема особина дорослого паразита)

Складний життєвий цикл зі зміною нестатевого й статевого розмноження також відомий в окремих групах стрічкових черв'їв, зокрема в *ехінокока*, який у дорослому стані в остаточному господарі розмножується статевим шляхом, а на личинковій стадії — шляхом фрагментації *фіни* (особлива личинкова стадія, притаманна цій групі черв'їв) (іл. 28.5).

Другим різновидом складного життєвого циклу, притаманного лише для тварин, слід вважати чергування нормальної й партеногенетичної форм статевого розмноження.

Згадаймо *печінкового сисуна*, схема життєвого циклу якого властива усім представникам класу Сисуні.

У цих паразитів нормальне статеве розмноження відбувається в тілі остаточних господарів, якими є різні види хребетних тварини, тоді як личинки відтворюються партеногенетичним шляхом у тілі молюсків, які є їхніми проміжними господарями.



Життєвий цикл — це всі фази одного або декількох онтогенезів, що послідовно відбуваються одна за одною від виникнення зиготи й до статевого розмноження, результатом якого стає нова генерація зигот. У такий спосіб життєвий цикл замикається. **Простий життєвий цикл збігається з одним онтогенезом, складний пов'язаний з чергуванням поколінь різних організмів, що за будовою, способом життя і розмноженням принципово відрізняються.** Складні життєві цикли одноклітинних еукаріот, грибів і спорових рослин пов'язані з чергуванням гаплоїдної та диплоїдної статевих фаз. У тварин складний життєвий цикл — це зазвичай чергування статевих і нестатевих фаз диплоїдних організмів.



1. Чим поняття «життєвий цикл» відрізняється від поняття «онтогенез»? 2. Назвіть групи організмів, у яких спостерігається складний життєвий цикл? 3. У чому полягають особливості життєвого циклу одноклітинних еукаріот? 4. Що таке гаметофіт і що таке спорофіт? 5. Назвіть головну відмінність життєвих циклів спорових рослин від складних життєвих циклів тварин?



• Чому в життєвому циклі більш примітивних істот переважають гаплоїдні стадії, а у більш розвинутих — диплоїдні?

Лабораторне дослідження № 2

Тема. Дослідження фаз мітозу (на прикладі клітин кореня цибулі).

Мета: виявити мітотичні поділи в клітинах меристеми корінця цибулі.

Обладнання та матеріали: мікроскоп, готові постійні мікропрепарати корінців цибулі.

Теоретична частина. Мітоз, або непрямий поділ клітин, що властивий всім еукаріотним клітинами, пов'язаний з руйнуванням ядерної оболонки та спіралізацією хромосом. Відбувається він у кілька етапів. Профаза — розчинення ядерної оболонки; хромосоми добре

помітні у вигляді скупчень. Метафаза — хромосоми складаються з двох хроматид, що мають спільну центромеру, розташовані вздовж екватора клітини. Анафаза — хроматиди розтягуються до полюсів клітини. Телофаза — ще одна клітина, у якій починають формуватися два ядра; хромосоми деспіралізуються і майже непомітні.

Завдання: 1) виявити всі чотири фази мітозу; 2) замалювати схеми клітин на всіх чотирьох фазах поділу.

Хід роботи.

1. Налаштуйте мікроскоп на потрібне збільшення.
2. Розгляньте готові мікропрепарати корінців цибулі.
3. Знайдіть клітини на різних стадіях поділу.
4. Замалуйте схеми клітин на чотирьох стадіях мітозу.
5. Заповніть протокол лабораторного дослідження:
 - за якого збільшення мікроскопа проводилося дослідження;
 - що спостерігали під час дослідження;
 - біологічне значення цього явища.

Практична робота № 2

Тема. Розв'язування елементарних вправ з реплікації, транскрипції і трансляції.

Теоретична частина. Однією з головних властивостей живих систем є матричний синтез, під час якого полімерна біомолекула синтезується точно відповідно до плану будови іншої, яка слугує матрицею для цього синтезу. В клітинах виділяють три типи матричних процесів: реплікація — синтез ДНК, причому матрицею для синтезу нових ланцюгів слугують старі; транскрипція — синтез РНК за матрицею ДНК; трансляція — синтез білків за матрицю іРНК. Транскрипція і трансляція — це процеси, пов'язані з дією генів, адже кожен структурний ген кодує певний поліпептид, а одиницею кодування слугує триплет — три сусідні нуклеотиди ДНК чи РНК. Їх певна комбінація відповідає тій чи іншій амінокислоті. Крім того, існують спеціальні стоп-кодони, які не кодують амінокислоти, однак припиняють синтез білка. Для того щоб точно визначити, який триплет яку амінокислоту кодує, існує спеціальна таблиця генетичного коду.

Хід роботи.

Виконайте завдання та вкажіть правильні відповіді.

1. Запишіть послідовність нуклеотидів на другому ланцюзі ДНК, якщо послідовність на першому — АГЦТАЦЦГААТТ.
2. Укажіть кількість нуклеотидів ДНК, що кодують білок, який складається зі 135 залишків амінокислот.
3. Визначте кількість амінокислот, які кодують послідовність, що складається із 966 нуклеотидів.
4. Запишіть послідовність нуклеотидів іРНК, якщо послідовність у ДНК — АТГЦЦЦГГТААТ.
5. Укажіть послідовність нуклеотидів іРНК, якій відповідає така послідовність амінокислот: лейцин — гліцин — аланін.
6. Укажіть кількість амінокислот, які кодують послідовність нуклеотидів у іРНК: АУГУАЦЦЦГГУААААУУАГ.

Тестові завдання до теми 4

4.1. Речовина, яка є зберігачем спадкової інформації

- А** РНК **Б** ДНК **В** білки **Г** нуклеопротейди

4.2. Генетичний код — це

- А** послідовність нуклеотидів ДНК **Б** сукупність генів
В структурні гени **Г** послідовність нуклеотидів тРНК

4.3. Термін, який є синонімом поняття триплет

- A** локус **Б** ген **В** геном **Г** кодон

4.4. Назва процесу синтезу ДНК

- A** реплікація **Б** репарація **В** транскрипція **Г** мутація

4.5. Процес, який слід вважати першим етапом на шляху синтезу білка

- A** процесинг **Б** сплайсинг **В** транскрипція **Г** реплікація

4.6. Ділянка іРНК, яка є повністю комплементарною до ділянки ДНК АГТТГГЦЦТ

- A** ТАААЦЦГА **Б** АТТТГГЦЦТ **В** УАААЦЦГА **Г** УТТТГГЦЦА

4.7. Назва специфічної ділянки нуклеотидів на передньому кінці молекули тРНК

- A** кодон **Б** антикодон **В** триплет **Г** локус

4.8. Назва фази мітозу, на якій відбувається спіралізація хромосом

- A** метафаза **Б** профаза **В** телофаза **Г** метафаза

4.9. Кількість хроматид, яка міститься в ядрі клітини людини після закінчення мітозу, якщо диплоїдний набір становить 46 хромосом

- A** 23 **Б** 46 **В** 69 **Г** 92

4.10. Кількість хромосом, яка міститься в клітині людини під час профазі-II мейозу, якщо диплоїдний набір становить 46 хромосом

- A** 22 **Б** 23 **В** 46 **Г** 92

4.11. Фаза мейозу, на якій відбувається кросинговер

- A** профаза-I **Б** профаза-II **В** метафаза-I **Г** метафаза-II

4.12. Складний життєвий цикл наявний

- A** у молочної планарії **Б** в інфузорії тувельки
В у малярійного плазмодія **Г** у мадрепорового корала

4.13. Стадія розвитку, яка відповідає гаструлі

- A** стадія дроблення **Б** стадія порожньої кулі
В стадія двошарового зародку **Г** стадія закладки органів

4.14. Увiдповiднiть термiни та їх визначення

- | | |
|-----------------------|------------------------------------|
| 1 репарація | A вiдновлення структури ДНК |
| 2 реплікація | Б синтез білка |
| 3 транскрипція | В біосинтез РНК |
| 4 мутація | Г біосинтез ДНК |
| | Д порушення структури ДНК |

4.15. Увiдповiднiть термiни та їх науковий змiст

- | | |
|--------------------|---|
| 1 триплет | A група нуклеотидів, що кодує певну амінокислоту |
| 2 локус | Б ділянка ДНК, що кодує певний поліпептид |
| 3 ген | В генетичний матеріал клітини |
| 4 антикодон | Г особлива ділянка тРНК |
| | Д місце гена на хромосомі |

4.16. Установіть послідовність перетворення статевих клітин під час сперматогенезу:

1 сперматогоній → **2** сперматоцит → **3** сперматиди → **4** сперматозоїди

4.17. Установіть правильну послідовність фаз мітозу:

1 профаза → **2** метафаза → **3** анафаза → **4** елофаза

Тема 5. ЗАКОНОМІРНОСТІ УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК

§ 29. Генетика та її методи

Терміни й поняття: *генетика, методи генетики (гібридологічний, цитогенетичний, генеалогічний, близнюковий, метод дослідження патології обміну речовин, дерматогліфічний, молекулярно-генетичний).*

Генетика — наука про закономірності спадковості й мінливості організмів. Дивно, але наука про одну з головних властивостей живого — здатність успадковувати й зберігати в ряду поколінь свої ознаки — одна з наймолодших біологічних наук. Предметом вивчення цієї науки є не лише спадковість — здатність зберігати ознаки своїх батьків, а й мінливість — здатність набувати нових ознак, відмінних від батьківських. Таким чином, *генетика* (від грец. *генезис* — походження, народження) — наука про закони й механізми спадковості й мінливості.

Люди завжди інтуїтивно розуміли: усі організми передають свої особливі ознаки потомству: у кішки народяться лише кошенята, з яєць курки завжди вилупляться курчата, а не каченята, а з насіння рису ніколи не виросте пшениця. Проте наукові засади про ці, здавалося б, очевидні істини, почали формуватися лише трохи більше, ніж 100 років тому. У 1906 р. англійський натураліст Вільям Бетсон (1861–1926) увів назву нової науки — *генетика*, а в 1909 р. данський ботанік Вільгельм Йогансен (1857–1927) запропонував термін *ген*, який став ключовою ознакою всієї науки.

Зараз ген розглядають як структурну й функціональну одиницю спадковості. Раніше вважали, що один ген визначає успадкування однієї ознаки. Але подальші дослідження показали, що багато ознак кодуються цілими групами генів. Однак незалежно від того, яка кількість генів відповідає за одну ознаку, завжди один ген визначає розвиток одного поліпептидного ланцюга, тому сьогодні прийнята концепція «один ген — один поліпептидний ланцюг».

Генетика — одна з наймолодших і найбільш перспективних біологічних наук, яка поділяється на багато дисциплін. Залежно від об'єкта дослідження виокремлюють генетику рослин, тварин, мікроорганізмів, людини; залежно від використовуваних методів — *молекулярну генетику, біохімічну генетику, цитогенетику*; залежно від проблеми, яка стоїть перед окремим напрямом, — *еволюційну генетику, генетику розвитку, фізіологічну* й інші. Генетичні дослідження широко застосовують у медицині, сільському господарстві, мікробіологічній промисловості. Існують цілі галузі прикладної генетики — *селекція* і *генетична інженерія*.

Як це не дивно, але головні завдання сучасної генетики не відрізняються від тих завдань, які ставили перед собою дослідники і 100 років тому. Це з'ясування: 1) механізмів зберігання й передавання генетичної інформації від батьків потомству; 2) способів і шляхів реалізації цієї інформації у вигляді ознак і властивостей організмів; 3) різноманітності типів, причин і механізмів мінливості всіх живих істот (іл. 29.1); 4) взаємозв'язку спадковості й мінливості як рушійних факторів еволюції органічного світу.

Методи досліджень у генетиці.

Гібридологічний метод, або метод схрещування. Саме він дозволив Грегорові Менделю закласти підвалини генетики. Із часів відкриття перших генетичних за-



Іл. 29.1. Мінливість на прикладі метеликів родини Оксамитниці

кономірностей і до сьогодні він є основним у генетичних дослідженнях. Суть методу проста: проводять схрещування організмів, що мають ознаки, якими цікавиться дослідник, потім в отриманого потомства вивчають закономірності успадкування цих ознак. За допомогою гібридологічного методу можна встановити головне: яким чином успадковується та чи інша ознака.

Цитогенетичний метод. Для його застосування потрібен світловий мікроскоп з високою роздільною здатністю, адже доведеться вивчати структури, що містяться в ядрі.

Суть цитогенетичного методу — це передусім вивчення кількості, форми й розмірів хромосом у тварин і рослин (іл. 29.2). Цитогенетичний метод широко застосовують у медицині для виявлення причин ряду захворювань у людини, оскільки іноді причиною хвороби є порушення кількості хромосом або «поломки» окремих хромосом, зміни їхньої структури.



Іл. 29.2. Хромосоми людини під час метафази мітозу в світловому мікроскопі

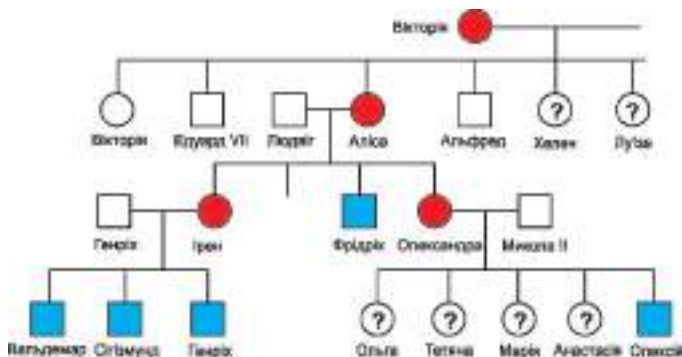
Генеалогічний метод, або метод родоводів. Суть цього методу полягає у вивченні зміни будь-якої ознаки в ряді поколінь індивіда (*пробанда*). Для цього потрібно вивчити якнайбільше число родичів однієї родини.

За генеалогічного методу складають родовід, у якому відзначаються всі члени родини, що мають досліджувану ознаку (іл. 29.3).

Вивчаючи родовід, можна з тією чи іншою ймовірністю передбачити народження хворої дитини, можна вгадати, яку зовнішність матиме потомство, навіть

те, які риси характеру успадкує дитина від своїх предків. За генеалогічного методу досліджень вивчають як патологічні ознаки, хвороби, так і успадкування звичайних ознак: наприклад, зовнішності людини: колір очей, кучерявість волосся, форма носа тощо.

Іл. 29.3. Успадкування генетичної хвороби гемофілії в англійській королівській династії (синім кольором позначені хворі особи, червоним — особи, які не хворіють, але мають гени, що визначають цю хворобу)



Близнюковий метод. Суть цього методу полягає в спостереженні за однойцевими (монозиготними) близнюками. Нагадаємо, що поява таких близнюків можлива в тому випадку, якщо на перших етапах поділу зигота розпадається на дві або більше частин — у результаті з кожної такої частини розвивається самостійний організм. Однак усі ці організми матимуть однаковий генетичний апарат.

Під час порівняння близнюків вивчають подібність і відмінність генетично обумовлених ознак: це колір очей і шкіри, форма й колір волосся, форма рота, носа, губ, вушних раковин, родинні плями, малюнок шкірних візерунків на пальцях і долонях. Крім того, метод включає аналіз здоров'я, вивчення перебігу різних захворювань у близнюків. Вивчаючи близнюків, можна визначити, як зовнішнє середовище впливає на розвиток організму, які зміни викликаються умовами життя — адже генетичні набори близнюків однакові й усі відмінності в будові їхніх тіл, характерах, здоров'ї викликані суто впливом зовнішнього середовища.

Метод дослідження патології обміну речовин використовують для масових обстежень людей, серед яких потрібно виявити тих, хто страждає від спадкових порушень обміну речовин. В усьому світі в перші дні життя в новонароджених дітей беруть мазок крові з великого пальця ноги, потім за допомогою спеціальних хімічних реактивів визначають, чи немає в дитини такого спадкового порушення обміну речовин, як фенілкетонурія — захворювання, пов'язаного з порушенням обміну амінокислот, що супроводжується нагромадженням фенілаланіну і його токсичних продуктів. Це призводить до тяжкого ураження організму і розумової відсталості. Цю спадкову хворобу необхідно визначати на найбільш ранніх строках життя, бо дотримуючи спеціальної дієти (продукти практично не повинні мати фенілаланіну), дитина виростає здоровою, тобто генетичний дефект залишається, але зовні хвороба не проявляється й дозволяє людині вести нормальний спосіб життя.

Дерматогліфічний метод — метод дослідження шкірних візерунків на долонях. Як відомо, кожна людина має чітко індивідуальний малюнок на кінчиках пальців і долонях. Усі знають про те, що відбитки пальців досліджують у криміналістиці,

проте лише небагатьом відомо, що дерматогліфічний метод застосовують і в генетичних дослідженнях. Річ у тім, що особливості шкірного малюнка долонь мають своєрідні відмінності у хворих зі спадковими хромосомними патологіями.



Іл. 29.4. Відбиток лівої долоні людини

Сам метод дуже простий: на поверхню скляної пластинки наносять чорну типографську фарбу, потім людина притискає долоні до цієї пластинки й робить відбиток долонь на аркуші паперу (іл. 29.4). Далі фахівець вивчає відбиток долонь через збільшувальне скло й оцінює його специфічні ознаки.

Молекулярно-генетичні методи. Ці методи — досягнення біологічної науки другої половини ХХ ст. Вони дозволяють вивчити саму структуру ДНК, визначити подібність або відмінність різних геномів чи їхніх ділянок, виявити ушкодження в структурі ДНК і навіть розшифрувати первинну послідовність основ у ДНК або РНК.

Хоча такі дослідження мають різноманітні методи й методики, та спільним

для всіх них є: 1) із досліджуваного організму виділяють зразок ДНК; 2) застосовують генно-інженерні технології.

Для отримання ДНК використовують будь-які клітини, що містять ядра. У людини це найчастіше лейкоцити крові або клітини слизової оболонки рота (для їх отримання доволі легко провести шпателем по внутрішній поверхні щоки), а якщо вивчають геном ембріона, використовують невеличку кількість навколоплідної рідини.

Перевага молекулярно-генетичних методів полягає в тому, що для їх проведення необхідна незначна кількість матеріалу. Вивчити структуру генома організму можна за одною-єдиною волосиною, найменшим слідом крові, малесеньким шматочком шкіри або кістки. Для проведення молекулярно-генетичних досліджень майже завжди використовують лише невеликий фрагмент ДНК, який містить гени, що цікавлять дослідника.



Генетика — це наука про спадковість і мінливість, головним завданням якої слід вважати з'ясування механізмів зберігання й передавання генетичної інформації від батьків потомству та способів реалізації цієї інформації у вигляді ознак і властивостей організмів. Найвідомішими та найпоширенішими є такі методи генетичних досліджень: **гібридологічний, цитологічний, генеалогічний, близнюковий, дерматогліфічний, метод дослідження патології обміну речовин, молекулярно-генетичні методи.**



1. Що таке генетика?
2. Які завдання постають перед сучасною генетикою?
3. Який з методів генетики неможливо використовувати у вивченні спадковості людини? Чому?
4. Який метод генетики потребує для досліджень найменшу кількість біологічного матеріалу?



- Який з методів генетики здається вам найбільш точним, а який — найменш точним? Чому?
- Які нові завдання можуть постати перед генетикою в другій половині XXI століття?

§ 30. Генетична термінологія та символіка

Терміни й поняття: ген, локус, алель, доміантний алель, рецесивний алель, гомозигота, гетерозигота, геном, генотип, фенотип, гібрид.

Ген, локус, алель та інші основні поняття генетики. Як уже зазначалося, предметом вивчення генетики як науки є закономірності успадкування ознак і властивостей організму. Спадкові властивості організму передаються в процесі розмноження. За статевого розмноження спадкову інформацію несуть статеві клітини, за безстатевого — соматичні, однак і в тому, і в іншому випадку носіями спадкової інформації є гени, або, як їх ще називають, одиниці спадковості. Ген — це стрижневе поняття генетики. Кожен ген розташований у певній хромосомі, де займає чітко визначене місце (іл. 30.1). Місце в хромосомі, її ділянка, де розташований конкретний ген, має назву *локус* (від лат. *локус* — місце, ділянка).

Кожна соматична клітина організму містить диплоїдний набір хромосом (він позначається $2n$, де n — число хромосом у гаплоїдному наборі), причому всі хромосоми попарні.



Іл. 30.1. Однакове розміщення локусів у парних хромосомах

Гени, що впливають на різний прояв тієї самої ознаки (жовте й зелене забарвлення насіння гороху, блакитні та карі очі людини, білі та червоні пелюстки в маку-самосійки) і розташовані в однакових локусах парних (гомологічних) хромосом, називають *алельними генами*, або *алелями* (від грец. *аллелон* — взаємний). Різні алелі гена розташовуються в тих самих локусах гомологічних хромосом. Хромосома може містити лише один алель будь-якого гену.

У кожній парі гомологічних хромосом одна — батьківська, друга — материнська. Відповідно, один алель кожного гена потомство одержує від батька, другий — від матері.

Алельний стан генів завжди альтернативний, тобто алелі мають різні й часто протилежні властивості. Наприклад, колір пелюсток білий або червоний, людина нормальна на зріст або карлик, кіт рудий або чорний — усі ці ознаки визначаються різними алелями того самого гена (іл. 30.2). До того ж один алель сильніший за другий. Тобто якщо в однієї особини наявні два алелі — зовні буде проявлятися лише один з них, більш сильний. Такий алель називають *домінантним* (від лат. *домінантіс* — панівний). Він пригнічує прояв другого



Іл. 30.2. Руде або чорне забарвлення котів зумовлене дією алельних генів

алеля того самого гена (іл. 30.3). Більш «слабкий» алель, який пригнічується, називають *рецесивним* (від лат. *рецесус* — відступ).

В обох гомологічних хромосомах можуть міститися однакові (обидва домінуючі або обидва рецесивні) алелі гена. Такий організм називають *гомозиготним* (від лат. *гомо* — однаковий і *зигота*). Зрозуміло, що зовні буде проявлятися та єдина ознака, яку визначають ці алелі. Але різні алелі одного гена можуть міститися в інший спосіб: в одній хромосомі — домінуючий алель, у другій — рецесивний. Такий організм називають *гетерозиготним* (від лат. *гетеро* — різний і *зигота*). У цьому випадку зовні буде проявлятися «сильний» ген, що визначає домінуючу ознаку.



Іл. 30.3. Гени, що визначають карий колір очей (а), домінують над алелями, що визначають блакитний чи сірий колір (б)

Алельні гени в гомозиготному чи гетерозиготному стані становлять генотип, відповідно гомозиготний чи гетерозиготний. Також генотипом називають усю сукупність генів, властивих даній особині. Сукупність ознак і властивостей організму, які є наслідком прояву генотипу, має назву *фенотип* (від грец. *файно* — являю і тип).

Таким чином, фенотип може бути певного генотипу (зелений колір очей, або низький зріст, або весь загальний вигляд особини, наприклад, високий блондин із синіми очима, курносим носом, широким обличчям і пухлими губами).

Разом з тим, у генетиці часто використовують ще один близький за своїм значенням до поняття «генотип» термін — *геном* (від. англ. *genome*) — генетичний матеріал повного гаплоїдного набору хромосом організму. У чому ж відмінність між термінами «геном» і «генотип»? Річ у тім, що ДНК живих організмів, крім генів, містить і додаткові ділянки, які виконують інші різноманітні функції, а значення деяких з них навіть і зараз залишається загадковим.

Вплив середовища на успадкування або прояв ознак. На формування ознак впливає не лише генотип організму, але й навколишнє середовище, у якому цей організм формується. Деякі ознаки зовсім не піддаються впливу навколишнього середовища й залежать лише від генетичного коду: наприклад, група крові людини не зміниться під впливом того, у яких умовах формувався організм. Однак прояв більшості ознак організму піддається впливу навколишнього середовища. Наприклад, якщо людина генетично визначена високою і кремезною, але в процесі формування його організму не вистачати поживних речовин чи мікроелементів, то сформується квола людина середнього зросту.

Символіка, яку використовують у генетиці. Як ми вже дізналися з попереднього параграфа, основним у генетиці був і залишається гібридологічний метод. Це пов'язано з тим, що головним питанням генетики є механізми передачі ознак

батьківських форм своєму потомству, а дослідити їх можна перш за все за допомогою саме цього методу.

Не всяке схрещування в генетиці прийнято називати гібридизацією, а лише таке, у якому особини, що схрещуються, чітко відрізняються за своїми генотипами. Потомство, що буде отримане від таких схрещувань, називають гібридним (від лат. *гібрида* — помісь), а окремі особини — гібридами.

Для запису результатів схрещувань у генетиці використовують спеціальні символи. Гени однієї алельної пари, позначають однією буквою латинського алфавіту, причому домінантні алелі позначають великою літерою, наприклад **A**, а рецесивні малою — **a**. Таким чином, запис **AA** означатиме, що це гомозиготний генотип (організм за цією ознакою), що містить два домінантні алелі гена «**A**». Запис **aa** — гомозиготний генотип (організм), що містить два рецесивні алелі цього ж гену. Запис **Aa** — це гетерозиготний генотип (організм).

Схема схрещування, записана за допомогою символів

Батьки	♀	♂
P (генотипи батьків)	AA	aa
гамети батьків	A	a
F1	Aa	

Під час складання схеми схрещування у генетиці батьківське покоління позначають буквою **P** (від лат. *parentis* — батьки). Знаком \times позначають схрещування. У схемі на перше місце ставлять жіночу стать, яку позначають символом ♀ (дзеркало Венери), на друге — чоловічу ♂ (щит і спис Марса).

Гібриди, що утворилися в результаті схрещування, позначають буквою **F** (від лат. *філії* — діти). Перше покоління — **F1**, друге — **F2** і т. д.

Під час утворення гамет у результаті мейозу гомологічні хромосоми (тобто такі, у яких відповідно перебувають алельні гени) розходяться в різні гамети. Гомозиготний (**AA** або **aa**) організм має два однакові алельні гени, і всі гамети несуть саме цей ген. Гомозиготні особини дають один тип гамет. Гетерозиготний організм має гени **A** та **a** й утворює рівне число гамет, які несуть перший і другий ген. Гетерозиготна особина продукує, на відміну від гомозиготної, два типи гамет.



Генетика — наука з чітко прописаною термінологією, вивчаючи яку потрібно визначитися зі змістом головних генетичних понять: **ген, локус, алель, генотип, фенотип, гомозигота й гетерозигота**. Застосування цих термінів потребує використання спеціальної символіки.



1. Що є одиницею спадковості? **2.** Які гени називають алельними? **3.** У чому полягає відмінність між поняттями генотип і геном? **4.** Яку особину в генетиці називають гібридною, а яку — ні? **5.** Що визначає фенотип, а що — генотип? Чому?



• Чому для позначення поняття «одиниця спадковості» використали грецьке слово *genos* (генос) — рід?

• Чому саме генетика потребує дуже чіткої термінології?

§ 31. Досліди Грегора Менделя. Перший і другий закони Менделя

Терміни і поняття: числі тлінії, гібридні схрещування, перший та другий закони Менделя, закон чистоти гамет.

Вдалий вибір об'єкта досліджень Грегором Менделем (1822–1884). Таким об'єктом став горох посівний (іл. 31.1). Річ у тім, що цей вид — самозапильний, а тому всі рослини, які Г. Мендель вибрав для своїх досліджень, мали гомозиготні



Іл. 31.1. Горох посівний — об'єкт досліджень Г. Менделя

алелі генів за всіма тими ознаками, які його цікавили. Мимоволі вчений використовував у дослідженнях чисті лінії рослин, які й досі є ідеальними моделями для проведення гібридологічних дослідів. *Чиста лінія* — це група організмів, які гомозиготні за всіма генами. У рослин чисті лінії одержують шляхом самозапилення.

Г. Мендель проводив серії дослідів, у яких послідовно вивчав успадкування: лише якоїсь однієї ознаки, тобто, висловлюючись сучасними термінами, — ставив *моногібридні схрещування* (від лат. *моно* — один і *гібрида* — помісь); відразу двох ознак — *дигібридні схрещування* (від лат. *ді* — два й *гібридні*); багатьох ознак — *полігібридні схрещування* (від лат. *полі* — багато й *гібридні*).

Перший закон Менделя. Суть дослідів Г. Менделя була дуже проста: він саджав жовту й зелену горошини, вирощував з них рослини, потім штучно переносив пилок із квітів однієї рослини на квіти другої та рахував, яка кількість зелених і жовтих горошин буде наявна в кожному бобі. Такі самі дослідів Г. Мендель проводив із гладкими й зморшкуватими горошинами та гороху з іншими ознаками.

Найбільш дивним виявилось те, що в потомстві завжди дотримувалася математична закономірність між числом жовтих і зелених або гладеньких і зморшкуватих горошин (іл. 31.2).



Іл. 31.2. Горошини: жовті й зелені, гладенькі та зморшкуваті

У першому поколінні потомства, отриманому від схрещування двох різних ліній гороху (рослин лінії, яка завжди давала лише зелені горошини, і рослин лінії, усі горошини якої були жовтими), усі горошини завжди були лише жовтого кольору.

Саме це спостереження дозволило Менделеві встановити закономірність, яка згодом була названа першим законом Менделя, або законом однаковості гібридів першого покоління: перше покоління гібридів одноманітне за фенотипом й генотипом.

Г. Мендель просто констатував факт: усі гібриди першого покоління однако-ві й подібні до однієї з батьківських форм. На жаль, сам учений не міг знати із чим пов'язана така закономірність. Однак ми з вами можемо з'ясувати суть цього явища — цитологічні основи закону.

У гороху жовтий колір насіння є домінантним, а зелений — рецесивним. Оскільки для дослідів використовували чисті лінії, усі рослини з жовтими горошинами були домінантними гомозиготами за геном забарвлення насінини (назвемо цей алель буковою **A**), тобто мали генотип **AA**. Усі рослини із зеленими плодами були рецесивними гомозиготами за цим геном і мали генотип **aa**. Як відомо, до кожної статевої клітини переходить лише одна хромосома з пари, тому гамети рослин з жовтими насінинами давали гамети **A**, а рослини із зеленими насінинами — гамети **a**. Поєднання таких гамет в одній зиготі дало генотип **Aa**, що був однако-вим для всіх нащадків (адже гамети були лише таких типів: **A** і **a**, тож виходить, що ніякі комбінації, крім **Aa**, неможливі).

Таким чином, перше покоління рослин, отриманих від схрещування особин різних чистих ліній, було гетерозиготним за геном забарвлення насінин і мало жовте забарвлення горошин — відповідно до того, що домінантний алель (що визначає жовтий колір) домінує над рецесивним (що визначає зелений колір).

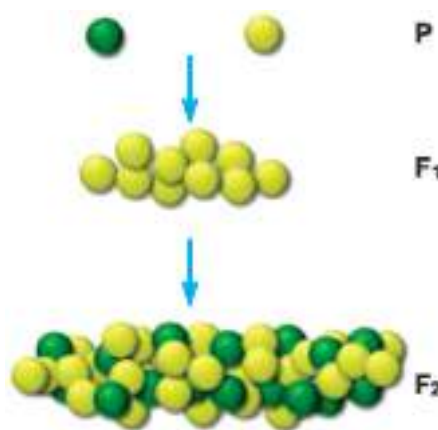
Другий закон Менделя та закон чистоти гамет. Подальші дослідження Г. Мендель уже проводив з горошинами отриманих ним гібридів. Знову посадивши горошини, що були отримані від гібридних схрещувань, він так само почав схрещувати між собою рослини, що з них вирости. Дочекавшись дозрівання насінин, підраховував співвідношення зелених і жовтих горошин (іл. 31.3).

Вийшло, що скільки б горошин не зав'язалося на рослинах, завжди чверть горошин були зеленими, а три чверті — жовтими.

Це спостереження згодом сформулювали як другий закон Менделя — *закон розщеплення*: при схрещуванні гібридів першого покоління між собою, спостерігають розщеплення ознак у співвідношенні 3 : 1.

Результат дослідів дозволив Менделю зробити приголомшливий для того часу висновок: ознака, яка зникає у гібридів першого покоління, насправді нікуди не зникає, а лише на деякий час пригнічується й проявляється у другому гібридному поколінні.

Крім того, Г. Мендель зробив ще одне революційне припущення, яке потім було повністю підтвержене: він висунув так звану *гіпотезу чистоти гамет*. У той час, коли не було нічого відомо про те, що носіями інформації є



Іл. 31.3. Схема схрещувань, які стали підставою для першого та другого законів Менделя:

P – батьки, **F₁** – гібриди першого покоління, **F₂** – гібриди другого покоління, які були отримані після схрещування гібридів першого покоління в собі

гени, про те, що існують хромосоми, і набір їх парний, про те, що таке мейоз, Мендель зумів побачити — під час утворення гібридів спадкові фактори (так він називав гени) не змішуються, а зберігаються в незмінному вигляді. Крім того, він визначив, що в кожену гамету потрапляє лише один фактор, тобто гамети «чисті» від змішування ознак.

Таким чином, у гібрида наявні обидва фактори — домінантний і рецесивний, але прояв ознаки визначає, який з факторів домінантний, а рецесивний — той, що пригнічується. Те, що Мендель назвав гіпотезою чистоти гамет, сьогодні називають *законом чистоти гамет* — тобто всі постулати цієї гіпотези підтверджені й доведені. Цей закон формулюється так: *під час утворення статевих клітин у кожену гамету потрапляє лише один алель з пари алелів даного гена*.



Експерименти Г. Менделя з гібридизації рослин гороху з різним забарвленням горошин довели, що **ознаки, які визначаються одним геном, нікуди не зникають, а можуть знову з'являтися в ряду поколінь**. Причому їх поява має цілком визначену математичну закономірність.

Напідставі цих експериментів згодом були сформульовані принципи передачі спадкових ознак від батьківських організмів до потомства, які отримала назву першого та другого законів Менделя. Згідно з цими принципами **гібриди першого покоління є одноманітними за фенотипом, а у другому поколінні відбувається розщеплення за фенотипом у співвідношенні 3 : 1**. Також ці досліді стали підставою для закону чистоти гамет, згідно з якими **до кожної гамети потрапляє лише один з алелів**.



1. Чому чисті лінії рослин є найбільш вдалим моделями для проведення схрещувань? **2.** Як формулюється перший закон Менделя? **3.** Чому при схрещуванні гібридів першого покоління у потомства спостерігається розщеплення 3 : 1 за фенотипом? **4.** У чому полягає головна ідея закону чистоти гамет?



• Що в роботі Менделя стало результатом геніальної спостережливості й наукового аналізу, а в чому вченому просто поталанило?

§ 32. Решітка Пеннета. Третій закон Менделя

Терміни і поняття: *решітка Пеннета, третій закон Менделя, менделюючі ознаки, менделевське успадкування.*

Решітка Пеннета. Для того щоб вивчити цитологічну основу процесів, що відбуваються при схрещуванні гібридів першого покоління й одержанні гібридів другого покоління, для наочності й стислості доцільно вдатися до запису схем за допомогою генетичної символіки й використовувати спеціальну модель — *решітку Пеннета*. Це таблиця, до якої зручно записувати, які гамети беруть участь у розмноженні та які гібриди будуть отримані в різних комбінаціях цих гамет. Цю схему записів генотипів запропонував англієць Реджинальд Пеннет (1875–1967). Зробити решітку Пеннета зовсім нескладно: необхідно намалювати таблицю, у якій кількість стовпців відповідає числу варіантів гамет, що продукуються батьківським організмом, а кількість рядків — числу варіантів гамет, що продукуються організмом матері. Потім ліворуч по вертикалі в рядки записують генотипи материнських гамет, а вгорі, у стовпці, — варіанти батьківських гамет. На перетині вертикальних і горизонтальних ліній записують генотипи нащадків й одержують усі варіанти можливих гібридних форм та їх кількісні співвідношення. Таким

чином, більш складно описати прийоми, за допомогою яких утворюють решітку Пеннета, ніж насправді її скласти. Тому краще як приклад розібрати класичний дослід Менделя із зеленими й жовтими горошинами.

Перше схрещування. Переносимо пилок з рослини з бобами зеленого кольору на маточку квіток рослини з бобами жовтого кольору. Генотип гороху з жовтими насінинами — **AA**, гороху із зеленими насінинами — **aa**. Гамети батьківського організму — лише **a**, гамети материнського організму — лише **A**.

Складемо решітку Пеннета, з якої випливає, що усі гібридні особини першого покоління **F1** мають генотип **Aa**, хоча за фенотипом усі рослини, подібні до материнських особин, мають жовте забарвлення бобів.

Друге схрещування. Гібриди першого покоління з генотипом **Aa**. Гамети батьківського організму — **A** або **a**. Гамети материнського організму — **A** або **a**.

Складаємо решітку Пеннета, з якої чітко видно, що гібриди другого покоління **F2** мають три різні генотипи: **AA**, **Aa** і **aa**. Співвідношення всіх можливих генотипів таке: **1AA : 2Aa : 1aa**, тоді як фенотипів лише два: жовті (це рослини з генотипами **AA** й **Aa**) і зелені (рослини з генотипом **aa**). Співвідношення фенотипів: 3 жовті : 1 зелена.

Генотипи й фенотипи потомків у першому поколінні моногібридного схрещування

♂	A
♀	Aa <i>жовті</i>

♂	A	a
♀	AA <i>жовті</i>	Aa <i>жовті</i>
	Aa <i>жовті</i>	aa <i>зелені</i>

Третій закон Менделя. Подальші свої дослідження Мендель трохи ускладнив. Тепер, замість статистики успадкування однієї ознаки, учений почав вивчати успадкування двох незалежних ознак, вибравши першою ознакою добре відоме забарвлення горошин, а другою — форму горошин, яка буває або гладенькою (домінантна ознака), або зморшкуватою (рецесивна ознака).

Таке схрещування, за якого вивчають закономірності успадкування двох ознак, називають дигібридним.

Схрестивши чисті лінії домінантної й рецесивної форм, Мендель одержав у першому поколінні в цілковитій відповідності до закону однаковості гібридів першого покоління, рослини з плодами домінантного типу: усі горошини були жовті й гладенькі.

Схрещування гібридів першого покоління між собою дало дуже цікавий результат: горошини отриманих рослин були чотирьох фенотипів, які розподілялися в такому співвідношенні: 9 частин гладеньких жовтих горошин (повністю домінантний

фенотип), 3 частини гладеньких зелених горошин (за однією ознакою домінантний за другою — рецесивний), 3 частини зморшкуватих жовтих горошин (також за однією ознакою домінантний за другою — рецесивний) і одна частина зморшкуватих зелених горошин (повністю рецесивний).

Розгляньмо генетичні аспекти схрещування цих рослин за допомогою решітки Пеннета, позначивши ген, відповідальний за забарвлення горошин, буквою **A**, а ген, відповідальний за їхню форму, — буквою **B**. Батьківські форми — чисті лінії за обома ознаками: жовті гладенькі (**AABB**) і зелені зморшкуваті (**aabb**).

Відповідно при запиленні рослини з жовтими гладенькими бобами пилом зеленої зморшкуватої будуть утворюватися наступні гамети: гамети матері **AB** і гамети батька **ab**.

Складаємо решітку Пеннета для першого покоління, згідно з якою покоління **F1** усі мають генотип **AaBb** і домінантний фенотип жовті гладенькі.

Після другого схрещування вже буде чотири гамети у материнського організму (**AB**, **Ab**, **aB**, **ab**) і ті самі гамети (**AB**, **Ab**, **aB**, **ab**) у батьківського.

Складаємо решітку Пеннета.

Генотипи й фенотипи потомків у першому поколінні дигібридного схрещування

♀ \ ♂	♂	AB
♀	♀	AaBb жовті гладенькі

Генотипи й фенотипи потомків у другому поколінні дигібридного схрещування

♀ \ ♂	♂	AB	Ab	aB	ab
♀	♀	AABB жовті гладенькі	AABb жовті гладенькі	AaBB жовті гладенькі	AaBb жовті гладенькі
♀	♀	AABb жовті гладенькі	AAbb жовті зморшкуваті	AaBb жовті гладенькі	Aabb жовті зморшкуваті
♀	♀	AaBB жовті гладенькі	AaBb жовті гладенькі	aaBB зелені гладенькі	aaBb зелені гладенькі
♀	♀	AaBb жовті гладенькі	Aabb жовті зморшкуваті	aaBb зелені гладенькі	aabb зелені зморшкуваті

Як не дивно, але в гібридів другого покоління з'явилися нові форми горошин, яких не було ані в батьківських організмів, ані в «прабатьківських»: зелені гладенькі й жовті зморшкуваті горошини. З такого, начебто, дріб'язкового спостереження Мендель дійшов геніального висновку: різні ознаки успадковуються незалежно одна

від одної й можуть створювати нові комбінації ознак у потомства. Це і є *третій закон Менделя, закон незалежного успадкування*: кожна пара ознак успадковується незалежно від інших пар.

Таким чином, якщо розглядати в отриманих гібридів успадкування кожної ознаки окремо, то одержимо, що співвідношення гладеньких і зморшкуватих горошин становить 12 : 4, жовтих і зелених — теж 12 : 4. Скоротимо ці числа на 3 й одержимо ті самі співвідношення — 3 : 1, що й для гібридів другого покоління при моногібридному схрещуванні. Отже, за дигібридного схрещування в другому поколінні утворюється 9 генотипів і лише 4 фенотипи.

Ознаки, які успадковуються відповідно до законів Менделя, називають *моногенними* (кодуються одним геном), або *менделюючими ознаками*, а явище дотримання законів Менделя у ході будь-якого схрещування — *менделівським успадкуванням*.



У своїх експериментах Г. Мендель довів, що різні **ознаки успадковуються незалежно одна від одної**. Це стало підставою для третього закону Менделя, який отримав назву **закону незалежного спадкування** — кожна пара ознак успадковується незалежно від інших пар.



1. Що називають решіткою Пеннета? 2. За яких типів схрещувань виконуються перший, другий і третій закони Менделя? 3. У чому полягає наукова сутність третього закону Менделя? 4. Яким є співвідношення фенотипів і генотипів при дигібридному схрещуванні?



- У генетиці є термін «менделюючі ознаки». Що він означає?

§ 33. Взаємодії генів

Терміни та поняття: домінування, неповне домінування, кодомінування, групи крові, летальні гени, аналізуюче схрещування

Відхилення від законів Менделя. Пригадаймо ще раз: ознаки, які успадковуються відповідно до законів Менделя, називають менделюючими, а явище дотримання законів Менделя в ході будь-якого схрещування — менделівським успадкуванням. Навіщо потрібні такі назви? Хіба не всі ознаки, що мають чіткий прояв, успадковуються згідно із законам Менделя? Виявляється, що інколи під час постановки гібридологічних дослідів спостерігають розщеплення ознак у потомства, яке відмінне від менделівського. Існують такі правила та навіть закони генетики, які поєднують загальним поняттям «уявні відступи від законів Менделя». Чому уявні? Тому що лише фенотиповий прояв ознак відрізняється від менделівського успадкування, тоді як генотипи успадковуються точнісінько за законами Менделя. Виявляється, що всі ці відхилення зазвичай є наслідком взаємодії генів між собою. Розглянемо, до чого можуть призвести взаємодії між собою алельних генів.

Взаємодії алельних генів.

Домінування. Це класичний найпростіший тип взаємодії генів: один алель — домінантний, другий — рецесивний. Домінантний алель пригнічує дію рецесивного, тому й гетерозиготи й домінантні гомозиготи фенотипово мають домінантну ознаку.

У другому поколінні гібридних схрещувань рецесивні гомозиготи вищеплюються в співвідношенні до домінантних 1 : 3.

Усі досліди Менделя — це яскраві приклади повного домінування.

Неповне домінування. Це тип взаємодії генів, за якого в гетерозиготи проявляється не домінантна ознака, а щось середнє, проміжне між домінантним і рецесивним.

Яскравий приклад такого типу взаємодії генів — успадкування забарвлення квітки в садовій рослині *космеї* (народна назва «розпатлана панянка»). Один гомозиготний генотип, умовно кажучи, домінантний забезпечує малинове забарвлення пелюсток, умовно рецесивний — біле, а гетерозиготні рослини мають біло-рожеве забарвлення віночка (іл. 33.1).



Іл. 33.1. Три фенотипи забарвлення квіток *космеї* зумовлені трьома різними генотипами: *a* — умовна домінантна гомозигота $\bar{A}\bar{A}$, *б* — гетерозигота $\bar{A}a$, *в* — умовно рецесивна гомозигота aa .

За неповного домінування гетерозиготний організм легко впізнати, на відміну від повного домінування, коли зовні неможливо розрізнити, де гетерозигота, а де — домінантна гомозигота. Саме тому за неповного домінування число фенотипів відповідає числу генотипів. У першому поколінні всі гібриди мають бути однаковими гетерозиготами за генотипом і мати проміжне рожеве забарвлення. У другому поколінні розщеплення ознак буде 1 : 2 : 1. Одна частина рослин з червоними пелюстками (домінантні гомозиготи), дві частини рожевих рослин (гетерозиготи) та одна частина білих квіток — рецесивні гомозиготи.

Генотипи й фенотипи батьківських рослин, їхні гамети, генотип і фенотип потомства за неповного домінування в забарвленні квітів *космеї*

	♀	♂
Батьки:	$\bar{A}\bar{A}$ (малинове)	aa (біле)
	×	
Гамети	\bar{A}	a
F1	$\bar{A}a$ (рожеве)	

**Розщеплення за фенотипом та генотипом у другому поколінні
зібридних схрещувань за неповного домінування
забарвлення квітів у космеї**

♀ \ ♂	\hat{A}	a
\hat{A}	$\hat{A}\hat{A}$ (малинове)	$\hat{A}a$ (рожеве)
a	$\hat{A}a$ (рожеве)	aa (біле)

Прикладами неповного домінування можуть бути випадки успадкування забарвлення тіла в андалузських курей ($\hat{A}\hat{A}$ — чорні, aa — білі, $\hat{A}a$ — сріблясті) або довжина колосків у пшениці ($\hat{A}\hat{A}$ — довгі, aa — короткі, $\hat{A}a$ — середньої довжини).

Кодомінування. Це тип взаємодії алельних генів, за яким кожний з алелів проявляє свою дію і жоден алель не пригнічує дію іншого. У результаті цього в гетерозигот формується нова ознака.

Типовим прикладом такої взаємодії алельних генів є успадкування груп крові в людини. Згадаймо, що групи крові визначають за наявності на поверхні еритроцитів специфічних речовин аглютиногенів. Це можуть бути аглютиноген А, аглютиноген В, або взагалі ніякого аглютиногену немає. Відповідно ці ознаки кодуються трьома алелями, що позначаються: **A**, **B**, **0**. Два перші — домінантні, а третій — рецесивний. Алелі можуть утворювати шість генотипів: **AA**, **A0**, **BB**, **B0**, **00**, **AB**. При цьому утворюються 4 фенотипи, які називають *групами крові*. Перша група крові — це рецесивна гомозигота **00**; друга група крові — домінантна гомозигота **AA** і гетерозигота **A0** за участю домінантного алеля; третя група крові — домінантна гомозигота за участю другого домінантного алеля **BB** і гетерозигота **B0** за участю домінантного алеля; четверта група крові — гетерозигота **AB**. Оскільки останню групу крові визначає наявність у генотипі домінантних алелів, то жоден з них не може пригнічувати інший, а тому вони співіснують в одному фенотипі. Це означає, що така особина має як аглютиноген **A**, так і аглютиноген **B**. Це і є *кодомінування*.

Цікаво, що та сама система груп крові, що й у людини (**AB0**), є в шимпанзе. В інших людиноподібних мавп є аглютиногени **A** і **B**, але відсутня група крові **0**. Подібність крові людини й шимпанзе настільки значна, що за дотримання відповідності груп крові, кров шимпанзе можна безболісно переливати людині або від людини — шимпанзе і такі випадки відомі в науці.

Особливості успадкування груп крові давно використовують у судовій експертизі (встановлення сумнівного батьківства). Річ у тім, що особина, яка має I групу крові, ніколи не може мати дітей з IV групою і навпаки. Також у чоловіка та жінки з II групою крові не може бути дітей з III та IV групами крові. У цьому можна переконатися, якщо детально проаналізувати таблицю 6.

Летальні алелі як особливий випадок порушень менделівського успадкування. Іноді відхилення від менделівського успадкування бувають викликані *летальними алелями*.

Схема успадкування груп крові та генотипів, які визначають у людини

Група крові	♂	I (00)	II (AA, A0)	III (BB, B0)	IV (AB)
♀	Гамети	00	A0	B0	AB
I (00)	00	I (00)	I, II (A0, 00)	I, III (00, B0)	II, III (AA, A0, B0)
II (AA, A0)	A0	I, II (00, A0)	I, II (AA, A0, 00)	(будь-яка)	II, III, IV (AA, A0, B0, AB)
III (BB, B0)	B0	I, III (00, B0)	будь-яка	I, III (00, B0, BB)	II, III, IV (A0, B0, AA, AB)
IV (AB)	AB	II, III (A0, B0)	II, III, IV (AA, A0, AB, B0)	II, III, IV (A0, AB, BB, B0)	II, III, IV (AA, BB, AB)

Летальними називають алелі, за фенотипового прояву яких організм гине найчастіше на ранніх стадіях онтогенезу. Зазвичай летальні гени рецесивні й відповідно до летального наслідку призводить їх гомозиготне сполучення. У випадку, якщо летальний ефект має гомозиготний стан гена, розщеплення ознак у народженого потомства буде також відрізнятися від менделівського.

Хоча летальні алелі можуть викликати загибель організмів на стадіях гамети, зиготи, ембріону, дитинчат, проте, якщо простежити розподіл генотипів, урахувавши й загиблі організми, воно буде точно відповідати законам Менделя.



Іл. 33.2. Лисиця з платиновим забарвленням хутра

Приклад летальних алелів — успадкування забарвлення хутра в лисиць. Ознака платинового забарвлення шерсті в лисиць контролюється, як вважають, домінантним геном А (іл. 33.2), а відповідно рецесивний ген визначає сріблясто-чорне забарвлення (іл. 33.3). При схрещуванні платинових лисиць між собою спостерігають розщеплення на платинових і сріблясто-чорних особин у співвідношенні 2 : 1. З'ясувалося, що домінантні гомозиготи АА вмирають на ранніх етапах ембріогенезу, оскільки алель А є летальним. У гетерозигот смертельна дія цього гена компенсується дією рецесивного алеля а, а домінантні гомозиготи, що не мають такого «підстрахування», гинуть.



Іл. 33.3. Лисycja-чорнобурка

Розщеплення за фенотипом та генотипом у другому поколінні гібридних схрещувань у лисycю з різним типом забарвлення шерсті

♂ \ ♀	A	a
A	умирають	Aa (платинове)
a	Aa (платинове)	aa (сріблясто-чорне)

Визначення генотипу особи, що має домінуючий фенотип. За фенотипом особи не завжди можна визначити її генотип.

Часто зовнішні ознаки домінуючої гомозиготи й гетерозиготи збігаються. Як бути в цьому випадку? У самозапильних рослин генотип можна визначити в наступному поколінні: якщо гомозигота була домінуючою — її нащадки будуть точно нагадувати батьківську особину, а якщо батьківська рослина була гетерозиготною — у нащадків відбудеться розщеплення ознак відповідно до другого закону Менделя.

Для тих тварин або рослин, у яких самозапліднення неможливе, застосовують так зване *аналізуюче схрещування* — схрещування особи, генотип якої потрібно визначити, з аналізатором — рецесивною гомозиготою за досліджуваною ознакою.

Розщеплення за фенотипом та генотипом за аналізуючого схрещування (випадок, коли материнська особина, яку аналізують за домінуючим фенотипом, є гетерозиготою)

♀ \ ♂		Гамети	
		A	a
Гамети	a	Aa	aa
	a	Aa	aa

Якщо аналізована особина була гомозиготою, то всі потомки будуть мати домінуючий фенотип, якщо гетерозиготою — 50 % особин будуть мати рецесивний генотип.



Випадки успадкування ознак, які поєднують загальним поняттям «**уявні відступи від законів Менделя**», можуть бути викликані різноманітними типами взаємодії генів, а також наявністю летальних генів, які за гомозиготних сполучень призводять до загибелі організму. Для виявлення генотипу особин, що мають домінуючий фенотип, застосовують **аналізуюче схрещування** — схрещування особи, яку аналізують з особою, що є рецесивною гомозиготою за генами, які відповідають за прояв досліджуваної ознаки.



1. Як ви знаєте типи взаємодій алельних генів?
2. Скільки фенотипів у першому й другому поколінні за повного та неповного домінування?
3. Що таке кодомінування? Наведіть приклад такого типу успадкування ознаки.
4. Яке буде розщеплення фенотипів у випадку летальних генів?
5. Яка особина в аналізуючих схрещуваннях виступає аналізатором?



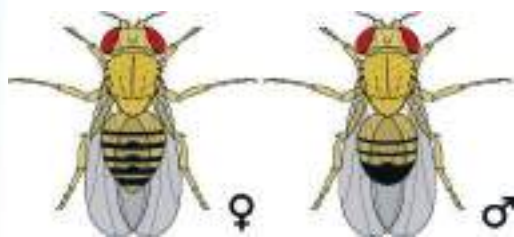
- Яка роль явища наддомінування в еволюції?
- Чому одні ознаки успадковуються за типом повного домінування, а інші — за типом неповного домінування?

§ 34. Хромосомна теорія спадковості. Зчеплене успадкування. Кросинговер

Терміни й поняття: хромосомна теорія спадковості, зчеплене успадкування, група зчеплення, закон Моргана, морганіда, генетична карта хромосоми, зчеплені зі статтю ознаки.

Хромосомна теорія спадковості та її положення. Надзвичайно великий внесок у становлення генетики як науки зробив американський біолог Томас Хант Морган, який за свої відкриття здобув у 1933 р. Нобелівську премію «За відкриття, пов'язані з роллю хромосом у спадковості».

Як не дивно, чимало наукових відкриттів базуються не лише на міцних знаннях, талантові й завзятості. Часто для успіху необхідні інтуїція й удача. Т. Морган для своїх досліджень вибрав не просто вдалий, а ідеальний об'єкт, що став згодом найвідомішою генетичною моделлю, —

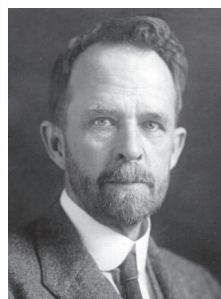


Іл. 34.1. Плодова мушка дрозофіла

— плодову мушку дрозофілу. Це мушки, які рояться над розрізаним кавуном або яблуками, які ви залишите на кілька годин неприкритими (іл. 34.1).

Ідеальним об'єктом для генетичних досліджень дрозофіла стала за такими властивостями: вона має лише 4 пари хромосом, її життєвий цикл становить

10–20 діб — за цей період одна самка дає близько 400 нащадків. Плодових мушок недорого утримувати й годувати та легко вивчати протягом усього їхнього життя, тривалість якого становить лише 3 місяці.



Томас Морган
(1866–1945)

Томас Морган почав свої дослідження у 1908 р. Спочатку він просто виловлював дрозофіл сачком у фруктових крамницях, господарі яких потішалися над диваком-мухоловом. Тридцятип'ятиметрова кімната для дослідів, так звана «fly-room» (мушача кімната) у Колумбійському університеті (США, Нью-Йорк), де Морган проводив свої дослідження, була геть заставлена пляшками, банками, плошками й колбами, у яких літали тисячі мух, копирсалися ненажерливі личинки, а скло посудин було обліплене лялечками дрозофіл. Пляшок увесь час не вистачало, тож ходили чутки, що рано-вранці дорогою до лабораторії Морган і його студенти викрадали пляшки для молока, які жителі Манхеттену виставляли ввечері за двері.

Т. Морган вивчав вирощених мух і виявив, що вони помітно відрізняються зовні: крім звичайних червонооких мух, існують білоокі, жовтоокі та навіть мухи з рожевими очима. Бувають мухи з довгими й короткими крилами та мухи зі скривлени-

ми зморщеними крильцями, які нездатні літати. Дрозофіли відрізнялися за формою й забарвленням черевця, ніг, антен і навіть щетинок, що вкривають їхнє тіло.

Морган схрещував дрозофіл, стежачи за успадкуванням величезної кількості всіх цих ознак. Аналізуючи результати спостережень, учений дійшов висновку, що деякі ознаки передаються нащадкам разом. Виходячи з цього, Морган припустив, що гени, які визначають ці «зчеплені» ознаки, не розкидані по всій клітині, а зчеплені в якомусь «острівці». Виходило, що всі спадкові ознаки дрозофіл поділяються на чотири «зчеплені» групи. Уже було відомо, що в дрозофіли чотири пари хромосом, і вчений дійшов висновку, що гени локалізуються в хромосомах: ланцюжках із сотень генів у кожній хромосомі. Він стверджував: більша відстань між двома генами в хромосомі, то більша ймовірність розриву ланцюга між ними, а близько розташовані гени розділяються дуже рідко.

Крім того, Морган виявив, що деякі ознаки передаються лише самцям або лише самкам. Учений дійшов висновку, що ці гени локалізовані в хромосомах, що визначають розвиток статі — так він відкрив існування статевих хромосом.

Результатом цього дослідження над дрозофілами стала хромосомна теорія спадковості, що була сформульована ще на початку ХХ ст. і залишається актуальною досі. Головний постулат цієї теорії такий: *гени містяться в хромосомах і розташовані там у лінійному порядку.*

З часів Моргана хромосомна теорія постійно розвивалась і в сучасному вигляді містить кілька положень.

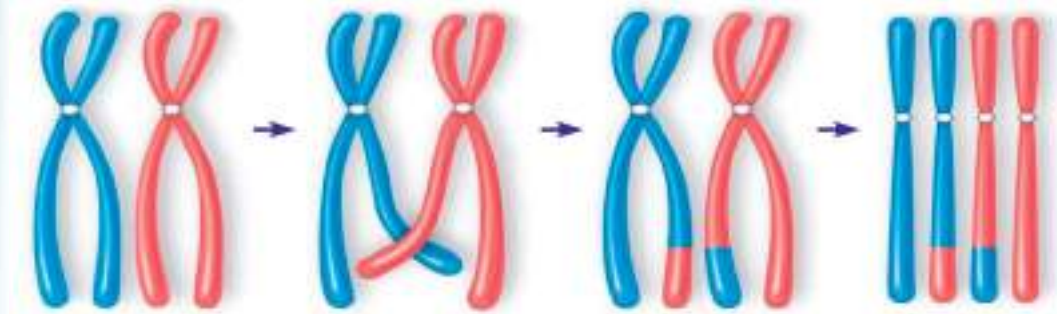
- Гени містяться в хромосомах.
- Кожний ген займає в хромосомі певне місце.
- Гени в хромосомах розташовані в лінійному порядку.
- Кожна хромосома являє собою групу зчеплення.
- Число груп зчеплення дорівнює гаплоїдному числу хромосом.
- Між гомологічними хромосомами відбувається обмін алейними генами.
- Відстань між генами пропорційна відсотку кросинговеру між ними.

Зчеплення ознак, або закон Моргана. Гени, розташовані в різних хромосомах, передаються потомству незалежно один від одного відповідно до законів Менделя. Однак досліді Моргана показали, що гени, розташовані в одній хромосомі, передаються потомству разом і утворюють групи зчеплення. На основі спостережень було сформульоване правило, яке згодом почали називати законом Моргана: *гени, що локалізовані в одній хромосомі, успадковуються спільно, або зчеплено.* Відповідно успадкування генів, що містяться в одній хромосомі, називають *зчепленим успадкуванням.*

Число груп зчеплення генів відповідає числу хромосом гаплоїдного набору. Таким чином, у людини нараховують 23 групи зчеплення генів, у дрозофіли — 4, у бізона — 53, у собаки — 39, а в папороті ужовника густорядного — 660!

Кросинговер, або уявний виняток із закону Моргана. Т. Морган виявив і відхилення від закону зчепленого успадкування. Серед гібридів другого покоління обов'язково є невелике число особин з перекомбінацією тих ознак, гени яких містяться в одній хромосомі. Як це можна пояснити?

Учений зробив припущення про те, що перекомбінація ознак може бути викликана *кросинговером* (від англ. *cross* — схрещування і *over* — над) — обміном ділянками гомологічних хромосом при кон'югації під час профазі-I мейозу. Гени, що містяться в одній хромосомі, зчеплені не абсолютно, адже кросинговер може відбутися у будь-якій ділянці хромосоми (іл. 34.2).



Іл. 34.2. Схема одинарного кросинговеру

Очевидно: що далі розташовані один від одного локуси в одній хромосомі, то частіше між ними може відбуватися обмін ділянками й навпаки — що ближче розташовані локуси, то рідше між ними відбувається кросинговер. Локуси, розташовані в хромосомі пліч-о-пліч, зазнають кросинговеру вкрай рідко, тобто в таких ознак — повне зчеплення.

Дослідження Томасом Морганом явища кросинговеру. Дослід, на основі якого Морган зробив своє відкриття кросинговеру, був такий. Учений провів чергове схрещування дрозофіл: муху, гомозиготну за двома домінантними ознаками (сіре тіло й нормальні крила), схрестив з мухою, гомозиготною за двома рецесивними ознаками (мутація «чорне тіло» й мутація «короткі крила»). Відповідно до першого закону Менделя, усі гібриди першого покоління були гетерозиготами, що мають фенотиповий прояв домінантних ознак: сіре тіло й нормальні крила.

Далі Морган провів аналізуюче схрещування між гібридами першого покоління й мухами — рецесивними гомозиготами за обома ознаками.

Учений очікував у результаті одержати один варіант із двох можливих:

1) якщо гени, що визначають ці ознаки, локалізовані в різних хромосомах та успадковуються незалежно одні від одних, очікувалося б одержання рівної кількості таких мух: 25 % сірих з нормальними крилами, 25 % чорних з короткими крилами, 25 % сірих з короткими крилами та 25 % чорних з нормальними крилами;

2) якщо гени, що визначають ці ознаки, містяться в одній хромосомі й успадковуються зчеплено, то в результаті буде 50 % мух із сірим тілом і нормальними крилами та 50 % мух із чорним тілом і короткими крилами.

Насправді в результаті аналізуючого схрещування з'явилося чотири типи нащадків: 41,5 % сірих з довгими крилами; 41,5 % чорних з короткими крилами; 8,5 % сірих з короткими крилами; 8,5 % чорних з довгими крилами.

Тобто результат наближався до розподілу 50 : 50, із чого можна було зробити

висновок, що гени все-таки локалізовані в одній хромосомі. Разом з тим утворилися 8,5 особин з новим, відмінним фенотипом: сіре тіло й короткі крила й 8,5 % особин з новим фенотипом: чорне тіло й довгі крила. Усього таких нових фенотипів з'явилось $8,5\% + 8,5\% = 17\%$. Тобто 17 % особин, отриманих під час аналізуючого схрещування, мали перекомбінацію ознак, викликану кросинговером. Загальний відсоток особин, чий фенотип є результатом кросинговеру, називають частотою кросинговеру. Частота кросинговеру характеризує відстань між генами.

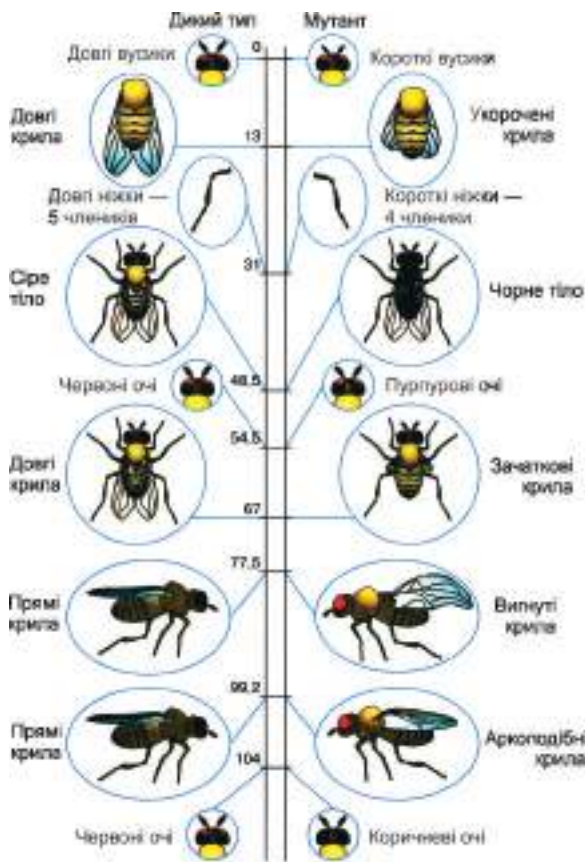
Що більший відсоток кросинговеру, то далі розташовані один від одного гени в хромосомі й навпаки — що менший відсоток кросинговеру, то ближче розташовані гени.

Генетична карта. Морган та його співробітники запропонували, використовуючи гібридологічний метод і підраховуючи частоту кросинговеру, будувати генетичні карти, на яких буде зазначений порядок генів у хромосомі й відстань між ними. Таким чином генетична карта хромосоми — це схема взаємного розташування й відстані між генами, локалізованими в цій хромосомі. Одиницею вимірювання на цій карті є 1 % кросинговеру, або *морганіда* (іл. 34.3).

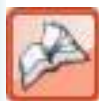
Якщо відстань 50 морганід і більше, ознаки успадковуються незалежно, навіть якщо вони локалізовані в одній хромосомі. У розглянутому випадку з мухами-дрозофілами вийшло, що 17 % мух мали перекомбінацію ознак «колір тіла» й «форма крил», а це означає, що відстань між геном, що відповідає за колір тіла мухи й геном, що відповідає за форму крил, становить 17 морганід.



Одним з найважливіших відкриттів біології ХХ ст. є формулювання **хромосомного закону спадковості**, згідно з яким усі гени розташовані в хромосомах у лінійному порядку. Також було встановлено, що лише гени, що містяться в різних хромосомах, успадковуються незалежно відповідно до законів Менделя, а ті, що містяться в одній хромосомі, успадковуються разом. Однак і тут є виняток — кросинговер — обмін ділянками гомологічних хромосом в процесі їхньої кон'югації.



Іл. 34.3. Генетична карта хромосоми дрософіли (по шкалі — відстань між генами у морганідах)



1. У чому сутність хромосомної теорії спадковості? Назвіть її основні положення.
2. Що таке група зчеплення?
3. Скільки груп зчеплення в людині й дріозофілі?
4. Чи існує абсолютне зчеплення між генами, що містяться в одній хромосомі?
5. Як будують генетичні карти хромосом?



- Чому виник кросингвер?
 - Чи може кросингвер проходити безпосередньо через ген?
 - * Під час аналізуючого схрещування самки дріозофілі, що гетерозиготна за двома локусами (AaBb) було отримане таке потомство: AaBb — 48 %, Aabb — 2 %, aaBb — 2 %, aabb — 48 %. Як розташовуються гени в хромосомі?
 - * У результаті схрещувань установили, що частота кросингверу між генами сіановить: C — B = 8 %; D — F = 6 %; A — B = 9 %; A — F = 4 %; A — C = 1 %; C — D = 3 %; A — D = 2 %. Спробуйте визначити порядок генів у хромосомі.
- * — для допитливих.

§ 35. Стаття з точки зору генетики. Успадкування ознак, зчеплених зі статтю

Терміни і поняття: аутосоми, статеві хромосоми, X- та Y-хромосома, гомогаметна та гетерогаметна статі, ознаки, зчеплені зі статтю, успадкування зчеплене зі статтю, гемофілія, дальтонізм, ознаки залежні від статі.

Хромосомні набори статевих і соматичних клітин. Статеві клітини, або гамети, містять у два рази менше хромосом, ніж соматичні клітини. Такий набір хромосом у статевих клітинах називають *гаплоїдним* (на відміну від *диплоїдного* — подвійного набору соматичних клітин, один з яких походить від материнської гамет, а другий — від батьківської). При цьому всі хромосоми материнського набору, мають повністю відповідні за складом генів, формою та розмірами хромосоми батьківського організму. Ці хромосоми називають гомологічними й саме вони кон'югують між собою під час мейозу, утворюючи тетради.

Наприклад, хромосомний набір людини складається з 23 пар гомологічних хромосом, однакових за розмірами та формою. 22 пари хромосом називаються *аутосомами* (від грец. *аутос* — сам і *сома* — тіло). Крім того, є ще одна пара особливих гомологічних хромосом, які розрізняються за розмірами й будовою, однак в процесі мейозу кон'югують одна з одною, їх називають *статевими хромосомами*. У цих хромосомах містяться гени, які визначають стать організму.

Статеві хромосоми та визначення статі. Ще наприкінці XIX ст. учені, вивчаючи хромосомні набори комах, побачили відмінності у структурі хромосом самців та самок. У самок були дві великі, добре помітні метацентричні хромосоми, а в самців — лише одна така хромосома, а замість другої великої — крихітна «хромосомка», що нагадувала величезну крапку. Надалі такі відмінності в каріотипах вдалося виявити в багатьох інших видів тварин та в людини.



Іл. 35.1. Каріотипи дріозофілі: самка (ліворуч), самець (праворуч)

Спочатку функція цих хромосом була незрозумілою, а тому їх так і назвали: велику хромосому — X-хромосомою, а дрібну — Y-хромосомою (іл. 35.1). Надалі було встановлено: у людини й дріозофілі X-хромосома містить фак-

тори жіночої статі, а Y-хромосома — чоловічої. Якщо особина має дві X-хромосоми, які вона отримує від гамет батька й матері, то це особина жіночої статі, якщо X та Y (X — від матері, Y — від батька), то це самець.

Але, як відомо, з будь-якого правила має виняток. У птахів *гетерогаметною*, тобто такою, що має XY-хромосомний набір, є жіноча стать, а чоловіча стать — *гомогаметна* (XX). У перетинчастокрилих комах (зокрема бджоли межоносної) самці з'являються з незапліднених яєць і тому є гаплоїдними, тоді як самки диплоїдні, оскільки народжуються із запліднених яєць (іл. 35.2).

У прямокрилих (коники, сарана) самці в одному з двох гаплоїдних наборів мають на одну хромосому менше. А в риб взагалі стать може визначатися після запліднення. Якщо ікринки чи личинки розвиваються в найбільш придатних для життя умовах, то співвідношення статей у потомстві буде рівним, а якщо в екстремальних умовах — воно буде різко відхилятися у бік самців.

Успадкування, зчеплене зі статтю.

Доволі багато властивостей організмів закодовані в генах, що містяться в статевих хромосомах, причому їх успадкування має свої особливості.

Це пов'язано з тим, що статеві хромосоми, хоча і кон'югують між собою, однак є не чітко гомологічними — вони різняться за розмірами й формою, мають доволі різний набір генів. Саме тому характеристики й властивості організмів, що визначаються генами, які містяться в статевих хромосомах, називають ознаками, зчепленими зі статтю, а їх успадкування відхиляється від законів Менделя, а тому його визначають як успадкування, зчеплене зі статтю.

Для людини описано близько 200 ознак, гени яких містяться лише в X-хромосомі. Ці ознаки визначаються або рецесивними генами (дальтонізм, гемофілія), або мають домінують природу (рахіт, темна емаль зубів). Крім того, існує ще й ряд генів, які є лише в Y-хромосомі, але відсутні в X-хромосомі.

Цікавою є та обставина, що фенотиповий прояв генів, що містяться в статевих хромосомах людини, значно частіше спостерігають у чоловіків, ніж у жінок. Тому є дві причини.

1. Відсутність гомології ділянці Y-хромосоми, у якій містяться особливі гени, на X-хромосомі. Невипадково, що тут є гени, які властиві лише чоловікам — власникам Y-хромосоми. Цілком природно, що в Y-хромосомі локалізований ген, який визначає розвиток чоловічої статі, але, крім того, тут є й інші гени. У людини — це гени, що відповідають, наприклад, за оволосіння вусної раковини, розвиток перетинки між пальцями ніг. Зрозуміло, що такі ознаки будуть передаватися лише від батька синові та за жодних умов не можуть виникнути в жінок, тому що жіноча стать позбавлена Y-хромосоми й, відповідно, цих генів.



Іл. 35.2. Бджола медоносна

2. Відсутність гомології ділянці X-хромосоми на Y-хромосомі. Гени, що зчеплені з X-хромосоною, мають дуже різноманітний фенотиповий прояв. Наприклад, якщо ознака визначається рецесивним геном, то в жінки цей ген фенотипово проявиться лише у разі рецесивної гомозиготи — адже завжди є друга X-хромосома, яка може «підстрахувати» своїм домінантним алелем і не дати розвинути рецесивній ознаці. У чоловіків такого «підстрахування» у вигляді алельної пари немає, тому всі рецесивні алелі, що містяться в їхній єдиній X-хромосомі, мають фенотиповий прояв.

Типовим прикладом успадкування гена, зчепленого з X-хромосоною, є захворювання, що характеризується незгортанням крові — *гемофілія*. Її поява викликана дією рецесивного мутантного гену. Хворіють на гемофілію набагато частіше чоловіки, ніж жінки, хоча число мутантних X-хромосом однаково часто трапляється серед чоловіків і жінок. Річ у тім, що особина чоловічої статі, що має X-хромосому з мутантним геном, буде хворіти на гемофілію, у той час як жінка, що має таку X-хромосому, буде фенотипово повністю здорова (таку жінку називають *носієм гена гемофілії*). Для того щоб у жінки розвилася захворювання, вона повинна бути гомозиготна за цим локусом, тобто одержати один алель від матері-носія й батька, хворого на гемофілію. Однак подібні випадки вкрай рідкісні, тому традиційно гемофілію сприймають як чоловічу хворобу. Точно у такий самий спосіб успадковується ще одна спадкова хвороба — *дальтонізм* — нездатність розрізняти червоний і зелений кольори.

Ознаки, залежні від статі. Крім ознак, зчеплених зі статтю, існують ознаки, залежні від статі. Гени, що визначають ці ознаки, «включаються» під дією статевих гормонів. Вони можуть міститися не лише в статевих хромосомах, але й у будь-яких аутосомах. Наприклад, ген, що визначає облісіння, типове для чоловіків, локалізований в аутосомі і його прояв залежить від наявності чоловічих статевих гормонів. Саме тому в чоловіків цей ген діє як домінантний, а у жінок — як рецесивний. У биків та корів однаково трапляються гени, що контролюють продукування молока, його жирність чи вміст білка, але в биків ці гени «мовчать», а «включаються» під дією статевих гормонів лише в корів. Цікаво, що телички можуть одержувати ген високої молочності не від матері-корови, а від батька-бика.



З точки зору генетики, стать — це різний спосіб комбінації статевих хромосом, які можуть складатися з двох однакових (гомогаметна стать) або різних хромосом (гетерогаметна стать).

Статеві хромосоми, що неоднакові за будовою і розмірами, несуть різні набори генів, які визначають ознаки, зчеплені зі статтю. Вони успадковуються за правилами, відмінними від законів Менделя, а тому це явище отримало назву **успадкування ознак, зчеплених зі статтю**. Фенотиповий прояв генів, що містяться у статевих хромосомах, значно частіше спостерігають в особин гетерогаметної статі, ніж у гомогаметної.



1. Чи є статеві хромосоми на 100 % гомологічними? **2.** Чому чоловічу стать у людини називають гетерогаметною? **3.** Який випадок успадкування називають «зчепленим зі статтю»? **4.** Чому виникають генетичні хвороби «чоловіків»? **5.** Чим успадкування ознак, залежних від статі, відрізняється від успадкування ознак, зчеплених зі статтю?



- Як ви вважаєте, чому в ссавців чоловіча хромосома значно менша за жіночу?

§ 36. Мінливість організмів

Терміни й поняття: спадковість, мінливість модифікаційна (фенотипова) та генетична (генотипова); норма реакції; варіаційний ряд, варіаційна крива, варіаційна статистика.

Поняття мінливості. Як уже зазначалось, генетика — це наука про спадковість і мінливість, які за своєю сутністю є протилежними.

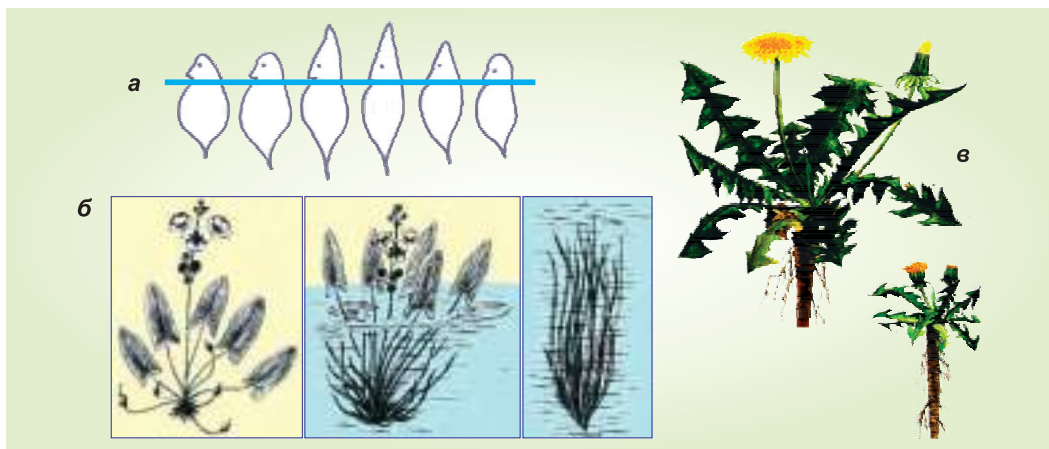
Спадковість — це властивість організмів передавати потомству будь-які видові або індивідуальні ознаки і тим самим зберігати у ряді поколінь характеристики й властивості, притаманні батьківським особинам. Завдяки спадковості з покоління в покоління зберігаються специфічні якості кожного біологічного виду.

Мінливість — властивість організмів порушувати чітку спадковість. Завдяки мінливості кожен організм має свої унікальні властивості. Така індивідуальність властива навіть генетично однаковим особинам, до яких належать монозиготні близнюки або особини одного клону. Вони дуже схожі між собою, але мають ледь помітні відмінності в розмірах, пропорціях тіла, виявленні тих чи інших ознак.

Типи мінливості та рівні її прояву. На відміну від спадковості, мінливість — явище більш різноманітне й неоднозначне. Саме тому існує кілька класифікацій цього поняття.

За характером змін виділяють два типи мінливості: *модифікаційну*, або *фенотипову*, та *генетичну*, або *генотипову*.

Перший тип ще називають *спрямованою мінливістю*, оскільки в особливостях змін ознак можна знайти вплив певних факторів середовища. Ця мінливість має пристосувальний характер, оскільки зазвичай спрямована на зменшення негативного впливу факторів середовища (іл. 36.1).



Іл. 36.1. Приклади модифікаційної мінливості:

- а — сезонні зміни розмірів і форми головної капсули у дафнії;
- б — зміни форми листків стрілолисту в різних умовах існування: наземна рослина (ліворуч), напівзанурена (у центрі), повністю занурена (праворуч);
- в — рослини кульбаби, що були отримані від різних частин однієї батьківської особини та вирощені на рівнині (вгорі) і в горах (внизу)

Генотипову мінливість ще називають *неспрямованою мінливістю*. У цьому випадку відсутній чіткий зв'язок між умовами життя організму або дією на нього певних факторів середовища (температури, вологи, сонячного світла) та характером мінливості організму (іл. 36.2).

За рівнем прояву мінливість поділяють на *індивідуальну* та *групову*. У першому випадку це різноманітність особин одного виду, що проявляється за будь-якими ознаками й параметрами організму, включно з його генетичним складом. У разі групової мінливості це відмінності популяцій, видів, родів і таксонів більш високих рівнів за тими самими ознаками.



Іл. 36.2. Приклади генетичної мінливості — різноманіття порід котів

Індивідуальна мінливість організмів та її причини. Якщо причини групової мінливості легко пояснити — особини різних популяцій або видів живуть у неоднакових умовах, а тому на них по-різному впливають фактори середовища, то індивідуальну мінливість пояснити складніше.

Справді, чому риби, які живуть в одному ставку або навіть в акваріумі, відрізняються розмірами, тонами забарвлення, швидкістю росту, плодовитістю та багатьма іншими ознаками й показниками? Ще

більше запитань виникає щодо клонових організмів, які не лише живуть в одній місцевості, а й мають однакові генотипи. Чому вони індивідуальні на рівні фенотипових ознак?

Звичайно, головною причиною індивідуальної мінливості є генотипові особливості кожного організму, які й визначають мінливість ознак. Справді, як показав генетичний аналіз, у мінливості будь-якої ознаки або властивостей організму завжди наявна генетична складова. Проте вона пояснює лише якусь частину мінливості. Наприклад, індивідуальну мінливість людей, які живуть в однакових умовах середовища, за такою ознакою як довжина тіла, лише на 30–50 % пояснюють їх генетичними відмінностями. Решту мінливості викликають, як вважають, випадкові фактори. Є такі ознаки, де генетична складова ще більша; наприклад, у забарвленні волосся вона становить не менше ніж 70 %, а в кольорі очей — 90 %. Але в мінливості навіть цих генетично дуже детермінованих ознак існує певна випадковість.

Що це за випадкові фактори? До них насамперед відносять непрогнозовані сприятливі або несприятливі для життя події, з якими стикається організм у період свого розвитку, та які залишають на ньому свій відбиток. Наприклад, один мальок першим проклонувся з ікринки і йому дісталось багато їжі. Завдяки щасливому випадку він уникнув зараження паразитами, а тому ріс доволі швидко. Інший мальок з'явився з ікринки пізніше за інших, йому їжі не вистачало та й паразити дошку-

ляли. У результаті він відстав у рості. Більшість потомства особливі невдачі не переслідували, а тому за показниками росту ця більшість посіла проміжне, середнє положення. Очевидно, згадані чинники безпосередньо не пов'язані з генетичними особливостями особин, адже часто це визначається ще до народження. Наприклад, ікринки, розташовані ближче до кровоносних судин, що пронизують яєчник, одержують більше поживних речовин, і відповідно з них після запліднення з'являються більш життєздатні мальки.

Крім того, у ході реалізації програми індивідуального розвитку, яка є дуже складним процесом поділу одних клітин і загибелі інших, можуть відбуватися випадкові мимовільні збої, які зовні проявляються у відмінностях організмів одні від одних. Саме через такі непередбачені впливи факторів середовища та випадкові помилки в реалізації програми розвитку навіть генетично однакові особини завжди зовні чимось відрізнятимуться одна від одної і як показують дослідження монозиготних близнюків — у людей з віком відмінності проявляються дедалі більше.

Модифікаційна мінливість та її властивості. Вважають, що модифікаційна мінливість викликана тим, що всі організми тією чи іншою мірою живуть у різних умовах, а тому змушені по-різному реагувати на фактори навколишнього середовища, що й приводить до різноманітності фенотипів. Разом з тим існують фактори середовища, які діють на всі організми, що живуть у певній місцевості, на що вони змушені реагувати однаковою чином, а тому особливістю модифікаційної мінливості є її груповий характер. Наприклад, рослини в ідеальних для них умовах будуть вищими й пишнішими, ніж ті самі рослини, що живуть за умов низьких для них температур і постійної посухи.

Модифікаційній мінливості властива оборотність: якщо усунути дію фактора, фенотип повинен повернутися до нормального для виду стану. У горах в еритроцитах крові людей через дефіцит кисню різко зростає вміст гемоглобіну, а після повернення на рівнину вміст гемоглобіну нормалізується. Якщо насіння з рослин, що виростили в поганих умовах, висіяти в сприятливе для цього виду середовище, з них виростуть здорові й плідні рослини. Слід чітко розуміти, що в разі модифікаційних змін зачіпається фенотип, а генотип не змінюється. Тому будь-які зміни організму, набуті за життя, не успадковуються. Не випадково з насіння дрібних особин, що виростили в несприятливих умовах, в ідеальному середовищі виростуть великі рослини.

Модифікаційна мінливість ознак входить у певний діапазон мінливості, який зумовлений генотипом. Ці межі мінливості називають *нормою реакції*. Наприклад, нормою реакції людського організму на дію середовища життя діапазон мінливості зросту становитиме від 155 до 220 сантиметрів. Усе, що виходить за межі цих показників, — відхилення від норми: у першому випадку — карлики, у другому — гіганти.

Аналіз модифікаційної мінливості. Модифікаційну мінливість будь-якої ознаки можна описати кількісно за допомогою методів *варіаційної* (від лат. *varia* — зміна) *статистики* й подати у вигляді графіків і таблиць. Першими кроками в ході аналізу мінливості ознаки є створення *варіаційного ряду* та побудованої на його основі *варіаційної кривої*.

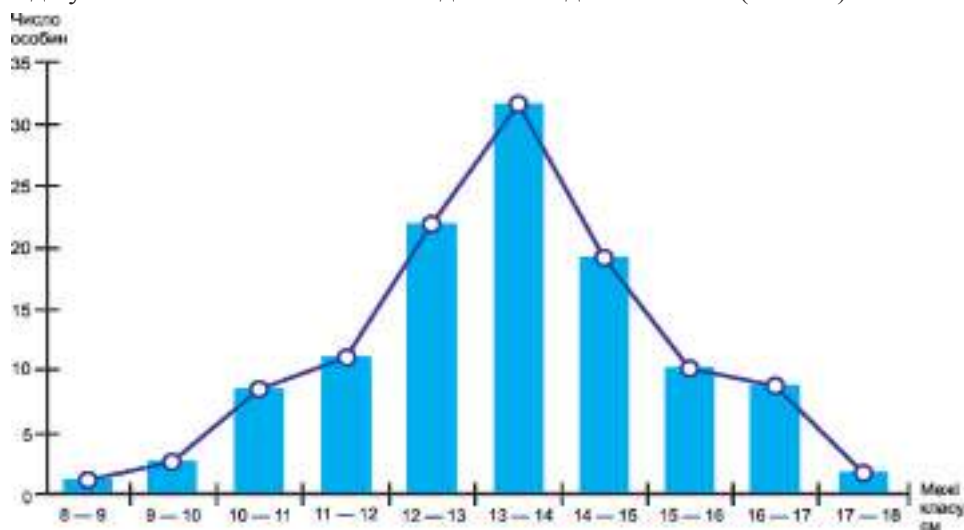
Скажімо, перед дослідником стоїть завдання вивчити мінливість карасів, яких він піймав у ставку. Для початку необхідно знайти найменшу та найбільшу рибини. Перша, наприклад, має 8,2 см завдовжки, друга — 18,3 см. Діапазон мінливості у цьому випадку становить близько 10 см. Його зручно розбити на 10 відрізків — класів значень, кожний по 1 см. Після цього значення довжини кожної особини потрібно занести у відповідний клас і в такий спосіб побудувати варіаційний ряд (табл. 7).

Таблиця 7.

Варіаційний ряд карасів, розподілених за довжиною тіла

№ класу	Межі класу (см)	Число особин
1	8–9	1
2	9–10	3
3	10–11	7
4	11–12	11
5	12–13	22
6	13–14	31
7	14–15	19
8	15–16	10
9	16–17	8
10	17–18	2

На основі варіаційного ряду вже легко побудувати варіаційну криву — графік розподілу кількості особин залежно від значень довжини тіла (іл. 36.3).



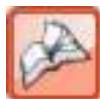
Іл. 36.3. Варіаційна крива, що відображає мінливість карасів за довжиною тіла

Зазвичай варіаційна крива має форму дзвона, що свідчить про нормальний розподіл ознаки та відповідає нормі реакції організму за цим показником. За такого розподілу середні особини найчисленніші, а відхилення у бік більших або менших значень мають однакову імовірність. Для кількісної оцінки розподілу обов'язково використовують два показники: середнє значення й *дисперсію*. Остання показує, наскільки особини у даному розподілі відхиляються від середнього значення. Очевидно, що більше карасів виявляться близькими до середнього значення, то мінливість ознаки менша, а різноманітність ознак у популяції — нижча. І, навпаки, що більше крайніх значень, то мінливість ознаки більша, а різноманітність ознак — вища.

Виходячи з цього, дисперсію у варіаційній статистиці вважають найточнішим показником ступеня фенотипової мінливості.



Властивість організмів порушувати чітку спадковість зазвичай називають мінливістю. Розрізняють два типи мінливості: **фенотипову (модифікаційну)** і **генотипову (генетичну)**. Модифікаційну мінливість викликають реакції організму на фактори навколишнього середовища, а оскільки середовище кожного організму багато в чому унікальне, то й кожна особина має свій особливий фенотиповий вигляд, навіть якщо є представником одного клону. **Кожна ознака має межі нормальної мінливості, яку називають нормою реакції.**



1. Чому спадковість і мінливість називають протилежними за своєю сутністю явищами? 2. Що є причинами індивідуальної мінливості організмів? 3. Які основні властивості модифікаційної мінливості? 4. Що таке варіаційний ряд і варіаційна крива? 5. Який розподіл ознак за модифікаційної мінливості називають нормальним?



- Чи можна вважати, що в біології мінливість і різноманітність — синоніми?
- Які причини того, що потомки однієї партеногенетичної самки карася відрізняються один від одного пропорціями тіла або кількістю лусок чи променів у плавцях?

§ 37. Теорія мутацій. Види мутацій і причини їх виникнення

Терміни й поняття: мутація, теорія мутацій, генетична рекомбінація, точкові мутації, хромосомні перебудови, геномні мутації, анеуплоїдія, поліплоїдія, мутагенез, мутагени фізичні, хімічні і біологічні, репарація.

Теорія мутацій та її положення. Під терміном мутація (від лат. *мутаціо* — зміна) розуміють стійку, раптову зміну фенотипу, яка пов'язана з перетвореннями генотипу. Отже, вона завжди успадковується. Зараз під мутаціями розуміють будь-які зміни в структурі генетичного апарату. Такі зміни можуть успадковуватися і або призводити до летальних наслідків, або робити особину безплідною. Поняття «мутація» у 1903 р. увів голландський генетик Гуго де Фріз (1848–1935). Він сформулював головні положення теорії мутацій.

Основні положення теорії мутацій у сучасному трактуванні.

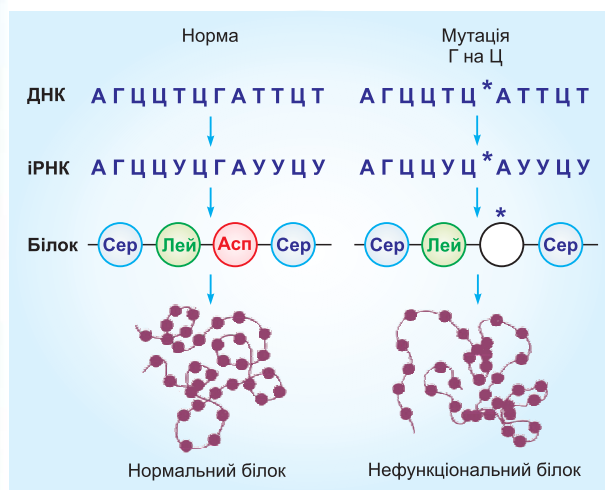
- Мутації виникають раптово, стрибкоподібно та проявляються у вигляді дискретних ознак.
- Мутації не втрачаються і передаються з покоління в покоління.
- Мутації проявляються по-різному й можуть бути домінантними або рецесивними, корисними й шкідливими, відрізнятися силою свого впливу на організм і бути летальними.

- Ті самі мутації можуть виникати повторно.
- Мутації можна викликати впливами на організм сильнодіючих фізичних або хімічних агентів.
- Мутації завжди спонтанні, незалежні одна від одної, не мають групової спрямованості.
- Мутувати може будь-яка ділянка хромосоми.

Мінливість організмів, викликана мутаціями, отримала назву *мутаційна мінливість*. Цей тип мінливості є найважливішим джерелом еволюційних перетворень. Завдяки генетичній мінливості утворюються організми з новими властивостями та ознаками.

Типи мутацій. За характером спадкових змін генетичного апарату виділяють три типи мутацій.

Точкові, або генні, мутації — це мутації на рівні первинного ланцюга ДНК, які призводять до порушення амінокислотної послідовності в білках, що зазвичай має



Іл. 37.1. Механізм виникнення точкової мутації

негативні наслідки для організму (іл. 37.1). Адже амінокислотна послідовність у кожному білку строго специфічна, і заміна навіть однієї з них може призвести до порушення його просторової структури й, відповідно, функцій.

Найпоширеніший випадок точкової мутації — заміщення нуклеотидної пари АТ на ГЦ. Якщо ці зміни відбуваються в межах структурних генів, то в результаті замість триплету АГА, наприклад, може з'явитися триплет АГЦ, і в поліпептидному ланцюзі, відповідно, замість негативно зарядженої амінокис-

лоти аргініну виявиться незаряджена амінокислота серин. Це може призвести до зміни заряду білка, порушення його конформації, а якщо це фермент, — то й до зниження швидкості хімічної реакції, яку він каталізує. У результаті можуть початися збої в метаболізмі всього організму.

Хромосомні перебудови. Зміни структури хромосом також відносять до розряду мутаційних подій. Це можуть бути переноси частини однієї хромосоми на іншу, зміни розташування генів на хромосомі шляхом їх розвороту на 180°, вставляння зайвої частини хромосоми або, навпаки, випадіння яких-небудь ділянок (іл. 37.2).

У більшості випадків хромосомні перебудови не проходять для організму без наслідків. Найчастіше вони завершуються смертю організму ще на дуже ранніх стадіях розвитку зародка. Якщо ж хромосомні перебудови не стосуються генів, які від-

повідать за важливі функції організму, то зазвичай вони призводять до порушень мейозу й стерильності особи. Проте бувають і зовсім нейтральні хромосомні перебудови.

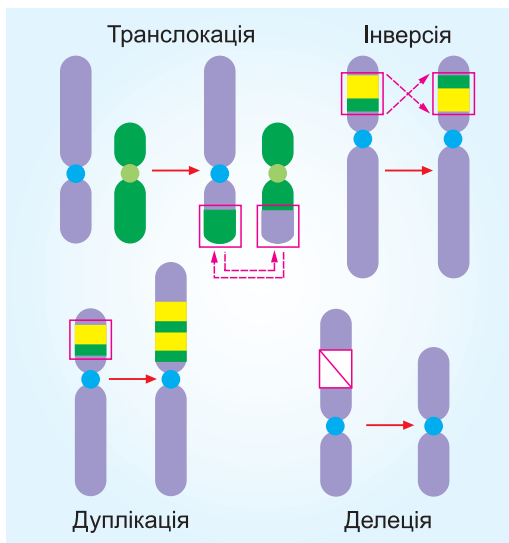
Геномні мутації є змінами кількості хромосом. Їх причиною є грубі порушення процесу мейозу.

Одним з видів геномних мутацій є *анеуплоїдія* (від грец. *ан* — негативний префікс, *еу* — повністю, *плоос* — спроба; *ейдос* — вигляд) — збільшення гомологічних хромосом на одну й більше або, навпаки, нестача найчастіше однієї хромосоми. У результаті особи виду, якому властивий диплоїдний набір $2n = 22$, можуть мати 21, 23, 24 і навіть 25 хромосом. Зазвичай у тварин такі порушення несумісні з нормальною життєдіяльністю організму й призводять або до летального кінця на ранніх стадіях, або до численних порушень розвитку. Синдром Дауна у людини — спадкове захворювання, що веде до різноманітних вад розвитку, у тому числі й розумової відсталості, — викликає додаткова хромосома за 21-ю парою.

Геномні мутації, пов'язані з кратними збільшеннями кількості хромосомних наборів, називають *поліплоїдією* (від грец. *полі* — багато і *плоїдія*). Якщо кількість хромосомних наборів збільшена на один, то це триплоїд, якщо на два — тетраплоїд, на три — пентаплоїд, чотири — гексаплоїд і так далі. Найбільше збільшення кількості хромосомних наборів виявлене в організмів з 12-хромосомними наборами.

Поліплоїдія доволі поширена в природі. Дуже багато поліплоїдних видів серед рослин, значно менше — серед тварин. Доволі часто випадки поліплоїдії трапляються серед дощових черв'яків, ракоподібних, риб.

Генетична рекомбінація. Ще одним важливим фактором генетичної мінливості, крім мутацій, є *генетична рекомбінація* (від лат. *ре* — префікс, що вказує на повторну дію і *комбінаціо* — з'єднання) — перерозподіл генетичного матеріалу батьківських особин у потомстві, що відбувається за участю статевого процесу (іл. 37.3). У цьому випадку рекомбінація призводить до утворення потомків з найрізноманітнішими генотиповими комбінаціями. У результаті в одній популяції неможливо зустріти дві



Іл. 37.2. Різні типи хромосомних перебудов



Іл. 37.3. Різноманіття сортів кукурудзи є наслідком не лише мутаційної, а й комбінативної мінливості

генетично однакові особини. Різноманітність організмів, що виникає в процесі рекомбінації, отримала назву *комбінативна мінливість*.

Існують три фактори рекомбінації:

- сполучення різних гамет у разі схрещувань у тварин і перехресного запилення у рослин;
- незалежний розподіл хромосом після першого поділу мейозу;
- кросинговер — обмін ділянками гомологічних хромосом під час кон'югації у першій метафазі мейозу.

Рекомбінація відіграє важливу роль в еволюції організмів. Її властивості використовують у процесі виведення нових сортів рослин та порід тварин.

Виникнення мутацій. Процес виникнення мутацій називають мутагенезом (від мутації і генезис). Мутації виникають із двох причин. Перша — дія різноманітних випадкових неочевидних факторів, що призводить до виникнення спонтанних мутацій, які є дуже рідкісними подіями. Друга причина — під впливом чітко означених сильнодіючих зовнішніх факторів мутагенів. Такі мутації називають *індукованими* і вони виникають масово.

Фізичний мутагенез. Усі види іонізуючого опромінення організмів призводять до появи мутацій і є сильними фізичними мутагенами. У лабораторних умовах використовують майже винятково рентгенівські й гамма-промені. Це пов'язано з тим, що вони краще, ніж потоки заряджених частинок, проникають усередину організму. Фізичними мутагенами також є ультрафіолетові промені та підвищена температура.

Проходячи крізь клітину, промені на своєму шляху виривають електрони зовнішньої оболонки атомів і перетворюють їх на позитивно заряджені іони. Електрони, що вивільняються, приєднуються до інших атомів, надаючи їм негативного заряду. В результаті у клітині та ядрі утворюється величезна кількість високоактивних хімічних радикалів. Якщо вони взаємодіють зі структурними білками або ферментами, змінюючи їх структури, то це лише на якийсь час призводить до порушень роботи клітини. Якщо ж вони взаємодіють з ДНК, відбуваються незворотні зміни — мутації. Мутації можуть бути пов'язані з порушеннями структури як одного нуклеотиду, так і відразу низки сусідніх нуклеотидів. У результаті в першому випадку в ході реплікації можуть виникати точкові мутації, а в другому — перебудови хромосом.

Цікаво, що вплив іонізуючого опромінення найчастіше призводить саме до другого типу мутацій.

Важливою властивістю фізичних мутагенів є пряма залежність між дозою випромінювання, яку отримує організм, і виходом мутацій. Що більша доза, то, відповідно, більше мутацій. Звідси був зроблений висновок, що не існує граничних доз дії іонізуючого опромінення, нижче яких воно не шкідливе. Просто за малих доз рівень мутування не дуже помітний. Якщо ж організм перебуватиме в умовах низького рівня радіації доволі тривалий період, накопичений мутагенний ефект може бути не менший, ніж за одержання великої дози за дуже короткий період часу.

Хімічний мутагенез. Хімічні мутагени — речовини певних типів хімічних сполук, що, взаємодіючи з ДНК, уражують саме генетичний апарат клітини. До хімічних мутагенів відносять: неорганічні речовини (SO_2 , NO_2 , H_2O_2 , HNO_2 , солі ні-

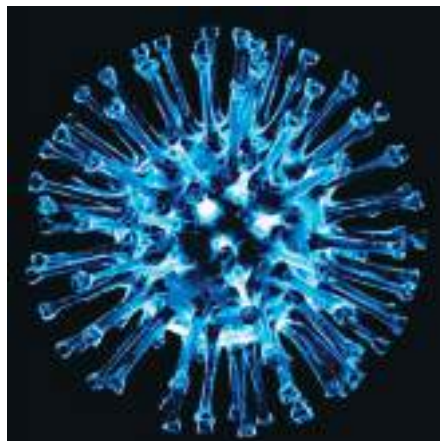
тратної кислоти, сполуки Плюмбуму та Гідраргіриму); прості органічні сполуки (формальдегід $\text{CH}_2=\text{O}$; хлороформ CHCl_3) та набагато складніші органічні сполуки. Сильними мутагенами є органічні сполуки, здатні переносити радикали CH_3 і C_2H_5 . Деякі з них настільки мутагенні, що їх називають супермутагенами. Сильні мутагенні властивості мають циклічні органічні сполуки, у яких бере участь атом Нітрогену. До цієї групи сполук відносять усі аналоги азотистих основ. Мутагенами виявилися й багато отрутохімікатів, які використовують для боротьби із сільськогосподарськими шкідниками.

Механізм дії хімічних сполук багато в чому нагадує дію опромінювання. Лише в цьому випадку хімічно активні речовини не утворюються у клітині під дією зовнішньої енергії. Вони проникають у клітину як чужорідні речовини, починають реагувати з ДНК, змінюючи її структуру, що згодом провокує неправильну реплікацію, і в такий спосіб призводять до мутацій. Є особливі форми хімічних мутагенів, які не змінюють первинну структуру ДНК, а утворюють комплекси з ДНК. У цих місцях відбуваються порушення синтезу ДНК.

Хімічний мутагенез має багато спільного з фізичним. Зокрема, що вища доза хімічного мутагену, то більший вихід мутацій. Але хімічний мутагенез має ряд своїх особливостей. По-перше, хімічні мутагени діють більш специфічно, часто викликаючи певні мутації. По-друге, вони мають більш віддалений ефект. Це означає, що мутації можуть проявитися через кілька клітинних поділів або навіть через два-три покоління.

Біологічні мутагени. Очевидно, що мутагенні ефекти можуть давати й вірусні інфекції (іл. 37.4). Адже в цих випадках ДНК вірусу потрапляє безпосередньо в генетичний апарат, викликаючи порушення його роботи. Справді, в уражених вірусами клітинах дуже часто відбуваються хромосомні перебудови, що зовні не відрізняються від тих, які викликають гама-промені.

Саме на мутагенній дії ґрунтується здатність вірусів викликати онкологічні хвороби. Відомо, що виникнення злоякісних пухлин розпочинається з переродження соматичних клітин, викликаного порушеннями їх генетичного апарату різноманітними мутагенами.

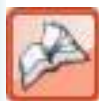


Іл. 37.4. Вірус групи H1N1 — дуже ефективний мутаген

Основою генетичної мінливості організмів є мутації і рекомбінації. Мутації — спадкові зміни структури генетичного апарату, що відбуваються на трьох рівнях: молекулі ДНК; будові хромосом; їх кількості.

Рекомбінативна мінливість — перекомбінування батьківських генотипів унаслідок випадкового злиття статевих клітин; незалежного розходження хромосом після першого поділу мейозу; кросинговеру.

Згідно з теорією мутацій: мутації виникають раптово; успадковуються; можуть виникати повторно; викликаються дією хімічних та фізичних агентів; виникають спонтанно; не мають чіткої спрямованості; не залежать одна від одної.



1. Які властивості мутаційної мінливості відрізняють її від модифікаційної? 2. На яких рівнях організації генетичного апарату відбуваються мутації? 3. Що таке поліплоїдія й анеуплоїдія. 4. Який процес називають мутагенезом? 5. Чим хімічний мутагенез відрізняється від фізичного? 6. Що є фактором біологічного мутагенезу?



• Чимало вчених вважає, що малі дози радіації не такі страшні і до них організм пристосовується, як і до деяких отрут у незначних кількостях. Спробуйте підтримати або спростувати цю думку.

• Чому ефекти від впливу хімічних мутагенів можуть проявлятися через кілька поколінь?

§ 38. Генетика людини й медична генетика

Терміни й поняття: генетика людини, генетичний вантаж, спадкові хвороби, генні патології, хромосомні хвороби, захворювання зі спадковою схильністю, медико-генетичні консультації.

Особливості генетичних досліджень людини. Багато хто вважає, що найбільш захопливий розділ генетики — це *генетика людини* — наука про спадковість і мінливість ознак людини. І справді, саме в цій царині розгортаються найжорсткіші наукові дискусії, саме сюди спрямовують найбільш сучасні наукові методи й технології.

Слід зазначити, що людина як біологічний вид підпорядковується тим самим закономірностям успадкування, що й будь-яка тварина зі статевим способом розмноження. Принципи будови й функціонування генетичного апарату в людини такі самі, як і в усіх інших мешканців Землі. Його основу становлять молекули ДНК, на яких синтезується РНК, що бере участь у процесах біосинтезу білків. Усе різноманіття генів побудоване за участю чотирьох нуклеотидів, генетична інформація зчитується триплетами. Більше того, багато генів людини та інших живих істот повністю ідентичні. Це важко собі уявити, але в людини й банана існує багато однакових структурних генів, які майже не відрізняються за послідовностями ДНК! Генетична подібність людини й шимпанзе становить 98,7 % (іл. 38.1). Причому однакові не



Іл. 38.1. Шимпанзе — вид, генетично споріднений з людиною

лише гени, що нормально функціонують, але й так звані псевдогени — ділянки хромосоми, схожі на той чи інший структурний ген, але які містять деяку кількість «друкарських помилок», які роблять їх нефункціональними.

Успадкування ознак у людини підпорядковане усім законам і правилам генетики: законам Менделя, Моргана, зчеплення генів, взаємодії генів. Однак людина — це не лише біологічна, а й соціальна істота, а тому генетичні дослідження виду *Homo sapiens* мають ряд особливостей.

Для вивчення успадкування ознак у людини неможливо, як у мишей чи дрозоділ, застосовувати гібридологічний аналіз, адже люди не дають потомство за вказівками експериментатора. Тому для вивчення гібридизації в людини використовують більш опосередкований генеалогічний метод.

Людині властиві ознаки, яких немає в інших організмів: темперамент, математичні, образотворчі, музичні й інші здібності, успадкування яких — мабуть, найцікавіша частина генетики людини.

Завдяки суспільній підтримці й медицині стає можливим виживання і розмноження людей з явними відхиленнями від норми, адже в дикій природі такі організми виявляються нежиттєздатними або не залишають потомства.

Генетичні проблеми, що викають на рівні людських популяцій. Окремим напрямком є генетика людських популяцій (від англ. *population* — населення). На відміну від популяцій інших ссавців, у людських поселеннях діють фактори, що зумовлюють особливості генетичних процесів. Це насамперед релігійні та соціальні бар'єри, які накладають обмеження на вільні схрещування. Крім того, у популяціях людини не дуже ефективним є природний добір. Справа в тому, що розвиток медицини знижує смертність особин, які є носіями генетичного вантажу, тобто особин, які мають в гетерозиготному стані летальні гени. Саме тому в людини природний добір, спрямований проти несприятливих мутацій, ефективний лише на ранніх стадіях розвитку, коли нежиттєздатні ембріони гинуть.

Останнім часом дедалі більше стає актуальним питання зміни генофонду людської популяції за останні 100 років. З одного боку, відбувалася масова міграція, якої не знало людство за всю свою історію. Унаслідок цього відбувається безліч міжрасових шлюбів, що спричиняє змішування і збагачення генофонду. З іншого боку, є медичні втручання, які дозволяють вижити носіям генетичних вад, забруднення води, повітря та їжі мутагенами, підвищення рівня радіації й озоніві діри. Все це спричиняє підвищення генетичного вантажу. Сьогодні щодо цього питання не існує єдиної точки зору. Одні генетики вважають, що факт збільшення генетичного навантаження все-таки наявний, інші — такий результат є просто наслідком більшої уваги до цього питання і ретельніших досліджень, проведеними останнім часом.

Генетика окремих ознак. Неабиякий інтерес викликають закономірності успадкування окремих ознак. Зараз вже встановлена успадкування більшості людських ознак (табл. 8, 9).

Забарвлення волосся контролюють чотири гени, кожен з яких має два алелі: домінантний і рецесивний. За комбінування алелів цих чотирьох локусів можливі дев'ять фенотипових станів — від чорного до білого волосся (табл. 10).

Рудий колір волосся контролює інший ген, його позначають буквою **D**: **DD** — яскраво-руді, **Dd** — світло-руді, **dd** — неруді.

Спадкові захворювання. Найбільшого розвитку набув медичний аспект генетики людини, яка сформувалася в особливу науку — *медичну генетику*. Насамперед ця наука вивчає спадкові захворювання — розлади організму, пов'язані з порушеннями генетичного апарату: генів, структури окремих хромосом або їх кількості.

Генні патології — це хвороби, викликані неправильною дією одного гена. Таке захворювання з погляду генетики можна аналізувати як генетичну ознаку й вивчати його успадкування за законами Менделя — залежно від того, домінантною чи рецесивною ознакою є дана хвороба.

**Приклади деяких домінантних і рецесивних ознак
у людському організмі**

Ознака	Домінантна	Рецесивна
Колір очей	карі	блакитні
Зір	короткозорість	норма
Підборіддя	широке	гостре
Форма губ	товсті	тонкі
Форма носа	прямій	кирпатий
Форма ніздрів	широкі	вузькі
Колір волосся	темні	світлі
Голос у жінок	сопрано	альт
Голос у чоловіків	бас	тенор
Ріст	низький	високий
Група крові	II, III, IV	I
Колір шкіри	смагливий	світлий
Провідна рука	ліва	права

Приклади ознак з неповним домінуванням у людини

Ознака	Домінантний фенотип	Гетерозиготний фенотип	Рецесивний фенотип
Розмір носа	великий	середній	малий
Розміри рота	великий	середній	малий
Розмір очей	великі	середні	малі
Відстань між очима	велика	середня	мала
Колір брів	дуже темні	темні	світлі
Кучерявість волосся	кучерявеньке	кучеряве	пряме

Успадкування кольору волосся (контролюється чотирма генами, успадковується полімерно)

Кількість домігантних алелів	Кількість рецесивних алелів	Колір волосся
8	0	Чорне
7	1	Темно-коричневе
6	2	Темно-каштанове
5	3	Каштанове
4	4	Русяве
3	5	Світло-русе
2	6	Блондин
1	7	Дуже світлий блондин
0	8	Біле

Типовим випадком домігантної генної патології є *полідактилія* — наявність на руках або ногах додаткових пальців (іл. 38.2). Зараз зайві пальці зазвичай видаляють у дитинстві, а раніше люди, що народилися із зайвими пальцями рук або ніг, не мали можливості позбутися їх.

Патологією з рецесивним типом успадкування є *фенілкетонурія* — захворювання, пов'язане з порушенням обміну речовин.

Частота захворювання на фенілкетонурію становить 1 : 10 000 немовлят європейської раси. Частота гетерозигот (носіїв гена) — 80 : 10 000 дітей. У представників інших рас ця хвороба трапляється значно рідше. Причина фенілкетонурії — «поломка» гена (ген перебуває в 12-й хромосомі), який кодує фермент, що відповідає за один з етапів перетворення амінокислоти фенілаланіну.

Слід зазначити: якщо домігантні мутації генів доволі різноманітні за своєю природою і дією, то рецесивні мутації — це різноманітні точкові мутації, які призводять або до порушень синтезу іРНК, або до синтезу поліпептидного ланцюга з неправильним набором амінокислот. В останньому випадку це може призвести до того, що такий білок або фермент не здатний виконувати свою функцію.



38.2 Рентгенівський знімок кисті людини з полідактилією

Хромосомні хвороби. Існують генетичні захворювання, викликані порушенням в одній хромосомі. Іноді це випадіння шматочка хромосоми. Наприклад, поломка плеча V хромосоми викликає патологію, що має назву *синдром котячого лементу*. Для цього захворювання характерні деформація гортані, через яку голос дитини нагадує нявкання кішки, м'язова слабкість, маленька маса й зріст, загальне відставання у розвитку й розумова відсталість.

Переміщенням плеча 21-ої хромосоми на 15, 14, рідше — на 21, 22 і Y- хромосому та X-хромосому призводить до *синдрому Дауна* або успадкування зайвої 21 хромосоми від батьків (трисомія) (іл. 38.3). Це найбільш поширена хромосом-



Іл. 38.3. Синдром Дауна — найбільш поширена хромосомна патологія людини

на патологія людини, що супроводжується розумовою відсталістю та безпліддям, косим розрізом очей, плоским носом та іншими ознаками.

Геномні мутації. У людей доволі часто виникають спадкові хвороби, викликані зміною числа статевих хромосом. У цьому випадку в каріотипі хворої людини може бути зміненим як число X-хромосом, так і число Y-хромосом. Трапляються такі співвідношення статевих хромосом: XO (*синдром Шерешевського-Тернера*), XXX, XXXX, XXY (*синдром Клайнфельтера*), XXYY, XYY, XYYY, XYYYY. У цих випадках, якщо в каріотипі наявна хоча б одна Y-хромосома, організм розвивається за чоловічим типом. Якщо в каріотипі є лише X-хромосоми, організм розвивається за жіночим типом.

Синдром Шерешевського-Тернера та синдром Клайнфельтера мають чітко визначений фенотиповий ефект. Крім того, за цих хвороб відбувається недорозвинення статевих органів і порушення психіки — саме тому діагноз без ускладнень ставиться вже на перших роках життя людини.

Інший вигляд має ситуація з патологіями каріотипу, пов'язаними зі збільшенням числа X-хромосом у жінок і Y-хромосом у чоловіків. Частота таких аномалій доволі велика й становить 2 людини з 1 000, однак діагностується патологія далеко не в усіх її носіїв. У жінок збільшення числа X-хромосом специфічно ніяк не проявляється.

Чоловіки, у каріотипах яких наявні зайві Y-хромосоми, також рідко звертаються до фахівців і не знають про свою особливість. Однак з'ясувалася цікава закономірність: число носіїв зайвої Y-хромосоми серед ув'язнених суттєво перевищує число таких людей у середньому серед людської популяції. Виявилося, що наявність у каріотипі зайвої Y-хромосоми провокує в чоловіка агресивність. Зовні такі хворі виглядають як великі високі чоловіки із занадто довгими руками й лютим виразом обличчя.

Хвороби зі спадковою схильністю. Крім захворювань, що чітко успадковуються, існує значна категорія хвороб зі спадковою схильністю. Для того, щоб розвинулося таке захворювання, необхідна комбінація двох факторів: спадковості й впли-

ву середовища. До таких захворювань відносять ішемічну хворобу, цукровий діабет, ревматоїдні захворювання, виразки шлунку й дванадцятипалої кишки, онкологічні хвороби, шизофренія та інші захворювання психіки. Якщо людина зі спадковою схильністю до якихось захворювань буде дотримувати відповідного режиму, вести здоровий спосіб життя, то хвороби не розів'ються.

Слід пам'ятати, що всі питання здоров'я, пов'язані з медичною генетикою, необхідно розв'язувати через систему медико-генетичних консультацій. Основна мета медико-генетичні консультування — інформувати зацікавлених осіб про ймовірність ризику появи в потомстві хворих. Для цього аналізують роль генотипу в розвитку даного захворювання й прогнозують ризик народження нездорових нащадків. До медико-генетичних заходів відносять також пропаганду генетичних знань серед населення — це допомагає запобігти народженню хворих дітей.



Генетика людини вивчає закономірності спадковості й мінливості ознак людини. Цей напрям має певне обмеження на застосування деяких традиційних методів дослідження, адже на генетичні процеси людини накладають відбиток і соціальні фактори.

Медична генетика — наукова галузь про спадкові аспекти медичних проблем. Існують спадкові хвороби й хвороби зі спадковою схильністю. **Спадкові захворювання поділяють на патології, що відбуваються на рівні генів і хромосом, а також патології, що стосуються числа хромосом, частіше за все статевих.**



1. У чому полягають особливості генетичних досліджень людини? **2.** Які групи спадкових захворювань вам відомі? **3.** Наведіть приклади генних захворювань із домінуючим і рецесивним типом успадкування. **4.** Що викликає синдроми Клайнфельтера та синдром Шерешевського-Тернера? Які ще патології, пов'язані з числом хромосом, ви знаєте?



- Чи можна вивести генетично ідеальну людину?

Лабораторне дослідження № 3

Тема. Дослідження мінливості в рослин і тварин. Побудова варіаційного ряду та варіаційної кривої.

Мета: навчитися оцінювати модифікаційну мінливість живих організмів, будувати варіаційний ряд та варіаційну криву, підраховувати середнє значення й підтверджувати чи спростовувати нормальний характер мінливості.

Обладнання та матеріали: боби квасолі (не менш ніж 30 шт.), штангенциркуль або лінійка.

Теоретична частина. Різноманітний стан біологічних об'єктів є загальною властивістю будь-якої біологічної системи. Саме тому однією з найбільш поширених задач, яку необхідно вирішувати, є оцінка ступеня мінливості організмів чи будь-яких їхніх частин. Для цього проводять серію вимірів чи зважувань, потім будують варіаційний ряд, далі — варіаційну криву та підраховують статистичні параметри, найважливішим з яких є середнє значення. Причому у випадку, якщо розподіл об'єктів за параметрами, що вивчають, є нормальним, то й величина середнього значення буде збігатися з піком значень у варіаційній кривій.

Хід роботи.

Варіант 1

1. Виміряйте в міліметрах довжину і ширину не менш, ніж 30 бобів (вимірювати ширину сім'ядолі зручно, поклавши біб «на бік»). Запишіть результати вимірів на чернетці.
2. Заповніть таблицю.

Довжина бобу									
Розмірні класи	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм
Кількість бобів									
Ширина бобу									
Кількість бобів									

5. Намалюйте варіаційну криву, відкладаючи по осі абсцис довжину бобів L або їх ширину H , а по осі ординат — кількість бобів певного розмірного класу. Після з'єднання точок лінією, у вас вийде варіаційна крива.

3. Обчисліть за формулою середню арифметичну довжину та ширину бобів.
4. Зробіть висновок про те, чи є розподіл ознак у вашому дослідженні нормальним.

Варіант 2

Проведіть відповідні дії, що зазначені у варіанті 1, використавши як ознаку довжину правої долоні учнів свого класу. Для цього можна скористатися звичайною лінійкою.

Практична робота № 3

Тема. Складання схем схрещування.

Мета: навчитися складати схеми схрещування, використовуючи спеціальну символіку

Теоретичні відомості. Схрещування особин, що чітко відрізняються за своїми генотипами, називають гібридним, а потомство — гібридами. Для запису результатів схрещувань використовують спеціальні символи. Гени однієї алейної пари позначають певною літерою латинського алфавіту. Домінантні алелі записують великою літерою, а рецесивні алелі — малою. Запис AA означатиме гомозиготний генотип за двома домінантними аелями; aa — гомозиготний генотип за рецесивними аелями; Aa — гетерозиготний генотип.

Схема схрещування, записана за допомогою умовних позначок

Батьки	♀	♂
P (генотипи батьків)	AA	aa
	×	
G (гамети батьків)	A	a
F₁ (гібриди першого покоління)	Aa	

Під час написання схеми схрещування в генетиці батьківське покоління позначають буквою P ; знаком \times — схрещування. На перше місце ставлять жіночу стать (♀), на друге — чоловічу (♂). Гібриди, одержані в результаті схрещування, позначають буквою F ; перше покоління — F_1 , друге — F_2 . Гамети позначаються літерою G . Гомозиготний організм продукує гамети одного типу, що несуть лише один алель, гетерозиготні — два типи гамет, що несуть різні алелі в рівному співвідношенні.

Завдання

1. Складіть схему схрещування двох особин, гетерозиготних за генотипами (Aa).

2. Складіть схему схрещувань, коли материнська особина мала гетерозиготний генотип Аа, а батьківська була гомозиготою аа.

Проект 1

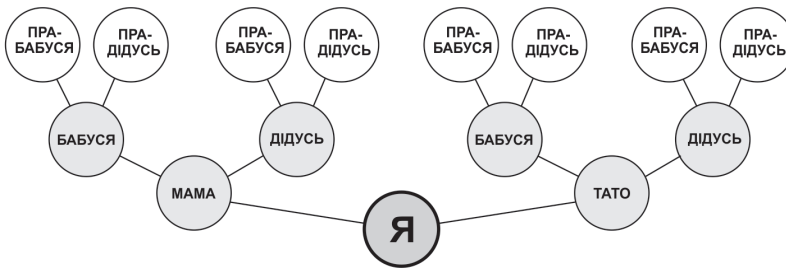
Тема. Складання власного родоводу.

Інструктивна картка. Метод родоводів полягає у вивченні успадкування будь-якої ознаки в ряді поколінь піддослідної людини. Для цього потрібно залучити чи обстежити якомога більше членів однієї родини й скласти родовідну таблицю. Це дозволить вивчити успадкування будь-якої ознаки в ряді поколінь піддослідного. Вивчаючи родовід, можна з тією чи іншою ймовірністю передбачити успадкування звичайних ознак майбутніх нащадків, наприклад, зовнішності людини: колір очей, кучерявість волосся, форма носа тощо.

Завдання 1. Скласти таблицю свого родоводу із залученням максимальної кількості родичів за поданою схемою. За ознаку взяти колір очей чи волосся. Потрібно пам'ятати, що гени, які визначають темні (карі) очі та волосся, домінують над генами, що визначають зелені, сірі, блакитні очі та світле волосся. Врахуйте — темними кружками позначають домінуючу ознаку, білим — рецесивну.

Завдання 2. Під час схрещування двох садових рослин нічної красуні, що мають рожевий колір забарвлення квіток, у потомстві з'явилися особини трьох фенотипів: малинове забарвлення — 26 особин, рожеве — 49 та біле — 24. Установіть генотипи батьківських особин і потомків з різними фенотипами забарвлення квіток, побудувавши схему схрещувань. Який тип взаємодій алелів у даному випадку?

Завдання 3. Під час схрещування самки миші із сірим забарвленням хутра та самцем з білим забарвленням народилися білі й сірі мишенята у рівному співвідношенні. Побудуйте схему схрещувань і визначте генотипи батьківських особин. Який фенотип забарвлення хутра є домінуючим, а який — рецесивним?



Тестові завдання до теми 5

5.1 Основа генеалогічного методу дослідження є

- А схрещування
 В аналіз близнюків
 Б аналіз родоводів
 Г гібридизація

5.2. Першовідкривачем законів генетики є

- А Т. Морган
 В Г. Мендель
 Б Г. де Фріз
 Г Дж. Ватсон та Ф. Крік

5.3. Гени, які розташовані на гомологічних ділянках гомологічних хромосом

- А домінуючі
 Б рецесивні
 В алельні
 Г різні

5.4. Кількість типів гамет, які несуть особини з генотипом АаВв

- А 2
 Б 4
 В 8
 Г 16

Тема 6. ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ

§ 39. Світоглядні та наукові погляди на походження та історичний розвиток життя

Терміни й поняття: спонтанне самозародження живих істот, хімічна еволюція (абіогенез), креаціонізм, протобіонти, археобіонти, теорія панспермії, еволюція.

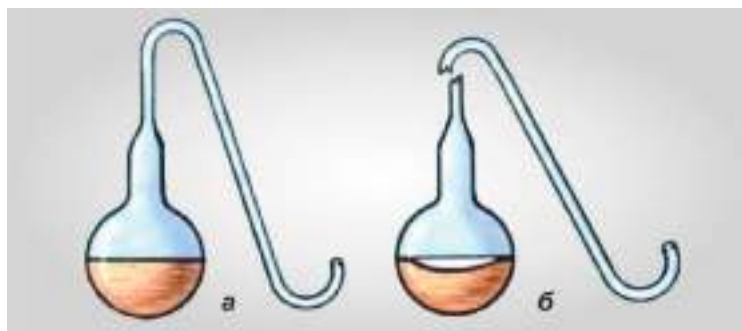
Ідея самозародження життя. Перші думки про те, як на Землі з'явилося життя, були висловлені ще прадавніми мудрецами. У той час ідея спонтанного самозародження живих істот з неживих матеріалів (пилу, ґрунту, залишків їжі) сприймалася як належне (іл. 39.1). У Середньовіччі уявлення про походження життя набули форми релігійної догми, одним з постулатів якої була ідея, що живі істоти можуть виникати під впливом животворного духу.

Ця ідея побутувала аж до XIX ст., хоча вже тоді вважали, що властивість спонтанного самозародження живого з неживого мають лише одноклітинні організми. Остаточно цю ідею розвінчав у 1865 р. видатний мікробіолог Луї Пастер.

Суть ідеї: якщо в закритій корком колбі тривалий час кип'ятити будь-яке поживне середовище, то воно буде залишатися стерильним, поки не буде відкритий корок. Однак прихильники самозародження не сприймали цей доказ як переконливий, вважаючи, що для самозародження необхідне чисте, а не прогріте повітря. Тому на замовлення Луї Пастера була виготовлена спеціальна колба з вигнутим у вигляді лебединої шиї відкритим горлечком (іл. 39.2).



39.1. Середньовічний алхімік



Іл. 39.2. Схема дослідів Л. Пастера в колбах із S-подібним горлом: а — в колбі із S-подібним горлом поживне середовище після кип'ятіння довго залишалося стерильним; б — якщо усунути S-подібне горло, то в середовищі швидко розвиваються мікроорганізми



Луї Пастер
(1822–1895)

У такій колбі після кип'ятіння живильний бульйон не проростав бактеріями, як і в колбі, що закрита корком. Л. Пастер пояснював це тим, що мікроорганізми, які проникають у таку колбу разом з повітрям, осідають на вигинах горлечка. Свої слова він підтвердив, добре струсонувши колбу — так щоб бульйон омив стінки горлечка. Після цього за деякий час у відварі з'явилися бактерії. У такий спосіб було доведено, що в середовищі, позбавленому мікроорганізмів, навіть за ідеальних умов неможливе їх самозародження.

Зараз ідеї спонтанного самозародження організмів повністю вилучені з біології, а їх притулком залишається *креаціонізм* (від лат. *креаціо* — творення) — релігійно-філософська концепція, яка розглядає різноманітність живої природи, людство, Землю й світ загалом як акт творення вищою, надприродною силою.

Абіогенез. Заперечення ідеї можливості спонтанного зародження організмів у сучасних умовах не суперечить науковим уявленням про те, що життя на Землі виникло з неорганічної матерії мільярди років тому в особливих умовах у результаті хімічної, або, як її ще називають, передбіологічної еволюції — поступального процесу появи нових хімічних сполук, більш складних і високоорганізованих порівняно з вихідними речовинами, що відбувався на Землі перед виникненням життя. Ця ідея передбіологічного розвитку природи, який спричинився до утворення життя, одержала назву *абіогенез* (від грец. *а* — не, *біос* — життя, *генезис* — походження).

Підстави, які дають можливість вважати, що життя на Землі виникло в результаті хімічної еволюції. Матеріальна сутність живих тіл доволі проста: вони побудовані з полімерних органічних речовин, основу яких становлять сполуки атомів Карбону, а процес життєдіяльності — це сукупність упорядкованих хімічних реакцій, що чітко впливають одна з одної. З точки зору законів хімії та фізики у біологічних процесах немає нічого особливого і їх можна легко відтворити в лабораторних умовах, для чого необхідно подумки розкласти метаболізм організму спочатку на біохімічні цикли, а потім на окремі реакції, а клітину відповідно на структури й макромолекули, з яких вона побудована. Звідси можна уявити собі логіку поступового ускладнення будови хімічних сполук і реакцій, що могло відбуватися 3–4 мільярдів років тому. Потім у лабораторії, в умовах, що імітують події на Землі, спочатку здійснити синтез найпростіших біологічних сполук, потім з них одержати біополімери, що мають каталітичну активність, і лише потім — структури, що нагадують клітинну мембрану.

Науковий сценарій походження життя на Землі шляхом хімічної еволюції. Спочатку в особливих умовах, що в той час склалися на Землі, з неорганічних сполук відбувся синтез простих органічних речовин: карбонових кислот, амінокислот, вуглеводів, азотистих основ. Для цього на Землі були всі умови: вдосталь води, метану, аміаку й ціанідів, відсутність вільного Оксигену й інших окиснювачів, а також надлишок вільної енергії у вигляді ультрафіолетового світла, електричних розрядів і вулканічної діяльності.

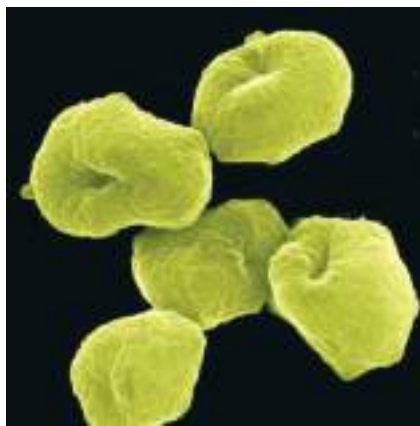
Наступним етапом став синтез органічних полімерів. Каталізаторами могли слугувати йони металів, а матрицею — частинки глини. У результаті в «первин-

ному бульйоні» плавали різні поліпептиди й найпростіші ліпіди, які сполучалися один з одним, утворюючи більш складні багатомолекулярні комплекси, що мали вигляд крапель із чіткими межами. Далі відбулося утворення комплексів білків та нуклеїнових кислот і пов'язаних з цим реакцій матричного типу й виникнення ліпідних мембран. Завершився процес хімічної еволюції утворенням *протобіонтів* (від грец. *протос* — первинний і *біос* — життя) — перших біологічних систем, які нагадували сучасні одноклітинні організми. За час їх існування утворилися справжні ферменти, різко зросла стійкість матричного синтезу й почали утворюватися клітинні мембрани. Саме з них більш ніж 3,5 млрд років тому виникли *археобіонти* (від грец. *археос* — стародавній і *біос*) — перші одноклітинні організми, які нагадували сучасні бактерії (іл. 39.3).

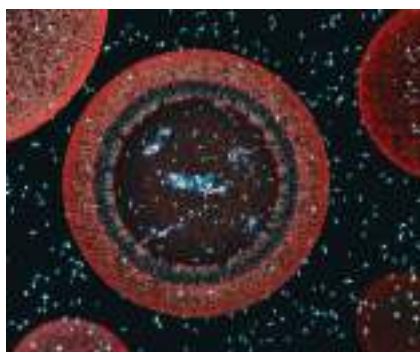
Слід зазначити, що й дотепер у лабораторних умовах не вдалося синтезувати живі організми з простих неорганічних сполук. Проте є конкретні успіхи, які дають підставу вважати, що *передбіологічна еволюція* — це перспективна гіпотеза, що становить неабиякий науковий інтерес. На цей час у пробірках з неорганічних речовин не лише вдалося одержати амінокислоти й синтезувати з них найпростіші поліпептидні ланцюги, але із цих поліпептидів і води створити *протоклітини* — частинки сферичної форми (іл. 39.4), що складаються з поліпептидних ланцюгів, які можуть збільшуватися в розмірах, ділитися й брунькуватися. Вони мають і ферментативну активність.

Концепція космічного виникнення життя на Землі. Наукова ідея, згідно з якою життя могло бути занесене з космосу, одержала назву *концепції панспермії* (від грец. *пан* — усі, *сперматос* — насіння).

Спочатку її висловив німецький учений Ганс Рихтер у 1865 р., а потім обґрунтував шведський астроном, фізик і хімік Сванте Арреніус (1859–1927), який підрахував, що фотони світла тиснуть на частинки, що дорівнюють за діаметром спорам бактерій. Завдяки цьому спори з величезними швидкостями можуть переміщатися в міжпланетному просторі. Також передбачають, що спори могли потрапити на Землю з метеоритами або космічним пилом. Це припущення має своє непряме підтвердження в тому, що спори бактерій можуть перебувати в стані спокою тисячоліттями. Вони витримують тривале перебування за температури абсолютного мінімуму (–273 °С), надзвичайно стійкі до радіації й ультрафіолетового випромінювання, вакууму та інших хімічних і фізичних впливів.



Іл. 39.3. Перші живі істоти — археобіонти — нагадували сучасних примітивних прокаріотів



Іл. 39.4. Протоклітина

Надзвичайну стійкість до факторів космічного середовища мають не лише спори бактерій, але й *тихоходи* — окремий клас типу Членистоногі (іл. 39.5).



Іл. 39.5. Представник класу Тихоходи

У стані діапаузи ці мікроскопічні, схожі на ведмежат тваринки витримують: нагрівання до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$, охолодження до $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$, перебування у вакуумі, тиск близько 6 000 атмосфер (що в шість разів перевищує тиск на дні найглибшого місця в океані), перебування у чистому водні, висихання тривалістю понад 100 років, повну відсутність кисню. Вплив найсильнішого рентгенівського випромінювання (570 тис. рентген) убиває лише 50 % особин, що опромінюються (для людини смертельною дозою радіації є 500 рентген).

Проте детальні космічні та інші дослідження не дали безсумнівних фактів, які підкріпили б гіпотезу панспермії. Не виявлено присутності яких-небудь живих частинок у космосі або на планетах Сонячної системи. До цього часу немає даних, які підтверджують реальність заносу одноклітинних істот у метеоритах. Але навіть якщо припустити, що перші організми потрапили на Землю з космосу, їм підійшли невідповідні для життя умови, що були 3–4 млрд років тому, і вони змогли розмножитися й дати початок життю на Землі, все одно залишається нез'ясованим питання про первісне виникнення життя у Всесвіті й можливості передбіологічної еволюції.

Біологічна еволюція. Дослідження тисяч вчених — зоологів, ботаніків, генетиків, палеонтологів, біологів інших спеціальностей, проведені за останні 250 років, показали, що весь світ перебуває у стані безперервного руху. Якщо історія людства — це зміна лідерів, політичних систем, піднесення одних народів або держав над іншими, а потім їх занепад, то історія органічного світу — це вимирання або відхід у «тінь» життєвого простору одних видів і прихід їм на зміну інших.

У результаті утворюються нові угруповання тварин і рослин, які щоразу по-новому формують вигляд Землі.

Еволюція (від грец. *εволюціо* — розгортання) — історичний розвиток життя на Землі. Цей термін запропонував швейцарський зоолог Шарль Бонне (1720–1793), який спостерігав за розвитком партеногенетичних попелиць. Він помітив, що в новонароджених самок завжди наявні зачатки майбутнього покоління. Учений висловив думку, що в організмі найпершої самки, яка започаткувала новий вид, були закладені всі майбутні покоління.

Поширивши цю гіпотезу на весь світ живого, він уявив його як розгортання природи від нижчих форм до вищих. Така ідея про розвиток живого сподобалася тогочасним ученим і термін прижився.

Чим біологічна еволюція відрізняється від інших історичних процесів? Виявляється, що, порівняно з іншими історичними подіями, біологічна еволюція має ряд важливих особливостей:

- біологічна еволюція має пристосувальний характер, який проявляється в обов'язковій відповідності новоутворених організмів до умов їх існування;
- біологічна еволюція протікає в ряді поколінь, а тому можна вважати, що кожна нова генерація організмів чимось, нехай навіть ледь помітним, відрізняється від попередньої;
- розвиток органічного світу має незворотний характер, а отже, вимерлі тварини й рослини ніколи не відродяться.



Вважають, що **виникнення життя на Землі є наслідком хімічної еволюції**. Цей процес передував виникненню життя й полягав у появі нових і все більш складних хімічних сполук. У наш час хімічна еволюція залишається дуже правдоподібною науковою гіпотезою, яка в міру розширення досліджень у цій галузі знаходить усе більше підтверджень. **Органічна еволюція — це процес історичного розвитку живої природи, спрямовані зміни організмів, видів, їх угруповань і Землі в цілому.**



1. У чому полягають істотні відмінності ідей самозародження й абіогенезу?
2. Що таке хімічна еволюція та які її основні положення?
3. У чому полягає обмеженість ідеї панспермії?
4. Сформулюйте, що таке еволюція.
5. Чим біологічна еволюція відрізняється від інших історичних процесів?



- Життя на планеті Земля — це унікальне чи звичайне явище, що трапляється на інших планетах Всесвіту? Відповідь обґрунтуйте.

§ 40. Виникнення еволюційної теорії. Теорії Ж. Б. Ламарка та Ч. Дарвіна

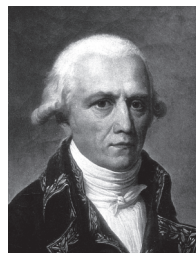
Терміни й поняття: еволюційна теорія; дарвінізм, боротьба за існування; природний добір;

Жан Батист Ламарк і його теорія. Одним з авторів терміна «біологія» був французький натураліст, зоолог і філософ Жан Батист Ламарк, внесок якого у біологію надзвичайно вагомий. Він автор першої еволюційної теорії, суть якої виклав у праці «Філософія зоології», опублікованої в 1809 році. Ламарк вважав, що всі рослини й тварини — справжнє надбання природи; вони не існували споконвіку, а виникли свого часу з неорганічної природи. Види змінювані, але утворення нових видів відбувається вкрай повільно, а тому непомітно. Головною рисою історичного розвитку живого є процес сходження від простого до складного.

Картина еволюційних змін організмів, згідно з теорією Ламарка, мала такий вигляд. Спочатку відбуваються зміни середовища існування, відповідно до цього змінюються потреби організму, характер роботи його органів.

Це спричиняє до тренування одних органів і занепад інших. У результаті органи починають змінюватися: потрібні організму — розвиваються, а непотрібні — зникають. Набуті у процесі життя зміни успадковуються.

Унаочнюють теорію Ламарка такі міркування її автора: «... прагнучи уникнути необхідності занурювати тіло у воду, птах робить усілякі зусилля, щоб видовжити ноги. У результаті засвоєної даним птахом та іншими осо-



Жан Батист
Ламарк
(1744–1829)

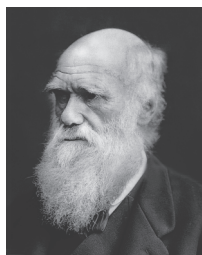
бинами його породи звички постійно видовжувати ноги, усі особини цієї породи ніби стають на ходулі, оскільки помалу в них формуються довгі ноги, позбавлені п'р'я до стегна, а часто й вище» (іл. 40.1).



Іл. 40.1. Чапля

Завдяки експериментальним дослідженням був накопичений значний фактичний матеріал. Біологи дедалі більше опиралися на конкретні наукові дані, а не на абстрактні міркування. Саме тоді було зроблене перше біологічне узагальнення, згодом назване теорією, значимість якої не втрачена й донині.

Більшість тогочасних біологів уже не сумнівалася, що еволюція є реальною: природа змінювана, одні види приходять на зміну іншим, а життя на Землі розвивається. Тому на порядку денному постало питання не доказів еволюції як такої, а необхідність з'ясування механізмів еволюційних перетворень. Насамперед наукова спільнота чекала відповіді на запитання: що змушує живі організми змінюватися в часі? Іншими словами — виникла потреба з'ясувати причини й фактори еволюції.



Чарльз Дарвін
(1809–1882)

Відповідь на це питання вченим дав англійський натураліст, мандрівник і дослідник Чарльз Роберт Дарвін у праці «Походження видів шляхом природного добору», у якій він виклав своє бачення механізмів еволюційних перетворень.

Ідеї цієї книги зводяться до того, що організми розмножуються в геометричній прогресії, проте до дорослого стану доживає лише незначна їх частина. Отже, більшість особин гинуть у боротьбі за існування, яка проявляється, головню, у конкуренції особин одного виду між собою за кращі місця проживання, їжу, ресурси; у тварин самці, до того ж, змагаються за самку.

Для природи характерна загальна мінливість. Кожний організм має певні індивідуальні особливості, що відрізняють його від інших. За Дарвіном, у природі мають місце неспадкова групова (нині її називають модифікаційною) й спадкова індивідуальна мінливість. Саме остання форма мінливості, згідно з теорією Дарвіна, відіграє ключову роль в еволюції, постачає для неї матеріал.

Особини одного виду відрізняються одна від одної, а тому мають різні шанси вижити й залишити потомство. Частіше виживають і, відповідно, залишають потомство більш пристосовані до умов проживання організми, які володіють особливо корисними у боротьбі за життя ознаками чи властивостями. Саме це виживання найбільш пристосованих у боротьбі за існування організмів і є природним добром. За Дарвіном, саме природний добір є основним чинником — рушійною силою еволюційного процесу. Як головний доказ реальності природного добору Дарвін наводив приклади штучного добору, за допомогою якого людина вивела безліч потрібних їй порід тварин і сортів рослин з невідомими у природі властивостями (іл. 40.2).

Так само і природа за допомогою природного добору створює потрібні їй види.

Оскільки середовище життя організмів постійно змінюється, то щоразу в боротьбі за існування перевагу мають особини з новими ознаками, які спадково закріплюються. Ці зміни, що накопичуються під дією природного добору, поширюються в ряді поколінь і неминуче ведуть до істотних змін будови тіла й особливостей функціонування цілих груп особин. У результаті утворюється новий вид.

Таким чином, основоположна ідея вчення про природний добір — головну рушійну силу органічної еволюції — полягає у виживанні найбільш пристосованих у боротьбі за існування. Найпристосованішими слід вважати організми, які залишили найбільше нащадків.

Причини успіху еволюційної теорії Дарвіна. На відміну від теорії Ламарка, еволюційну теорію Дарвіна захоплено сприйняли не лише науковці, але й уся освічена європейська громадськість того часу.

Перший тираж «Походження видів...», що побачив світ 24 листопада 1859 р., розійшовся за кілька днів. Такий успіх був зумовлений зрозумілою та чіткою логікою теорії природного добору, аргументованістю доказів. Крім того, ідея виживання в конкурентній боротьбі найдужчих і найпристосованіших відповідала духові часу — стану капіталістичних відносин середини XIX ст., отже, була природною й зрозумілою для суспільства.

Значення еволюційної теорії Дарвіна. Учення Дарвіна про еволюційне значення природного добору як головного фактора еволюції має назву дарвінізм.

Більшість сучасних біологів взагалі ототожнюють його з теорією еволюції, тобто ідеєю історичного розвитку живого та вважають єдино правильним трактуванням механізмів еволюційного процесу. На відміну від еволюційного вчення Ламарка, Дарвін у своїй праці не лише доводив факт еволюції, а й першим запропонував



Іл. 40.2. Виникнення порід голубів як результат штучного добору

прийнятні для тогочасної науки природничо-наукові механізми еволюційного процесу. Завдяки теорії Дарвіна в біології відбулися прогресивні зміни, які можна порівняти з науковою революцією. Еволюційне вчення почало проникати в усі біологічні дисципліни. З'явилися зовсім нові наукові напрями біології — порівняльна анатомія й фізіологія, еволюційна морфологія, еволюційна ембріологія тощо. Істотний прогрес був досягнутий у систематиці й філогенії. Система тварин і рослин перестала бути штучною, вона дедалі більше стала базуватися не на зовнішній схожості організмів, а на їх філогенетичній спорідненості.



Автором першого еволюційного вчення, згідно з яким життя на Землі — результат органічної еволюції, є французький учений Ж. Б. Ламарк, який, однак, не зміг сформулювати природні причини еволюційного розвитку. Це зробив англійський натураліст і вчений Ч. Дарвін, який висунув ідею природного добору як головної рушійної сили еволюції. Саме тому **Ч. Дарвіна визнають засновником сучасної теорії еволюції** — він не лише переконливо довів її реальність, а й обґрунтував її природні чинники.



1. У чому полягає головний сенс теорії Ж. Б. Ламарка; які її положення виявилися неправильними? **2.** У чому полягає заслуга Ч. Дарвіна як ученого? **3.** Назвіть головні положення теорії Ч. Дарвіна? **4.** Які організми згідно з теорією Ч. Дарвіна є найбільш пристосованими? **5.** Чому теорія Ч. Дарвіна так швидко здобула значну кількість прихильників?



- Чому еволюційна праця Ж. Б. Ламарка була названа «Філософія зоології»?
- Відомо, що органічна еволюція протікала від простих організмів до складних, але чи можна вважати, що складно організовані істоти є більш пристосованими, ніж низько організовані?

§ 41. Докази реальності еволюції

Терміни й поняття: палеонтологія, геологічні епохи, послідовність викопних форм, живі викопні або релікти, рудименти, атавізми, закон зародкової подібності, біогенетичний закон, молекулярна філогенія.

Докази еволюції. Сукупність наукових даних, отриманих ученими різних біологічних дисциплін, які підтверджують походження всіх живих істот на Землі від спільного предка, мають назву *докази еволюції*. Зазвичай наукові відомості, що обґрунтовують теорію еволюції, поділяють на чотири групи: *палеонтологія* — наука про вимерлих тварин та рослини; *порівняльна анатомія* — дисципліна, що вивчає та порівнює будову різних організмів; *ембріологія* та *молекулярно-генетичні дані*.

Дані палеонтології — найвагоміші аргументи на користь існування еволюційного процесу. Факти цієї науки мають таке значення тому, що зміни у прадавні часи тваринного та рослинного світу чітко відбувалися відповідно до зміни геологічних епох, кожна з яких відбиває певний період історії.

Проблемою визначення віку Землі займається *геологія* (від грец. *geo* — Земля і *logos*). Тому докази історичного розвитку життя на нашій планеті, здобуті фахівцями іншої галузі природознавства та ще й іншими методами, є особливо переконливими (іл. 41.1).

Головним палеонтологічним доказом реальності еволюції є не просто знахідки решток прадавніх вимерлих тварин або рослин, а й те, що ці викопні залишки



Іл. 41.1. Послідовні шари землі, що утворені відкладами різного віку

утворюють послідовність викопних форм, що відповідає процесу еволюційних перетворень певної групи організмів.

Наприклад, якщо п'ятипалу кінцівку прадавнього предка сучасних коней (іл. 41.2), вік існування якого визначають у 100 млн років, порівняти зі ступнею сучасного коня, важко знайти в них щось спільне. У першому випадку — це типова кінцівка п'ятипального типу, властива більшості сучасних ссавців, у другому — ступня лише з одним третім пальцем. Однак знахідки в Північній Євразії безлічі проміжних за своєю будовою викопних форм показують, що насправді вони — два крайні варіанти одного еволюційного ряду.

Що давніші викопні рештки, то глибше вони залягають у шарах Землі.

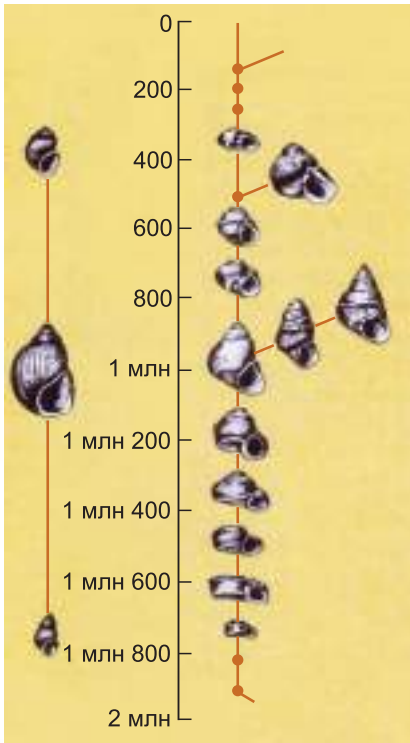
Саме ця послідовність залягання дає можливість відстежити, як одні види змінювали інші. Тому в процесі палеонтологічних розкопок ґрунт знімають шар за шаром, чітко фіксуючи, в якому шарі та в якій послідовності знайдені ті чи інші рештки.

Найбільш придатними об'єктами для вивчення еволюційного ряду вимерлих форм є рештки тварин з твердим скелетом, на яких добре видно ознаки виду. Найчастіше це черепашки молюсків (іл. 41.3) або кістки чи зуби ссавців.

Знаючи геологічний вік шарів землі, можна визначити часовий діапазон (у мільйонах років), у якому жив вид. У міру нагромадження даних і відновлення послідовності викопних форм з'являється навіть можливість вирішення зворотного завдання — визначення віку шарів землі за фрагментами кісток викопних форм.

Іл. 41.2. Історична послідовність розвитку однопалої кінцівки сучасного коня від п'ятипалої кінцівки викопного предка





Лл. 41.3. Послідовність форм черепашок викопних молюсків

Типовими реліктами в царстві тварин (іл. 41.5) є *мечохвости* — гігантські морські членистоногі, що сягають 60 см завдовжки; кистепера риба *латимерія*, рептилія *гатерія*, яка зовні нагадує ящірку, що збереглася на кількох дрібних островах поблизу Нової Зеландії; із ссавців — яйцекладні (*качконіс* і *східна*), які ще мають чіткі ознаки плазунів.



Лл. 41.4. Гінкго дволопатеве

Це означає, що всі живі істоти походять від спільного предка, якою була примітивна одноклітинна істота.

До того ж, організми однієї систематичної групи мають однаковий план будови тіла, наприклад, усі членистоногі характеризуються зовнішнім скелетом з хітину, всім молюскам властива черепашка, основу тіла хребетних становить внутрішній скелет з кісток. Невипадково, що одним із ключових положень порівняльної анатомії є принцип: що ближча спорідненість організмів, то вища їх подібність за ознака-

«Живі викопні». За мільйони років від колись живих істот залишаються лише скам'янілі фрагменти тіла, тому перед палеонтологами постає доволі складне завдання — відтворити вигляд цілого організму часто навіть за однією деталлю тіла.

Такі реконструкції багато в чому залежать від підготовки, знань і уяви дослідника, а отже, почасти суб'єктивні й викликають сумніви у скептиків. Тому особливою цінністю як докази правильності палеонтологічних реконструкцій є «живі викопні», або релікти (від лат. *реліктум* — залишок).

Це види або групи близьких видів прадавнього походження, які змогли дожити до наших днів, маючи низку ознак вимерлих тварин або рослин минулих геологічних епох. У царстві рослин реліктом є вид голонасінних *гінкго дволопатеве*. Цьому представнику стародавнього рослинного світу близько 300 млн років (іл. 41.4). У дикому вигляді дерево збереглося в Китаї, а зараз добре почуватися у багатьох парках і ботанічних садах, у тому числі України.

Значення відомостей про будову організмів. Одразу ж слід зазначити, що живі організми побудовані за єдиним принципом — адже всі вони складаються із клітин, які мають єдиний план будови.

Одразу ж слід зазначити, що живі організми побудовані за єдиним принципом — адже всі вони складаються із клітин, які мають єдиний план будови.



Іл. 41.5. Реліктові тварини: а — мечохвіст, б — латимерія, в — гатерія, г — качконіс

ми (мають однаковий план будови, розвиваються в ембріогенезі з одних зачатків і виконують однакові функції). Такі ознаки називають *гомологічними* (від грец. *го-мологія* — відповідність).

Гомологічними, наприклад, є парні кінцівки всіх хребетних (іл. 41.6). Вони не лише мають однакове ембріональне походження, а в амфібій, рептилій, птахів і ссавців складаються з однакових кісток, що кріпляться до осьового скелету за допомогою поясів кінцівок.

Кінцівки ж членистоногих лише *аналогічні* (від грец. *аналогія* — схожість) до кінцівок хребетних. Вони виконують ту ж функцію, що й органи руху, але є похідними зовнішнього скелета — кутикули.

Аналогічними органами також є крила птахів і метеликів, очі головоногих молюсків і ссавців (іл. 41.7).



Іл. 41.6. Гомологічність кінцівок хребетних



Іл. 41.7. Аналогічні органи: побудовані в різний спосіб очі корови (а) та кальмара (б)

Прикладом гомологічних органів рослин, які виконують різні функції й зовні зовсім несхожі, є численні видозміни листкових пластинок: вусики гороху, стеблові лусочки хвоща, колючки барбарису, лусочки на кореневищі й брунькові луски. Дивний перехідний ряд від пелюсток до тичинок латаття показує, яким чином у процесі еволюції виникли тичинки. У рослин також можна знайти безліч аналогічних органів. Наприклад, колючки барбарису виникають із листків, білої акації — із прилистків, глоду — з пагонів, а колючки ожини є похідними кори.

Рудименти та атавізми як анатомічні докази еволюції. Переконливими доказами процесу еволюції є *рудименти* (від лат. *рудіментум* — зачаток) й *атавізми* (від лат. *атавус* — предок) — недорозвинені органи або структури тіла, які втратили своє функціональне значення.

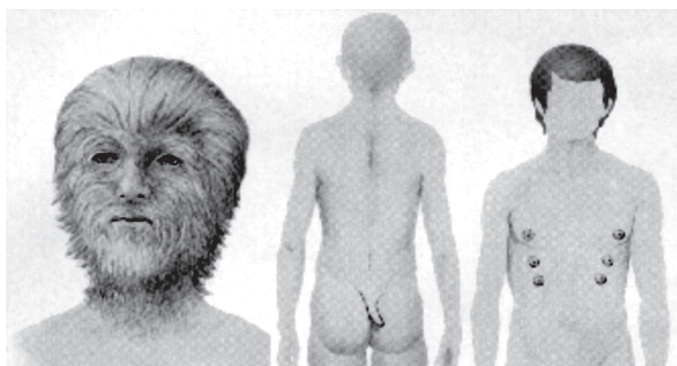


Іл. 41.8. Ківі — птах з редукованими крилами

Відмінність рудиментарних органів від атавістичних полягає в тому, що перші трапляються в усіх без винятку особин даного виду, а другі — лише в окремих із них. Типовими прикладами рудиментарних органів тварин є редукція таза в китоподібних або крил у нелітаючого птаха ківі, що живе в Новій Зеландії (іл. 41.8).

Рудиментарні органи та атавізми є й у людини. Їх наявність доводить змінюваність людини як біологічного виду та вказує на її спорідненість з іншими ссавцями.

Рудиментами людини є вушні м'язи та підшкірна мускулатура. Прикладами атавізму можна назвати випадки появи в людей рудиментарного хвоста, надзвичайно сильного волосяного покриву на тілі (іл. 41.9) і наявність кількох пар сосків.



Іл. 41.9. Атавізми людини

Дані ембріології також є прямими доказами реальності еволюційного процесу. Насамперед його доводить закон зародкової подібності, який сформулював видатний натураліст Карл Бер (1792–1876) у першій половині XIX ст.: «Що більш ранні стадії індивідуального розвитку досліджуються, то більше подібності виявляється між різними організмами».

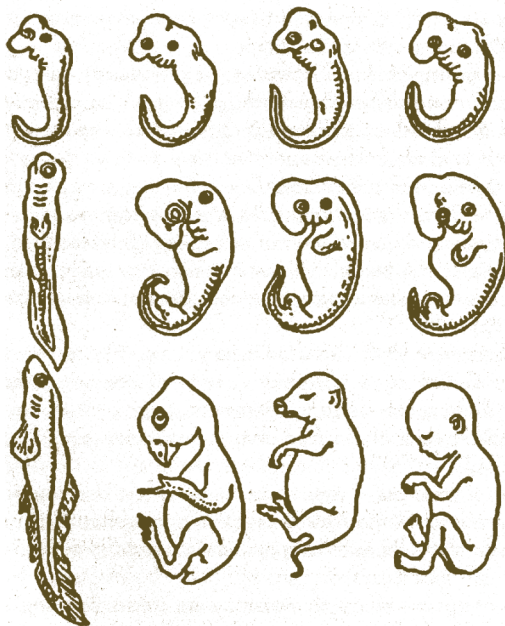
На ранніх стадіях розвитку ембріони хребетних не відрізняються одні від одних. Лише на середині ембріогенезу в зародків з'являються ознаки, характерні для риб і амфібій, а ще пізніше — ознаки, властиві рептиліям, птахам і ссавцям. Очевидно, що в цьому випадку зародкова подібність свідчить про спільність походження та єдність початкових етапів еволюції всіх хребетних (іл. 41.10).

У другій половині XIX ст. німецькі вчені Фріц Мюллер (1822–1897) та Ернст Геккель (1834–1919) пішли далі й сформулювали біогенетичний закон, згідно з яким кожна особина у своєму індивідуальному розвитку повторює історію розвитку свого виду. Зазвичай цей закон формулюють дуже коротко: «Онтогенез — це швидке повторення філогенезу».

Научною ілюстрацією правильності біогенетичного закону є життєвий цикл безхвостих амфібій. Виявляється, зовсім не обов'язково вивчати викопні рештки прадавніх риб, щоб зрозуміти — земноводні пішли від риб. Для цього досить вивчити будову личинок жаб — пуголовків (іл. 41.11). Вони, як і риби, мають хвостовий і непарні плавці, зябра, двокамерне серце, одне коло кровообігу та навіть специфічний для риб орган чуття — бічну лінію.

Молекулярно-генетичні дані. Одним з головних правил біології є принцип єдності хімічного складу живих організмів. За основу біохімічної універсальності живого взято дві групи речовин: білки та нуклеїнові кислоти. Проведені за останні десятиліття дослідження показали, що спорідненість видів чітко відбивається в їх подібності на рівні первинної структури. Виникає така закономірність: що більша спорідненість видів та вища їх анатомічна подібність, то більш подібні в них первинна структура білків і послідовність ДНК. Виявляється, нуклеотидні послідовності ДНК людини й шимпанзе однакові на 98 %.

Отже, відмінності між видами на рівні первинної структури ДНК чи білків чітко відповідають спорідненості порівнюваних видів. Це дає можливість однозначно визначити родинні взаємини між видами, які порівнюють, і в такий спосіб відтво-



Іл. 41.10. Подібність зародків хребетних тварин і людини



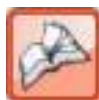
Іл. 41.11 Личинка жаби (пуголовок), яка за своєю будовою чітко доводить походження земноводних від риб

рити хід еволюції та реконструювати *філогенію* (від грец. *філон* — плем'я, рід і *генос* — рід, походження) — походження систематичних груп чи окремих видів, не використовуючи палеонтологічний матеріал. Цей напрям досліджень названо молекулярною філогенією. Молекулярні дані, як відомо, отримують експериментальним шляхом. Їх легко виразити у вигляді чітких і зрозумілих цифр, що відбивають відсоток однакових послідовностей нуклеотидів в ДНК або амінокислот у білках у двох порівнюваних видів, причому що більше однакових послідовностей, то генетично ближчі один до одного види.

Важливим підсумком застосування молекулярних даних став збіг родинних зв'язків, здобутих за допомогою молекулярної філогенії, з одного боку, й методами порівняльної анатомії, ембріології та палеонтології — з іншого. У кінцевому підсумку це підтверджує об'єктивність еволюційних подій.



Еволюція — історичний розвиток живого на Землі — є незаперечним науковим фактом, який підтверджують безпосередні спостереження й методи різних наук, зокрема палеонтології, порівняльної анатомії, ембріології та молекулярної генетики.



1. Чому палеонтологічні дані є одними з найнадійніших доказів еволюції? **2.** Які організми називають реліктовими? **3.** Які органи називають аналогічними, а які — гомологічними? **4.** У чому полягає суть біогенетичного закону? **5.** Що таке молекулярна філогенія?



• З чим пов'язане те, що більшість видів прадавнього тваринного та рослинного світу вимирають, а деякі все-таки виживають, стаючи реліктами?

§ 42. Синтетична теорія еволюції. Фактори еволюції

Терміни й поняття: синтетична теорія еволюції; фактори еволюції (природний добір, мутаційна та комбінативна мінливість, дрейф генів, хвилі життя, ізоляція).

Головний недолік теорії Ч. Дарвіна. Незважаючи на те, що більшість учених — сучасників Дарвіна стали палкими прихильниками його теорії, деякі дослідники критично поставилися до ідеї природного добору як головного фактора еволюції. Найсе-рйозніше наукове заперечення висунув британський інженер Флемінг Дженкін (1833–1885). Суть заперечення така. Якщо в індивіда виникають корисні риси, які успадковуються і дають нащадкам перевагу перед іншими особинами, то у випадку вільних схрещувань ці корисні риси неминуче «розчиняться» в ряду нащадків. Причому в кожному новому поколінні набуті предком позитивні властивості повинні дедалі більше згасати й нарешті зникнути в «болоті звичайних ознак». Наприклад, якщо чорне забарвлення крил дає метелику перевагу в боротьбі за існування над звичайними біло-крилими особинами, то його потомки в першому поколінні стануть вже темно-сірими, їх перевага буде вжезначно меншою.

У другому поколінні крила метеликів стануть світло-сірими і майже не відрізнятимуться від крил білих метеликів. Відповідно їхня перевага стане зовсім незначною. Особини третього покоління вже не відрізнятимуться від звичайних білих особин і не матимуть додаткових шансів на виживання.

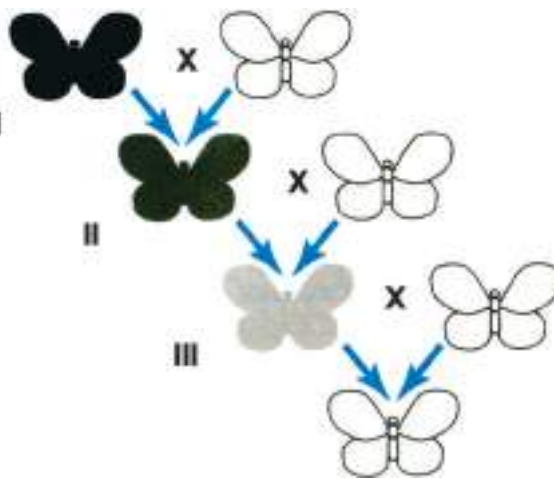
Цей недолік своєї теорії сам Дарвін визнавав дуже серйозним, оскільки не міг знайти проти нього переконливих доказів і називав його «жахом Дженкіна» (іл. 42.1).

Синтетична теорія еволюції. Очевидно, ця суперечність дарвінізму ґрунтувалася на хибній «теорії зливої спадковості», яка панувала у середині XIX ст. Відкриття генів і перехід на генну теорію спадковості дало змогу пояснити, чому новоутворені корисні ознаки не «розчиняються» у потомстві, а в ході добору накопичуються з покоління в покоління. Саме тому сучасна теорія еволюції є синтезом дарвінізму, точніше його головної ідеї — природного добору, з генетикою, а тому має назву *синтетична теорія еволюції (СТЕ)*.

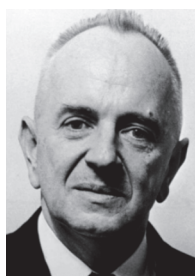
Цей науковий напрям сформувався у 40-х роках XX ст. Серед її засновників були й наші співвітчизники Сергій Сергійович Четвериков (1880–1959), Феодосій Григорович Добжанський, Сергій Михайлович Гершензон, Іван Іванович Шмальгаузен. Останній заснував Інститут зоології Національної академії наук України, що нині носить його ім'я. Ідеї й постулати СТЕ опираються не лише на закони генетики, а й на досягнення інших наук: палеонтології, систематики, екології, молекулярної біології тощо.

Однак слід згадати, що ще й до відкриття Г. Менделем законів успадкування були відомі численні факти, які вказували на те, що існує низка ознак, які не «розчиняються», а передаються протягом багатьох поколінь. Наприклад, горбатий з потовщенням на кінці ніс членів королівського дому Бурбонів зберігся навіть у восьмому за рахунком поколінні, хоча, за розрахунками Ф. Дженкіна, ця ознака повинна була за цей період зменшитися у 128 разів. Але подібні факти, так само як і численні дані селекції, залишилися поза полем зору тогочасних учених-еволюціоністів.

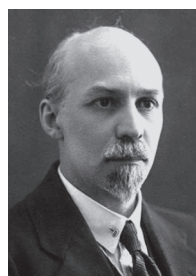
Основні положення синтетичної теорії еволюції (СТЕ). Деякі питання теорії органічної еволюції й дотепер залишаються предметом обговорення і наукових суперечок, проте основні положення СТЕ визнає більшість біологів.



Іл. 42.1. Ілюстрація «жаху Дженкіна» на прикладі білокрилих та темнокрилих метеликів. За три покоління схрещувань у потомків, за уявленнями тогочасних учених, від набутих предками корисних ознак не залишається нічого



Феодосій
Добжанський
(1900–1975)



Іван
Шмальгаузен
(1884–1963)

Основні положення синтетичної теорії еволюції такі.

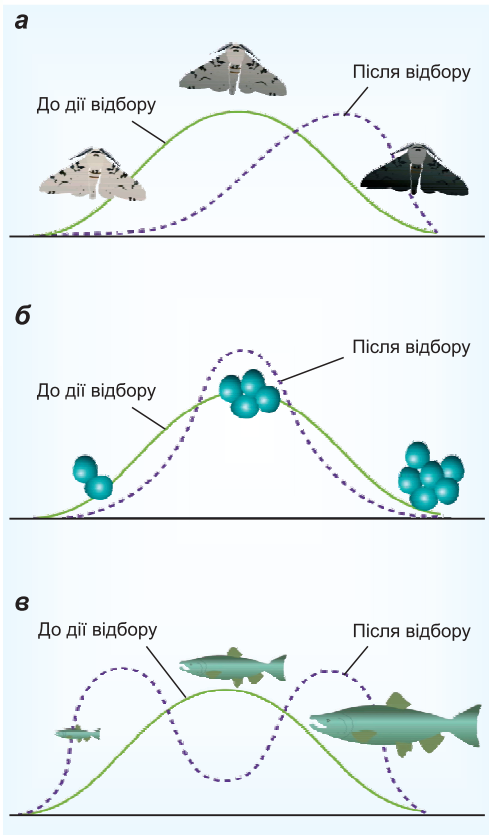
1. Природний добір — головний фактор і рушійна сила еволюції, причина розвитку історичного пристосування організмів до навколишнього світу.

Це положення теорії Дарвіна залишилося незмінним з часу виходу «Походження видів...». Згідно зі СТЕ, завдяки боротьбі за життя з абіотичними факторами середовища та навколишніми організмами виробляються еволюційні пристосування до довкілля, які в підсумку спричиняються до утворення нових видів.

Розрізняють три форми природного добору. Перша форма — *спрямований добір*, коли виживають особини з певними генетично закріпленими ознаками (іл. 42.2 а). Наприклад, встановлено, що хом'яки, у яких замість звичайного рудого забарвлення хутро чорне, краще переносять низькі температури, а тому легше переживають морозні зими. У результаті на північній межі їх ареалу селективну перевагу мають особини-меланісти, які тут трапляються часто, тоді як на півдні живуть лише руді особини.

Друга форма — *стабілізуючий добір*, або виживання особин із проміжними, близькими до середніх значень ознак (іл. 40.2 б). Відомо, що до різноманітних екстремальних впливів середовища найкраще пристосовані оптимальні особини, які характеризуються звичайними, найчастіше середніми, значеннями ознак. Наприклад, у люті зими високе виживання демонструють хатні горобці із середньою довжиною крил, тоді як короткокрилі або довгокрилі гинуть.

У такий спосіб оптимальні, тобто з найбільш звичайними за розмірами крилами, особини виявляють найвищу пристосованість і можуть залишити найбільше потомків. Стабілізуючий добір — це найпоширеніша у природі форма природного добору. Згідно зі СТЕ, саме він відіграє головну роль в еволюції, забезпечуючи розвиток регуляторних систем організму, удосконалення яких і веде до біологічного прогресу. Вчення про стабілізуючий добір як найважливіший фактор еволюції розробив український учений І. І. Шмальгаузен.



Іл. 42.2. Три форми природного добору:

- а — спрямований (перевагу набувають особини темного забарвлення крил);
- б — стабілізуючий (виживають особини, що відкладають середнє число яєць);
- в — дизруптивний (перевагу набувають особини крайніх варіантів розміру тіла)

Третя форма природного добору — *дизруптивний добір*, коли селективну перевагу мають особини з крайніми формами прояву ознаки (іл. 40.2 в). У цьому випадку хід природного добору має два протилежні напрями. У чистому вигляді дизруптивний добір у природі майже не трапляється. Однак часто трапляється його особлива форма — балансуючий добір, за якого вектор добору змінюється в часі в той або інший бік. У результаті в різні сезони перевагу можуть мати особини — носії протилежних ознак. Схожа ситуація складається з тими самими хом'яками-меланістами, що живуть на півночі України: особини з чорним хутром краще переносять суворі зими, але вони не такі плідні, як руді. У результаті між кількостями рудих і чорних установлюється певний баланс: навесні більше чорних, а восени — рудих. І так три-чотири рази за року в рік.

2. Матеріалом для еволюції слугують мутаційна та комбінативна мінливість, які відносять до ще однієї групи еволюційних чинників, тобто факторів еволюції. Ще Ч. Дарвін підкреслював, що для еволюції має значення лише невизначена мінливість; вона проявляється на рівні окремих особин, а її спрямованість і сила не залежать від дії навколишнього середовища. З погляду сучасної генетики мова йде про мутації, а також індивідуальні комбінації генетичного матеріалу, які створюють особин з новими біологічними властивостями. Саме мутанти, яким випадає щасливий жереб виявитися більш пристосованими до умов, що змінилися, є матеріалом для природного добору. Саме вони мають усі шанси згодом утворити новий вид. Таким чином, генетична мінливість є ще одним украй важливим фактором еволюції.

3. Одиницею еволюції є не окрема особина, а популяція. За Ч. Дарвіном, одиницею еволюції є окрема особина — *індивід*, який набув корисних спадково закріплених властивостей. Однак спеціальні розрахунки показали: якби еволюція відбувалася на рівні окремих особин, вона протікала б так повільно, що сьогодні замість птахів і ссавців на Землі в найкращому випадку панували б павуки та скорпіони, які стали першими суходільними тваринами. Тому потрібно шукати прискорювачі, «катализатори» еволюції, якими вважають процеси, що протікають на популяційному рівні. В цьому сенсі особливе місце посідає ще один фактор еволюції — *дрейф генів* — випадкові зміни частот генів, що відбуваються в невеликих за розмірами ізольованих популяціях. Наприклад, у разі катастрофічного падіння чисельності організмів через суто випадкові обставини можуть вижити поодинокі особини — носії якихось рідкісних алелів. Згодом у сприятливих умовах вони спроможні сильно розмножитися, дати спалах чисельності й захопити нові життєві простори. Таким чином процес добору генетичних ознак у ізольованих багаторазово прискорюється. Ці коливання чисельності організмів в еволюційній біології називають *хвилями життя* і відносять до важливих факторів еволюції.

4. Ключовою еволюційною подією є процес утворення видів. Не випадково Ч. Дарвін назвав свою працю «походженням видів». Згідно зі СТЕ, видоутворення здійснюється поступово і є процесом пристосування до мінливих умов середовища. Звичайно він здійснюється за умови ізоляції, яку розглядають як ще один обов'яз-

ковий фактор еволюції. Цей фактор сприяє виникненню відмежованих популяцій, у яких відбуваються різноспрямовані генетичні процеси.

5. Еволюційні механізми, що спричиняють до утворення нових видів, цілком придатні до утворення таксонів більш високого рівня. Іншими словами: нові роди, родини, ряди, порядки, класи утворюються за допомогою тих самих еволюційних факторів, що й види, хоча слід урахувати: *що вищий рівень таксономічної ієрархії, то більш давньою є еволюційна подія.*



Синтетична теорія еволюції (СТЕ) — одна з основ сучасної біології. Вона є синтезом основних положень дарвінізму й генетики. За своєю суттю СТЕ — це ідея органічної еволюції шляхом природного добору генетично закріплених ознак. Відповідно то СТЕ чинниками або факторами еволюційних подій є **природний добір, мутаційна та комбінативна мінливість, дрейф генів, хвилі життя та ізоляція.**



1. Чому сучасний дарвінізм отримав назву *синтетична теорія еволюції*? **2.** Який з факторів вважають основною рушійною силою еволюції? **3.** Яка з форм добору найчастіше трапляється у природі? **4.** Чому в СТЕ саме популяцію, а не особину вважають одиницею еволюції? **5.** Що таке *хвилі життя* та в чому їх еволюційне значення?



• Які ще природні чинники, крім зазначених у параграфі, також можна вважати факторами еволюції?

§ 43. Мікроеволюція. Вид і видоутворення

Терміни й поняття: *мікроеволюція, макроеволюція, індустриальний меланізм, видоутворення (географічне і екологічне), підвид, вид.*

Рівні еволюційних перетворень. Науковці вважають, що еволюційні процеси мають два рівні. На рівні популяції відбувається мікроеволюція, яка завершується утворенням нових видів. Еволюційні події, що протікають на рівні, вищому за видовий, і пов'язані з утворенням нових родів, родин, рядів, порядків, відділів, класів, типів тощо, називають макроеволюцією. Усі макроеволюційні події беруть свій початок на популяційному рівні. Особливістю мікроеволюції є те, що еволюційні перетворення відбуваються за короткий період часу, а це дає можливість безпосередньо спостерігати за їх ходом. Макроеволюційні процеси розтягуються на мільйони й мільярди років, а тому досліджувати їх можна лише непрямым шляхом, наприклад, за даними палеонтології.

Елементарний еволюційний процес. Найпростішою еволюційною подією вважають зміни генного складу популяції. Причин для таких змін може бути кілька. Перш за все — це вплив природного добору, спрямованого на збереження в популяції генотипів, найбільш сприятливих для виживання окремих особин. Також факторами, що призводять до генетичних змін у популяціях, можуть бути мутації, викликані різними фізичними й хімічними мутагенами або просто різким зменшенням розмірів популяції, за якого цілком випадково виживатимуть особини певного генотипу.

Одним з найбільш відомих прикладів мікроеволюційних подій є випадки індустриального меланізму. У XIX–XX ст. в індустриальних районах Європи та Пів-

нічної Америки почали спостерігати незвичайне явище: у популяціях світло забарвлених метеликів березового п'ядуна з покоління в покоління стало траплятися все більше особин з темними крилами (іл. 43.1). Як показали дослідження популяцій березового п'ядуна з околиць Манчестера (Велика Британія), причиною цього явища став інший вектор дії природного добору, що було викликано змінами середовища існування.

Спочатку такі особини траплялися вкрай рідко, проте через кілька десятиліть вони настільки розмножилися, що стали звичайними в усіх задимлених і забруднених районах Англії, повсюдно витісняючи білу форму. З'ясували, що метелики-меланісти краще маскуються у забруднених місцях і комахоїдні птахи тут частіше годуються білими метеликами. У лісах, навпаки, їх жертвами насамперед стають темні особини. Проведений генетичний аналіз показав, що меланістичне забарвлення метеликів зумовлене домінантним алелем.

Це означає, що в індустріальних районах, де вперше в результаті мутації виникли ці алелі, відбулася елементарна еволюційна подія — витіснення в популяції рецесивного алеля домінантним.

Видоутворення, або кінцевий етап мікроеволюції. Для того щоб відбулося утворення нового виду, в популяціях повинні статися значні генетичні зміни, які призведуть до формування бар'єру несхрещуваності між популяціями. А це може бути лише за умови ізоляції цих популяцій одна від одної протягом дуже тривалого часу. Невипадково, що саме залежно від механізму ізоляції й визначають типи видоутворювальних процесів.

Найпоширенішим типом видоутворення є *географічне видоутворення* (іл. 43.2), в основу якого покладено ізоляцію відстанню, що згодом спричиняє накопичення генетичних відмінностей у популяціях в різних частинах зони поширення одного й того самого виду.



Іл. 43.1. Темна (ліворуч) і біла (праворуч) форми березового п'ядуна на корі берези



Іл. 43.2. Схема географічного та екологічного видоутворення

Уявимо, що якийсь європейський вид мишей, що живе в умовах м'якого атлантичного клімату, сильно розмножився й став розширювати свій ареал у континентальні райони Азії. Звісно, що в умовах морозної зими підвищене виживання виявлять особини генотипів, які в умовах більш теплого клімату не надавали їх носіям жодної переваги в боротьбі за існування. Тому в суворих умовах місця проживання кількість особин з такими генотипами буде рік у рік зростати, й вони поступово витіснять мишей зі звичайними для європейських популяцій генотипами.

Спочатку генетичні відмінності між азійськими і європейськими популяціями будуть незначними й полягатимуть лише в тому, що в одних популяціях переважають одні алелі, а в других — інші, причому особини цих географічних популяцій за зовнішніми ознаками майже не відрізнятимуться. Такі географічно ізольовані групи популяцій слід розглядати лише як підвиди (іл. 43.3).

Після тисяч поколінь у підвидів можуть накопичитися більш істотні генетичні відмінності. Це пов'язане з тим, що в результаті мутаційного процесу виникають нові алелі, які замінюють старі, що призведе до значних змін фенотипу особин і характеру їх життєдіяльності. Причому зміни виникнуть швидше, що більш ізольованими будуть підвиди і що менше вони обмінюватимуться особинами й, відповідно, генами.



43.3. Підвиди білок добре розрізняються зовні, хоча не мають між собою жодних репродуктивних бар'єрів: 1 — карпатська білка, 2 — східноєвропейська білка, 3 — західносибірська білка, 4 — білка-те-леутка, 5 — східносибірська білка

Ці обмеження на обмін накладає саме географічна ізоляція. Перешкодами для міграцій можуть служити річки, гірські масиви, для лісових видів — відкриті ділянки степів, а для степових, навпаки, — ділянки лісу.

Через десятки й сотні тисяч років може розпочатися процес зворотної міграції, й ареали європейського та азійського підвидів мишей частково з'єднаються, а через те, що особини різних підвидів уже нагромадили значну кількість генетичних відмінностей, вони будуть відчутно відрізнятися зовні, займати різні екологічні ніші. Як результат — між ними утвориться бар'єр несхрещуваності, й у такий спосіб пристосування до більш суворих умов існування в зимовий період під дією факторів еволюції може спричинити утворення нового виду.

Існують й інші способи видоутворення, коли ізолюючим фактором є не географічна віддаленість популяцій. Одним з таких способів є *екологічне видоутворення*, за якого ізоляцію популяцій, що живуть на одній території, визначають відмінності місць або умов існування (іл. 43.2). Екологічне видоутворення насамперед властиве організмам, життя яких особливо міцно пов'язане з факторами середовища. Це стосується, наприклад, паразитів, середовищем життя яких є інші організми. Навіть випадковий перехід від одного остаточного господаря до іншого може стати причиною зміни проміжного господаря (наприклад, у сисунів замість прісноводних черевонігих молюсків проміжними господарями можуть стати наземні молюски), що призведе до зміни життєвого циклу паразита й виникненню бар'єра несхрещуваності між вихідною та новою формами паразита.

У квіткових мух (іл. 43.4) є екологічні раси, личинки яких можуть розвиватися на рослинах певних видів. Особини однієї групи популяцій розвиваються на представниках родини Хрестоцвіті, другої — родини Бобові, третьої — родини Пасльонові.

Рано чи пізно в популяціях кожної з рас у результаті мутаційного процесу сформується незворотні генетичні зміни, які будуть підтримані природним добром і необхідністю пристосуватися до умов існування на рослинах конкретного виду. В результаті утвориться низка видів.

Утворення нового виду в межах вихідного ареалу може відбуватися не лише шляхом пристосування до особливих умов середовища. У багатьох видів рослин є ранньоквітучі й пізньоквітучі раси (наприклад, весняний і літній дуби: одна форма цвіте у травні, інша — в липні), репродуктивно ізольовані одна від одної.

Можна бути впевненим, що ці форми згодом нагромадять істотні генетичні відмінності й набудуть рангу повноцінних видів. Сезонні раси трапляються в риб.

Наприклад, у деяких видів осетрових одні популяції нерестяться восени, а інші — навесні. Екологічні раси риб можуть бути репродуктивно ізольованими не лише часом, а й місцем нересту. Форель (іл. 43.5),



Іл. 43.4 Квіткові мухи здатні утворювати значну кількість екологічних рас



Іл. 43.5. Екологічні форми форелі добре відрізняються зовні, однак генетичних відмінностей між собою не мають

яка живе в озері, зазвичай чітко диференціюється на дві екологічні форми: великі за розмірами особини прохідної раси нерестяться в річках, а дрібні — безпосередньо в озері. Очевидно, що репродуктивна ізоляція в часі або просторі, що виникає між екологічно роз'єднаними популяціями організмів протягом тривалого часу, також може призвести до нагромодження генетичних відмінностей і видоутворення.

Біологічний вид як генетична система. Здавалося б, немає нічого простішого, ніж дати визначення усталеному поняттю, яке є одним із базових у сучасній біології. Але, як свідчить досвід будь-якої науки, що більше заглиблюєшся у сутність явища, то важче дати однозначне визначення. Не становить винятку й таке поняття, як вид, що є основною одиницею біологічної систематики. У сучасній біології вид трактують не як застиглу статичну одиницю різноманітності живого, а як динамічну систему — основний етап еволюційного процесу.

Головним критерієм виду є механізм репродуктивної ізоляції — наявність бар'єра несхрещувань. Він виникає у процесі видоутворення між популяціями різних підвидів чи екологічних рас, що набули істотних генетичних відмінностей за період їх ізоляції. Якщо гібриди від схрещувань особин різних видів у рідкісних випадках утворюються, то вони зазвичай мають значні вади розвитку, які унеможливають повноцінне розмноження. А от особини, що належать до одного виду, під час розмноження дають здорове й плідне потомство.

Чинниками, що забезпечують бар'єр несхрещувань і репродуктивну ізоляцію, можуть бути: величезні відстані або географічні перешкоди, що розділяють близькі види; особливості шлюбної поведінки або специфічні звуки (квакання жаб, спів птахів, стрекотіння коників), якими самці приваблюють самок; строки й місця розмноження (дуже часто в риб); пахучі мітки (у комахоїдних, гризунів, хижаків) або особливі речовини — *феромони* (від грец. *феро* — нести і *омоун* — викликати), які притягують особин протилежної статі (майже всі літаючі комахи). Наприклад, хімічним способом орієнтації та комунікації за допомогою феромонів користуються усі без винятку мурахи. Для повернення в мурашник, а також для прокладання «шляхів» до місць живлення, кожен мураха під час свого руху залишає специфічні для кожного виду мікроскопічні запахові мітки, по яких можуть орієнтуватися й інші особини даного виду. Важливим є те, що мурашки можуть визначати не лише запах мітки, але і її розміри та напрям.

Критерії виду. Особини одного виду характеризуються спільними особливостями будови, займають чітко визначений ареал, однаково живляться, реагують на фактори навколишнього середовища тощо. Певні ознаки, які характерні для кожного біологічного виду, називають критеріями виду. До цих критеріїв належать: морфологічний (головний критерій), фізіологічний, біохімічний, генетичний, географічний, екологічний, етологічний (поведінковий) та ін. Їх (усі чи більшість з них) використовують, наприклад, для визначення належності особини до конкретного виду. Розрізняти види лише за одним критерієм неможливо.



Мікроеволюційні події відбуваються на рівні популяцій, завершальним етапом яких є утворення нового виду — генетично замкненої системи, що є сукупністю популяцій із загальним генофондом, захищених репродуктивною ізоляцією від потоків чужорідних генів.



1. Що таке мікро- і макроеволюція? 2. Чому явище індустріального меланізму вважають прямим доказом мікроеволюційного процесу? 3. Чим відрізняється географічне видоутворення від екологічного? 4. Чому вид називають генетично замкнутою системою?



- Чому видоутворення дуже активно відбувається на островах?

§ 44. Макроеволюція та її закономірності

Терміни й поняття: філогенез, дивергенція, монофілія, паралелізми, конвергенція, біологічний прогрес та регрес.

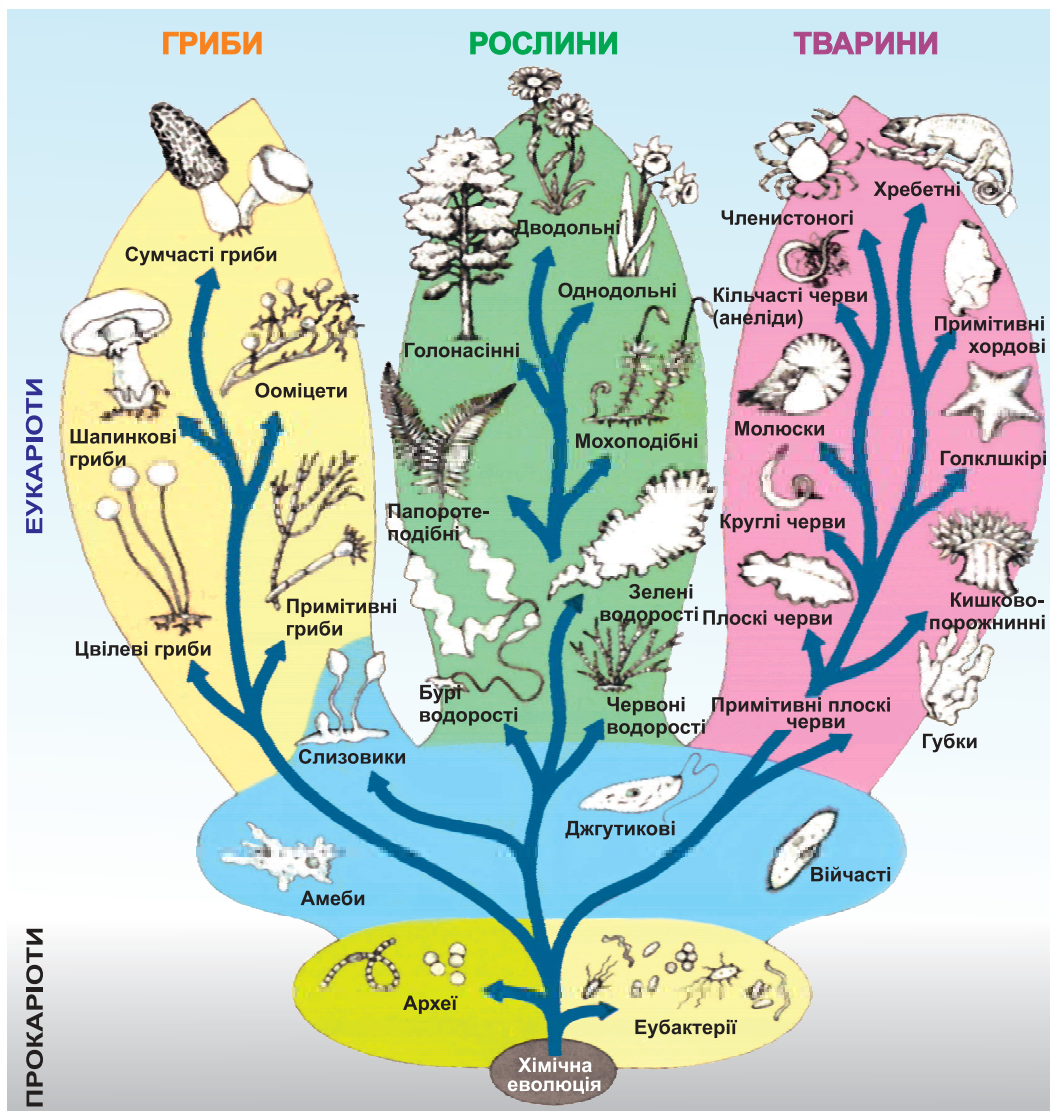
Виникнення ієрархічної системи організмів у процесі еволюції. Згідно зі СТЕ, мікро- і макроеволюція є різними складовими одного процесу. Хоч еволюцію таксонів високого рівня (роди, родини ряди, класи) вивчає окрема наука *філогенетика* (від грец. *філон* — рід, плем'я і *генезис* — походження), причиною їх виникнення є ті самі події, що й під час утворення видів. Просто ці події відбувалися набагато раніше — у дуже давні часи. Що вищий рівень таксономічної ієрархії, то більший період часу відокремлює прадавні видоутворювальні процеси від сучасності. Це означає, що ієрархія таксонів відбиває не лише ступінь споріднення видів, а й час *дивергенції* (від лат. *диверgere* — виявити розходження) — поділу єдиного предкового виду на два й більше, з яких згодом утворилися інші види, що потім сформували таксони високого рівня ієрархії (іл. 44.1).



Іл. 44.1. Таксономічна ієрархія ссавців ряду Хижі

Таким чином, що менше споріднені види, то більший проміжок часу відділяє їх від спільного предка; за час свого, незалежного один від одного, існування вони більше накопичили генетичних відмінностей та в підсумку вони сильніше відрізня-

ються своєю будовою, індивідуальним розвитком і способом життя. Історія групи будь-яких організмів з урахуванням родинних зв'язків між окремими видами та часом їх виникнення називають *філогенезом*, а її схематичне зображення — *філогенетичним деревом* (іл. 44.2).

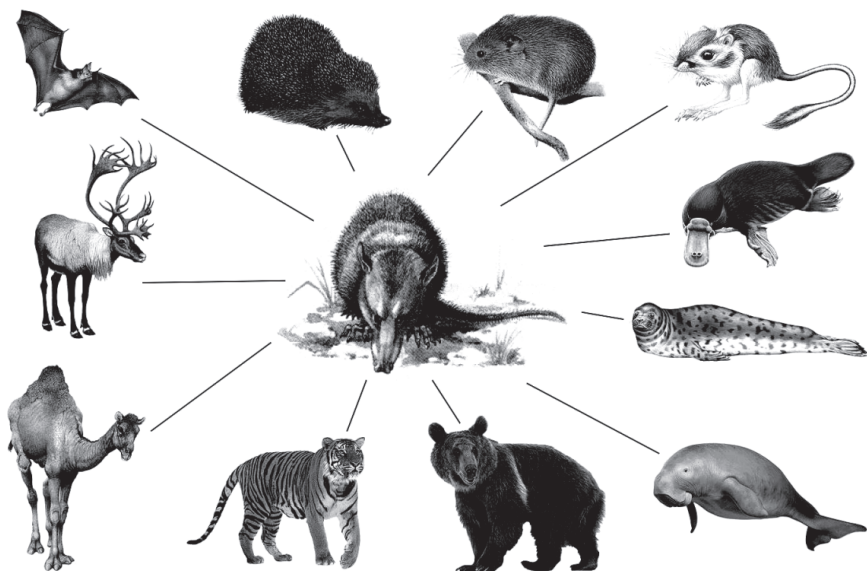


Іл. 44.2. Філогенетичне дерево

Ієрархічність таксономічної системи та генетичну спорідненість біологічних видів можна порівняти з кровними зв'язками людей: види одного роду — це рідні брати і сестри, однієї родини — двоюрідні, ряду — троюрідні тощо. Таким чином, що менше споріднення, то менше види мають спільних генів і менше їх представники схожі один на одного.

Філогенія ссавців. Проілюструвати послідовність видоутворювальних процесів, що ведуть до виникнення таксонів різного рівня ієрархії, можна на прикладі ссавців, філогенія яких добре відома. Перші види найдавніших ссавців, які вже перестали бути рептиліями, але ще не стали справжніми звірами, з'явилися на Землі близько 300 млн років тому й дали початок сучасним підкласам. 50–100 млн років тому з'явилися представники всіх сучасних рядів. Виникнення родин — це теж результат еволюції видів, але тих, що виникли лише 10–20 млн років тому. Роди започатковані видами, вік дивергенції яких становить 5–7 млн років тому. Сучасні види ссавців утворилися лише 1–2 млн років тому.

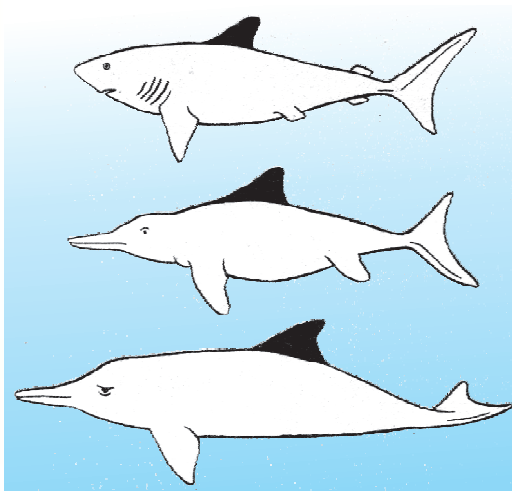
Філогенетичну схему еволюції ссавців відносять до монофілітичних (від грец. *монос* — один і *філон* — рід, плем'я) конструкцій, у яких група родинних видів сформувалася шляхом дивергенції з одного спільного предка. У конкретному випадку із ссавцями це означає, що всі сучасні й вимерлі види беруть початок від одного стародавнього предкового виду, який зовні нагадував величезну землерийку. (іл. 44.3).



Іл. 44.3. Монофілія у ссавців — усі сучасні ссавці походять від спільного предка

Різноманітність форм філогенії. Магістральною формою філогенезу є дивергентна еволюція, в основу якої покладено видоутворення, за якого з одного виду утворюється кілька. Основними факторами такого видоутворення є: природний добір, ізоляція, мутаційна мінливість, різкі перепади чисельності популяцій, спонтанні зміни частот генів. Дії цих факторів неминуче ведуть до того, що різні групи популяцій дедалі більше відрізняються від вихідного виду.

На певному періоді накопичені відмінності стають настільки істотними, що спричиняють розпад вихідного виду на два й більше нових, які згодом дають початок новим видам і т. д. У такий спосіб усі види одного роду, роди в межах родини, родини в межах ряду утворюються шляхом дивергенції від одного спільного виду.



Іл. 44.4. Конвергенція — виникнення спинного плавця в акулі, іхтіозавра та дельфіна



Іл. 44.5. Однакові пристосування до посушливих умов у молочая (а) та кактуса (б)

Найчастіше у процесі дивергентної еволюції ознаки видів з кожною новою видоутворювальною подією все більше відрізняються. Проте бувають і винятки, коли споріднені види незалежно один від одного набувають дуже схожих й доволі специфічних рис будови. Прикладом такого роду паралелізмів є розвиток шаблезубості у викопних котячих. Ця властивість розвивалася в різні періоди і в різних групах цієї родини.

Якщо віддалені неспоріднені групи організмів набувають певної форми тіла або в них утворюються аналогічні органи чи структури, то цей стан називають *конвергенцією* (від лат. *конверго* — зближую). Як приклад наводять аналогічні органи (спинний плавець іхтіозавра, акули й дельфіна (іл. 44.4) або крила метелика та кажана).

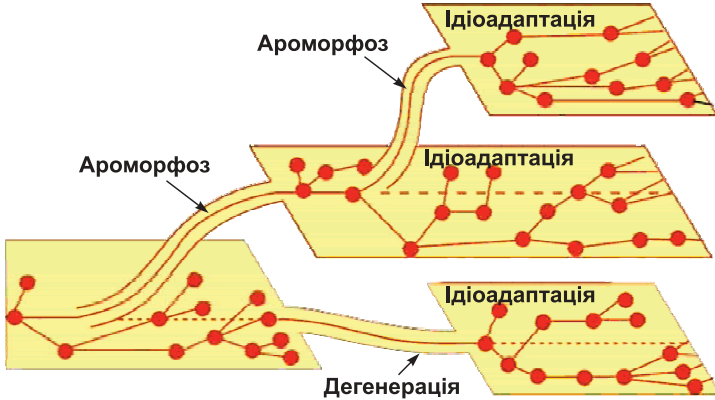
Конвергенція є широким поняттям, під яке підпадає схожа форма тіла іхтіозаврів, акул і дельфінів або, скажімо, екологічні типи «кріт», «вовк», «ведмідь» «кенгуру», що виникають незалежно у плацентарних ссавців і в сумчастих (пригадайте: в Австралії живуть сумчастий кріт, сумчастий вовк і сумчастий ведмідь коала). Явище конвергенції широко розповсюджене в рослин. Це деревоподібні хвощі, папороті й справжні дерева насінних рослин або особливі посухостійкі форми молочаїв, що зовні дуже нагадують кактуси (іл. 44.5).

Біологічний прогрес вважають магістральним напрямом біологічної еволюції. Кожна з великих груп організмів, які населяють Землю, свого часу зазнала його впливу. Нині на стадії біологічного прогресу перебувають покритонасінні рослини, костисті риби, комахи з повним перетворенням, птахи та ссавці. Критері-

ями цього стану є такі показники: збільшення чисельності; розширення ареалу; інтенсивне видоутворення.

Прогресивний стан дає змогу проникнути в раніше недоступні місця, захопити нові зони існування (наприклад, водяним рослинам або тваринам вийти на суходіл), де можна створити значну кількість нових видів.

Щоб організм досягти стану прогресу, в їх будові мають відбутися принципові зміни — ароморфози (від грец. *аро* — підіймаю і *морфа* — форма) (іл. 44.6), які ведуть до підвищення загального рівня організації й появи принципово нових пристосувань. Найбільші ароморфози пов'язані з утворенням надцарств, царств або підцарств живих організмів.



Іл. 44.6. Різновиди еволюційних змін, що ведуть до еволюційного прогресу

Наприклад, поява особливих білків гістонів, хромосом і ядерної оболонки призвели до утворення надцарства Еукаріоти; процеси мітозу, мейозу та статевого розмноження стали необхідною умовою існування багатоклітинних організмів; поява зародкових листків у тварин стала причиною тканинної диференціації й виникнення внутрішніх органів.

У результаті з'явилося підцарство Багатоклітинні тварини. Менш значущі ароморфози пов'язані з утворенням нових типів і класів тварин (виникнення осьового кістяка — хорди, поява членистих кінцівок у ракоподібних і п'ятипалої кінцівки в наземних хребетних) або відділів рослин (виникнення пилкової трубки й насіння у насінних рослин). Як менш еволюційно значущими випадками ароморфозів слід розглядати повне розділення артеріальної та венозної крові у птахів і ссавців, або виникнення квітки й плода у покритонасінних.

Необхідною умовою досягнення біологічного прогресу є інтенсивні видоутворювальні процеси в межах певної зони існування, у ході яких з'являються нові ознаки, які, однак, не підвищують загального рівня організації. Ця особлива форма історичного розвитку груп організмів пов'язана з *ідіоадаптаціями* (від грец. *ідіос* — своєрідний і лат. *адаптаціо* — пристосування) — змінами будови організму, що забезпечують лише пристосованість до конкретних умов, у котрих живе вид. При цьому не відбувається значного ускладнення або спрощення рівня організації живих



Іл. 44.7. Складна квітка айстрових — типовий приклад ідіоадаптації

істот. До випадків ідіоадаптацій відносять: появу крил у кажанів, плавців — у кито-подібних, рухливих пальців — у приматів, складну квітку — в айстрових (іл. 44.7).

Між ароморфозами та ідіоадаптаціями не завжди можна провести чітку межу. До ознак, що викликають неоднозначну оцінку вчених, відносять луску риб, пір'я птахів або шерстний покрив у ссавців. Одні вчені їх появу розглядають як часткові ароморфози, а інші — як великі ідіоадаптації.

Ще одним напрямом розвитку живих організмів, що веде їх до біологічного прогресу, є загальне спрощення організації будови тіла, або *дегенерація* (від лат. *degenerare* — вироджуватися).

У цьому випадку прогресивні ознаки заміщуються примітивними або взагалі втрачаються. Так, тварини сидячих форм, які на личинкових стадіях ведуть рухливий спосіб життя (наприклад, личинки губок), у дорослому стані втрачають органи руху; у деяких видів хвостатих амфібій довічно зберігаються зябра й зяброве дихання, а легені не розвиваються; у стрічкових черв'яків (іл. 44.8), на відміну від інших, відсутня травна й недорозвинена нервова системи.



Іл. 44.8. Ціп'як свинячий

Особливою формою спрощення організації деякі вчені вважають феномен втрати дорослого стану, який трапляється у світі тварин і рослин, так званої *неотенії* (від грец. *неос* — незрілий, молодий і *теіно* — розтягнути). Так, у личинок розвиваються статеві органи, і вони починають розмножуватися. Аксолотлі (іл. 44.9) — неотенічні личинки американських саламандр амбістом — за несприятливих умов не завершують метаморфоз, зате здобувають розвинену статеву систему.

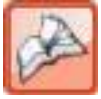


Іл. 44.9. Аксолотль

Біологічний регрес. Якщо швидкість еволюції даної групи організмів відстає від змін навколишнього середовища, то настає стадія біологічного регресу, критерії якого протилежні критеріям біологічного прогресу. У результаті група організмів, що у своєму історичному розвитку відстає, вимирає або стає реліктом, зберігається у специфічних, часто ізольованих місцях проживання.



Різноманітність живих організмів, яку представляють у вигляді ієрархічної системи таксонів, відбиває родинні відносини видів, що виникають у ході дивергентної еволюції. Основним напрямом еволюційних змін є **біологічний прогрес**, який досягається підвищенням рівня організації та в підсумку — переходом організмів у нову зону існування, що супроводжується інтенсивним видоутворенням, збільшенням чисельності популяцій і розширенням ареалів.



1. Які еволюційні наслідки відображає ієрархія таксонів? 2. Що таке дивергенція? 3. Який філогенез називають монофілетичним? 4. Що є критеріями біологічного прогресу та завдяки яким змінам у будові тіла він може бути досягнутий? 5. Чим ароморфоз відрізняється від ідіоадаптації?



• Зазвичай ряд ссавців складається із чотирьох-восьми родин, 10–20 родів, 100–200 видів, але можуть бути й інші випадки: один ряд — одна родина — два роди — два види. Про що це свідчить?

§ 45. Еволюція і походження людини

Терміни й поняття: *статевий диморфізм, сіванітеки, австралопітеки, антропология; антропогенез; цефалізація; статевий диморфізм.*

Історичні відомості. Уявлення про походження людини від людиноподібних мавп виникали ще в давнину. Відповідні висловлювання можна знайти навіть у середньовічних натурфілософів, хоч аж до XVIII ст. переважна більшість учених не сумнівалися, що людину створив Бог. Початок науковому баченню спорідненості людини з мавпами поклав Карл Лінней. Саме він об'єднав людину в один ряд з іншими приматами й дав їй бінарну латинську назву *Homo sapiens* — людина розумна. У цьому ж таки XVIII ст. були проведені справжні порівняльні анатомічні дослідження тіла людини та мавп, що довели глибоку подібність будови їх органів. Усе це дало змогу авторові першої еволюційної теорії Жану Батисту Ламарку (1744–1829) обережно висловитися про походження людини від мавпи.

Середина XIX ст. ознаменувалася двома важливими відкриттями у галузі *антропологии* (від грец. *антропос* — людина і *логос* — вчення) — науки, що вивчає людину як біологічний об'єкт. По-перше, були знайдені кам'яні знаряддя праці прадавніх людей, які жили за часів мамонтів. По-друге, вдалося знайти рештки стародавніх людей: спочатку череп, а згодом і цілий скелет неандертальця (іл. 45.1). Ця назва походить від ущелини Неандерталь, — місця, де вперше були знайдені рештки цієї стародавньої людини. За певними ознаками череп прадавньої людини відрізнявся від черепа людини сучасного типу та мав деякі мавпячі риси.

Тому неандертальця визначили як проміжну ланку між мавпами й сучасною людиною. Ці факти стали підставою для визнання еволюції людини реальним фактом.



Іл. 45.1. Череп неандертальця

Величезну роль у суспільній свідомості відіграла й ще одна відома праця Ч. Дарвіна «Походження людини й статевий добір», де на великому масиві отриманих тогочасною наукою даних він доводив, що людина походить від стародавніх мавп, що сучасних мавп не можна розглядати як предків людини — вони лише її «двоюрідні брати». Ідею щодо того, що люди й сучасні людиноподібні мавпи — найближчі родичі, що місце людини в зоологічній системі — поруч з людиноподібними мавпами, також розвивали й інші видатні еволюціоністи кінця XIX ст. англієць Томас Гекслі (1825–1895) і німець Ернст Геккель (1834–1919). Останній детально дослідив не лише будову тіла приматів, а й особливості їх ембріологічно-го розвитку, які майже не відрізняються від ранніх етапів розвитку людини.

Дані, здобуті у XX ст., доповнили дослідження, розпочаті у XIX ст. Це, зокрема, нові палеонтологічні знахідки, які дали змогу встановити послідовність викопних форм від прадавніх мавп до людини сучасного типу.

Особливий інтерес викликали молекулярно-генетичні дані, що були отримані у другій половині цього століття, які доводять, що людину та сучасних людиноподібних мавп, образно кажучи, «виліпили з однакового молекулярного тіста». З'ясувалося, що люди та їх найближчі родичі — шимпанзе й горила — мають генетичний матеріал, однаковий на 95–98 %.

Місце людини в системі тваринного світу. Як і будь-який інший біологічний вид, людину розумну *Homo sapiens* легко класифікувати за ключовими ознаками:

- поява у процесі ембріонального розвитку хорди й нервової трубки, зябрових щілин у порожнині глотки доводить її належність до типу Хордові;
- наявність хребетного стовпа та двох пар п'ятипалих кінцівок визначає належність людини до чотириногих хребетних;
- молочні залози і волосся на поверхні тіла відносять її до класу Ссавці;
- розвиток дитинчати усередині тіла, наявність матки й плаценти доводить, що людина є представником підкласу Плацентарні;
- нігті, а не кігті на пальцях, кінцівки хватального типу, протиставлення великого пальця іншим є ознаками ряду Примати;
- низка другорядних ознак, зокрема: особливості зубної системи, редукція хвоста, значний об'єм головного мозку, особлива форма грудної клітини — дають підставу вважати, що людина входить до родини Людиноподібні мавпи.

Особливостями будови, що відрізняють людину від інших людиноподібних мавп, є надзвичайно великий головний мозок, прямоходіння, особливе розташування волосся на тілі й невеликі ікла, які майже не виділяються із зубного ряду. У людини, на відміну від людиноподібних мавп, добре помітний *статевий диморфізм* (від грец. *дис* — удвічі та *морфі* — вид, фігура), пов'язаний із сильним розвитком вторинних статевих ознак (іл. 45.2). Фахівці у царині приматів вважають, що ці риси будови відображають загальну тенденцію еволюції ряду приматів, на вершині якої перебуває людина.

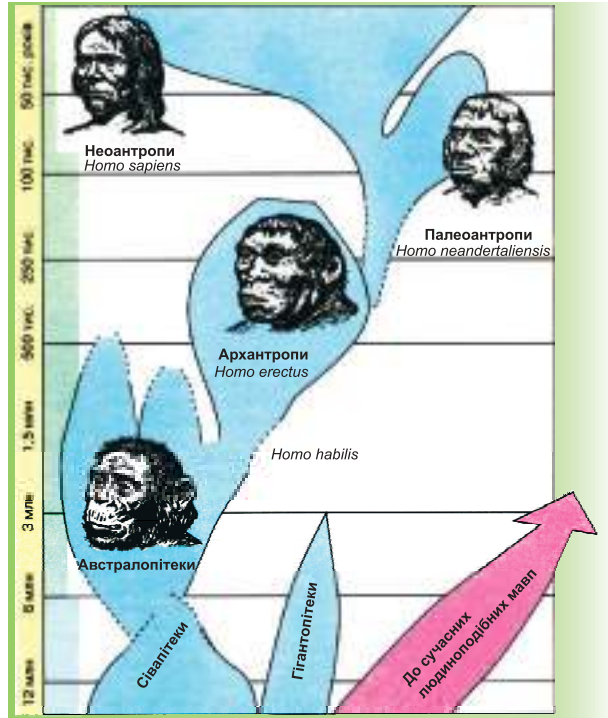
Етапи походження людини сучасного типу. Еволюція людини проходила так само, як і еволюція будь-якого іншого сучасного виду тварин, у кілька етапів, а тому може бути зображена у вигляді філогенетичного дерева (іл. 45.3).



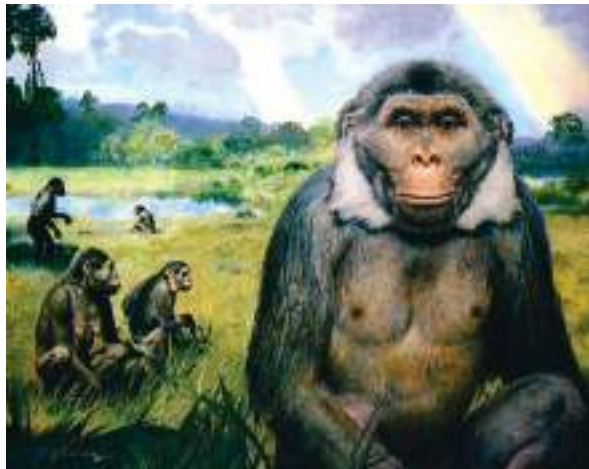
Іл. 45.2. Статевий диморфізм людини

Першими викопними тваринами, що за будовою тіла були проміжними між людиною й сучасними людиноподібними мавпами, виявилися величезні мавпи, названі *сівапітеками* (від *Шива* — індійське божество і грец. *пітекос* — мавпа) (іл. 45.4). Вони існували в інтервалі від 12,5 до 5 млн років тому. Жили не в лісах, як інші мавпи, а в саванах. Фрагменти їх скелетів виявлені в Африці, Південній Азії й Центральній Європі. Судячи із решток скелета, сівапітеки пересувалися на задніх кінцівках, опираючись на передні. Точно так це роблять сучасні людиноподібні мавпи. Об'єм черепної коробки сівапітеків становив не більше 350 см³. Зверніть увагу: у сучасних людиноподібних мавп розміри мозку значно більші: у шимпанзе — 420 см³, горили — близько 500 см³.

Наступним етапом еволюції приматів стали вимерлі прямоходячі мавпи — *австралопітеки* (від лат. *австраліс* — південний). Уперше їх виявили у Південній Африці. Вони полюбили відкриті простори, однак селилися у пече-



Іл. 45.3. Етапи та хронологія еволюції людини



Іл. 45.4. Сівапітеки



Іл. 45.5. Австралопітеки

у бійках вони користувалися ціпками й камінням. Австралопітеки — це окремий рід людиноподібних мавп, до якого входить 5–6 видів. Вони жили у період від 8 до 0,75 млн років тому.

Першим представником з роду Людина була людина вміла (*Homo habilis*). За нечисленними викопними рештками його можна вважати або дуже розвиненим австралопітеком, або найбільш давнім представником роду людей. Сучасна антропологія схиляється до останньої точки зору.

Підставами для цього є великий головний мозок (850–1 100 см³) і те, що на відміну від австралопітеків, людина вміла виготовляти з гальки знаряддя праці. Жив цей викопний вид у період від 3 млн до 1,75 млн років тому.

Виникнення найдавніших викопних людей, або, як їх ще називають, *архантропів* (від грец. *архаиос* — прадавній і *антропос* — людина), вважають початковим етапом *антропогенезу* — біологічної еволюції, що спричинилися до виникнення людини.

Архантропи з'явилися на Землі близько 2 млн років тому, час їх розквіту припав на відрізок часу від 650 до 350 тис. років тому. Походять вони від австралопітеків. Характерною рисою еволюції архантропів є *цефалізація* (від грец. *кефале* — голова) — різке збільшення об'єму головного мозку, який у них коливався від 900 до 1 200 см³ (об'єм мозку сучасної людини становить близько 1 300 см³). Архантропи вже мали примітивну мову, вміли користуватися вогнем, виготовляли кам'яні знаряддя, загорталися у шкури замість одягу, жили в печерах і були канибалами. Висота тіла чоловіків сягала 160 см, а жінок — 150 см.

Типовим представником архантропів є *Homo erectus* — людина прямоходяча (іл. 45.6), яка розселилася усім Старим Світом, утворивши ряд підвидів: *синантроп* (від лат. *Сина* — Китай) — китайський, *пітекантроп* (від грец. *питекос* — мавпа) — індонезійський, *гейдельберзька людина* (за назвою м. Гейдельберг, біля якого вперше виявили викопні рештки виду) — європейський підвид. Припуска-

рах. Їх ріст становив близько 150 см, а пропорції тіла відповідали хребетним тваринам, що пересуваються на двох задніх кінцівках з вертикальним положенням тіла (іл. 45.5). Об'єм головного мозку у більш примітивних видів австралопітеків становив близько 450 см³, а у більш просунутих сягав 750 см³.

Незважаючи на те, що австралопітеки в еволюційному плані значно ближчі до людини, ніж до людиноподібних мавп, вони не вміли виготовляти знаряддя праці. Однак доведено, що під час полювання та

ють, що архантропи вимерли близько 300 тис. років тому, поступившись неандертальцям, хоча недавно встановили, що останні пітекантропи «дочекалися» приходу сучасної людини й вимерли лише 18–27 тис. років тому

Палеоантропи (від грец. *палаиос* — прадавній), або *неандертальці* (*Homo neandertaliensis*) — викопні прадавні люди, які змінили архантропів. Одні дослідники вважають їх окремим видом, інші — лише підвидом людини розумної. Жили неандертальці 300–24 тис. років тому. Мали міцну щільну статуру і зріст близько 165 см. Об'єм головного мозку в них навіть перевищував об'єм мозку людини сучасного типу — 1 400–1 600 см³.

Визначальною рисою палеоантропів були дуже розвинуті надбрівні дуги. Існує думка, що серед них могли траплятися руді й блідолиці особини. Будова голосового апарату дає підставу вважати, що неандертальці мали чітку членороздільну мову. Про доволі високий рівень їхнього інтелекту свідчать наявність музичних інструментів — кісткових флейт, уміння лікувати переломи кісток, похоронні обряди.

Неоантропи (від грец. *неос* — новий), або люди сучасного типу, яких відносять до виду *Homo sapiens*, жили від 200 до 50 тис. років тому. Ранніх представників сучасної людини називають *кроманьйонцями* (від назви грота Кроманьйон у Франції, де вперше виявлені їх рештки) (іл. 45.7).



Іл. 45.6. Людина прямоходяча



Іл. 45.7. Реконструкція поселення кроманьйонців

Вони жили 40–10 тис. років тому. Обсяг головного мозку кроманьйонця такий самий, як і неандертальців (1 200–1 500 см³). Раніше припускали, що кроманьйонці — безпосередні еволюційні нащадки неандертальців. Проте зараз вважають, що вони родом з Африки, звідки розселилися, місцями витиснувши, а місцями асимілювавши шляхом гібридизації неандертальців — давніх мешканців Євразії. Кроманьйонці зовні помітно відрізнялися від неандертальців: були високими на зріст, мали легшу статуру. Доведено, що геноми кроманьйонців і неандертальців майже однакові.

Відомо, що кроманьйонці й неандертальці співіснували протягом кількох десятків тисяч років.



Походження людини нерозривно пов'язане з процесом еволюції приматів. Можна виділити два основні етапи: **виникнення австралопітеків** — мавп, які стали безпосередніми предками людей, та **антропогенез** — еволюцію безпосередньо людини. Останній, у свою чергу, включає два періоди: **перший** — **розвиток викопних прадавніх людей — архантропів**; **другий** — **появу палеоантропів-неандертальців і людей сучасного типу — кроманьйонців**. Головним фактором, що визначив особливості еволюції людини, стала **цефалізація** — **явище різкого збільшення об'єму головного мозку**.



1. Які найважливіші дані про походження й еволюцію людини були здобуті у ХХ ст.? **2.** Які ознаки будови тіла доводять, що людина — представник ряду Примати й родини Людиноподібні мавпи? **3.** У чому полягали особливості будови та способу життя австралопітеків? **4.** До якого біологічного виду відносять пітекантропів? **5.** Чи можна вважати неандертальців предками кроманьйонців?



• Чому так сталося, що в процесі еволюції в найбільших за розмірами приматів почав різко збільшуватися об'єм черепної коробки та відповідно — маса головного мозку?

Тестові завдання до теми 6

6.1. Еволюція — це

- А** історичний розвиток живого
- Б** будь який розвиток
- В** пристосування до умов середовища
- Г** індивідуальний розвиток

6.2. Науково коректні твердження стосовно еволюції

- 1) еволюція має пристосувальний характер;
- 2) історичний розвиток живого — це процес сходження від простого до складного;
- 3) еволюція необоротна;
- 4) кожна нова генерація організмів чимось відрізняється від попередньої

- А** 2, 3, 4 **Б** 1, 3, 4 **В** 1, 2, 3 **Г** 1, 2, 4

6.3. Праця Ч. Дарвіна, у якій він виклав свою еволюційну теорію

- А** «Філософія зоології» **Б** «Походження видів»
- В** «Система природи» **Г** «Статевий добір»

6.4. Головний палеонтологічний доказ реальності еволюції

- А** атавізми й рудименти **Б** генетична спорідненість близьких видів
- В** послідовність викопних форм **Г** гомологічні органи у тварин і рослин

Тема 7. БІОРИЗНОМАНІТТЯ

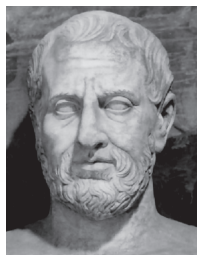
§ 46. Система органічного світу

Терміни й поняття: біологічна систематика, система органічного світу, систематичні категорії, або таксони,

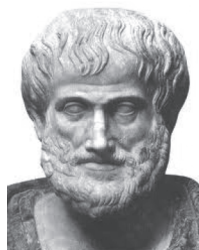
Система органічного світу та наука, яка її вивчає. Інколи кажуть, що систематика — це альфа й омега кожної науки. Це означає, що будь-яка наука бере свій початок зі спроб розробити досконалу класифікацію явищ, які вона вивчає, і повинна завершуватися тим, що все-таки її створює.

Як уже зазначалося, питаннями класифікації організмів займається наука — біологічна систематика. Її головне завдання — побудова системи органічного світу — класифікації усіх видів організмів, що живуть, і тих, що жили на Землі, за чіткими принципами та правилами.

Систематика — це, мабуть, найбільш прадавня з біологічних наук. Свій початок вона бере від давньогрецьких філософів Арістотеля і Теофраста.



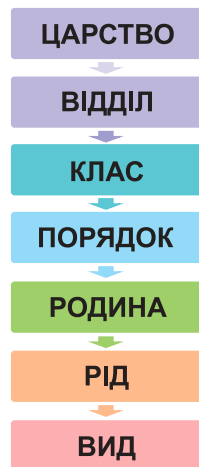
*Теофраст
(371–287 рр.
до н. е.)*



*Арістотель
(384–322 рр.
до н. е.)*

Першого вважають засновником зоологічної систематики, другого — ботанічної. Така увага до цієї науки викликана тим, що пізнання навколишнього світу неможливе без класифікації отриманої інформації щодо величезного різноманіття живих істот. Якби не було створено системи упорядкування явищ і наукових фактів, то жоден, навіть найдужчий розум, не зміг би розібратися навіть з кількома тисячами видів живих організмів, тоді як сучасна біологічна наука оперує мільйонами.

Головним прийомом, який при цьому використовують, є групування явищ і фактів за їх подібністю й спорідненістю у систематичні категорії, що розташовані за принципами ієрархії (іл. 46.1).



*Іл. 46.1.
Основні систематичні категорії царства Рослини розташовані за принципом ієрархії*

Формування уявлень про систему органічного світу. Спроби класифікувати різноманіття органічного світу, що здійснювалися в різні часи, суттєво відрізняються. Система, що була розроблена Арістотелем, включала лише 454 види тварин, однак вона не втратила свого значення аж до XVIII ст. Сучасна біологічна систематика оперує кількома мільйонами видів, причому більшість, понад 1,5 млн, припадає на представників класу Комахи.

Засновником сучасної систематики є шведський натураліст Карл Лінней (1707–1778), який описав 4 208 видів організмів.

Система організмів К. Ліннея та її головна вада. Заслуга К. Ліннея полягає в тому, що він не лише описав багато видів організмів, а й зробив вид ключовою систематичною категорією, вказавши, що це «...це сукупність організмів, подібних між собою, як подібні діти одних батьків, і здатних давати плідне потомство».

Назви видів Карл Лінней запропонував давати так: перше слово означає назву роду, а друге — назву виду, за кожним видом закріплюється латинська назва, що складається із двох слів. Цей підхід застосовують у будь-якій країні, незалежно від місцевих назв тварин чи рослин. Наприклад, заєць білий був Ліннеєм названий *Lepus timidus*. Слово *lepus* (заєць) означає рід, а *timidus* (боягузливий) — вид (іл. 46.2). Інший видатний натураліст Петер Паллас (1741–1811) згодом описав ще один вид зайців — заєць сірий (іл. 46.3), якого латиною назвав *Lepus europaeus*, тобто заєць європейський. Назви цих ссавців чітко вказують, що йдеться про два види, які відносяться до одного роду.



Іл. 46.2. Заєць білий



Іл. 46.3. Заєць сірий

Ще одне важливе нововведення К. Ліннея — створення ієрархічної системи супідрядних категорій, яких у нього було всього чотири: вид, рід, ряд і клас. Клас включав кілька рядів, ряд — родів, рід — видів. Таксони більш високого рівня, ніж вид, з того часу називали одним латинським словом. У сучасній систематиці в кожному з царств уже налічують не менше 12 ієрархічно підпорядкованих таксонів. Наприклад, представників типу Хордові класифікують ще й на підтипи, надкласи, підкласи, надряди, підряди тощо. Причиною такої деталізації є необхідність максимально точно відобразити спорідненість організмів.

Система К. Ліннея отримала назву штучної, адже вона базувалася просто на подібності організмів за окремими ознаками. Зараз у біології використовують природну систему, що заснована на філогенетичній спорідненості організмів. Її конструюють не лише використовуючи комплекс різноманітних анатомічних ознак чи даних палеонтології, а й насамперед за допомогою досліджень мінливості первинної структури білків і ДНК.

Принципи, на яких базується сучасна система органічного світу.

Перший принцип — система органічного світу повинна бути філогенетичною. Ідея цього принципу, за Ч. Дарвіном, доволі проста: «Всяка дійсна класи-

фікація є генеалогічною», тобто вона має найповніше відображати еволюційні зв'язки між організмами. На відміну від штучних систем, яких може бути безліч, природна система, що базується на спорідненості організмів, — одна-єдина, й до неї прагнуть усі систематики.

Другий принцип — принцип ієрархічності, згідно з яким систематичні категорії, які називають таксонами (від грец. *таксис* — порядок, розташування), більш низького порядку поєднуються в категорії більш високого порядку. При цьому таксони низького порядку характеризуються специфічними особливими ознаками, а високого порядку — загальними об'єднувальними.

Третій принцип — усі назви й опис нових таксонів повинні даватися за суворими правилами, які чітко прописані в спеціальних міжнародних кодексах біологічної номенклатури, що мають у біології силу закону.

Недотримання кодексу призводить до того, що той самий вид, рід, родина організмів можуть мати різні назви, і вчені просто перестануть розуміти, про який біологічний об'єкт ідеться. Важливим є правило пріоритету, згідно з яким перша назва, зроблена з дотриманням правил Кодексу, є основною, усі наступні — це лише синоніми.

Система органічного світу за уявленнями сучасних біологів. Незважаючи на досягнення в царині побудови природної системи органічного світу, її вдосконалення є безперервним і, мабуть, нескінченним процесом. З кожним роком стають відомі все більше видів сучасних і викопних організмів, а це спричиняється не лише до появи нових родів, родин, рядів, а й навіть класів і типів. З'ясовано, що межі між царствами еукаріотів не такі вже й чіткі, тобто існує безліч різноманітних організмів, які одночасно мають ключові ознаки рослин і тварин або тварин і грибів. Згадаймо: добре відома нам евглена зелена може житися як тварина або як рослина.

Зараз усі живі організми поєднують в імперію Клітинні, оскільки загальною особливістю їхньої будови є клітинна структура. Імперію поділяють на два надцарства: **Доядерні**, або **Прокаріоти**, та **Ядерні**, або **Еукаріоти** (іл. 46.4).



Іл. 46.4. Схема класифікації живих істот на рівні царств

Основним критерієм, за яким організми поділяють на ці дві більші групи, слугує будова клітини. Для еукаріотичних організмів характерна наявність у цитоплазмі великого числа органел, відсутніх у прокаріотів, а генетичний апарат сформований у вигляді ядра, у якому перебувають хромосоми.

Надцарство Доядерні зазвичай поділяють на дві групи: царство **Археї** та царство **Еубактерії**. До першого відносять примітивно побудовані навіть для бактерій одноклітинні істоти. Вважають, що археї дуже давні організми, які з'явилися на Землі ще в часи виникнення життя — 3,5 млрд років тому. Побутує думка, що археї — це наймасовіші організми, що колись існували на Землі.

Надцарство Ядерні поділяють на три царства.

Царство Рослини — нерухливі фотосинтезуючі організми, клітини яких мають щільні оболонки й постійну форму, у цитоплазмі обов'язково містяться пластиди, зокрема зелені — хлоропласти.

Царство Тварини — рухливі гетеротрофні організми, їхні клітини позбавлені фотосинтетичного апарату й щільних клітинних оболонок, а тому вони можуть легко й швидко змінювати свою форму.

Царство Гриби. На перший погляд, ці організми поєднують у собі особливості рослин і тварин. У них щільна клітинна оболонка, вони, як і рослини, нерухомі, подібно до рослин вони розмножуються спорами. Однак за хімічним складом своїх клітин і гетеротрофним способом живлення вони більше схожі на тварин. Та в грибів є свої особливості, головна з яких — унікальна клітинна будова. Тіло грибів складається з однієї гігантської багатоядерної клітини, що може бути поділена на відсіки, тому про гриби неможливо чітко сказати — це одноклітинні, колоніальні чи багатоклітинні організми. Важко стверджувати й те, чи є організм грибів гаплоїдним, чи диплоїдним, адже батьківські ядра не зливаються і в кожному відсіку гігантської клітини у вищих грибів міститься по два ядра (іл. 13.2), одне з яких походить від материнської, а інше — від батьківської особини.



Одним з найголовніших завдань біологічної науки є створення системи органічного світу, завданням якої є упорядкування всього різноманіття видів живих організмів шляхом класифікації за принципом їх спорідненості у систематичних категоріях, які розміщені за ієрархією.



1. Що слід розуміти під системою органічного світу? 2. Чим штучна система відрізняється від природної? 3. Яка наука займається питаннями побудови системи органічного світу? 4. Для чого необхідні кодекси біологічної номенклатури? 5. На які великі таксони поділяються прокаріоти та еукаріоти?



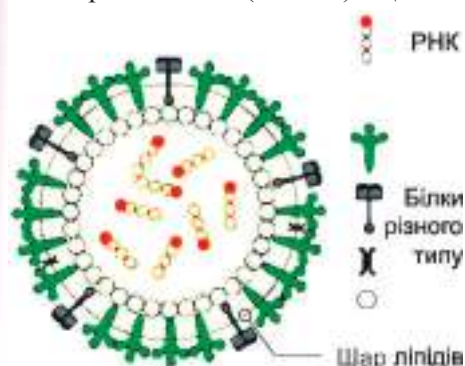
• Чому штучних систем можна створити скільки завгодно, а природна може бути лише одна-єдина?

§ 47. Віруси: межа між живим і неживим

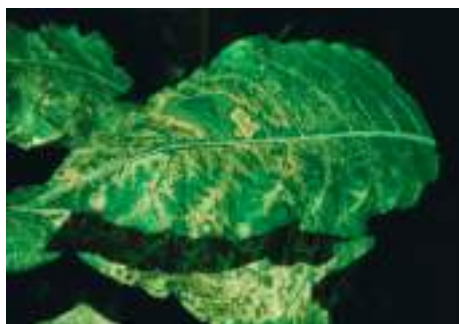
Терміни та поняття: віруси, патоген, генетичні паразити, зворотна транскрипція, бактеріофаг (фаг), грип, гострі респіраторні вірусні інфекції (ГРВІ), сказ, СНІД, ВІЛ, інтерферон.

Віруси. Усі чули про такі особливі біологічні субстанції — віруси (від грец. *вірус* — отрута). Вони займають унікальне місце — межу між живим та неживим. Чому так? Віруси — це особлива неклітинна форма життя (вони не мають клітинної будови). Це молекула нуклеїнової кислоти (ДНК або РНК), що оточена білковою оболонкою, а інколи ще й ліпідами. Віруси не містять води, не мають органел та

власного метаболізму. Тому вірус — це не живий організм, а лише складно організована речовина — *нуклеопротеїд*. Невипадково віруси, що виділені з клітин, здатні до кристалізації (іл. 47.1). Ще одна особливість вірусів — надзвичайно малі розміри. Окремі віруси неможливо, так само як і молекули нуклеїнових кислот чи білків, роздивитися у світловий мікроскоп.



Іл. 47.1. Схема будови вірусу грипу



Іл. 47.2. Мозаїчна хвороба тютюну



Іл. 47.3. Будова вірусу тютюнової мозаїки: червоний колір — РНК, жовтий колір — білки капсиду

Відкриття вірусів. Парадоксально, але віруси були виявлені саме завдяки своїм унікально малим розмірам. У 1892 р. їх відкрив російський ботанік Дмитро Йосипович Івановський, який досліджував *мозаїчну хворобу тютюну*.

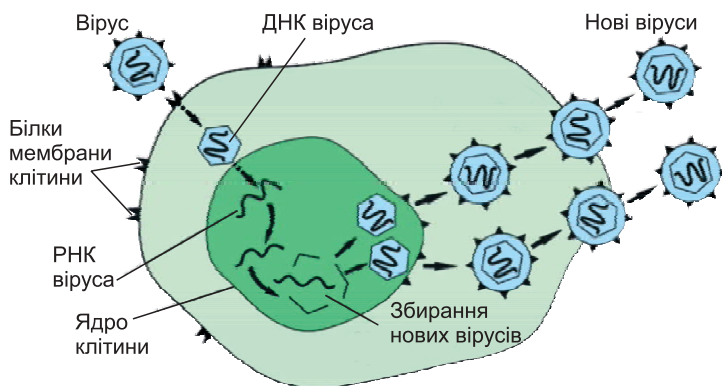
Було відомо, що в багатьох рослин, зокрема тютюну, листки за певних обставин набувають біло-строкатого забарвлення (іл. 47.2).

З'ясували, що хлоропласти в клітинах на певних ділянках листової пластинки руйнуються під дією якогось невідомого фактора. Щоб виявити природу збудника, Д. Івановський пропустив сік листків ураженої рослини крізь фільтри, у яких осідають найдрібніші бактерії. Проте профільтрований сік не позбувся своїх інфекційних властивостей.

Учений дійшов висновку, що *патогеном* (від грец. *патос* — страждання і *генезис* — походження), який викликає цю хворобу, є якась інша біологічна субстанція дуже дрібного розміру. Згодом її назвали вірусом.

Будова вірусів. Окремі віруси, що містяться поза межами клітини, можна побачити лише в електронний мікроскоп. Вони мають форму кульки, палички або довгої нитки. Будь-який вірус містить центральний стрижень, що складається з молекули нуклеїнової кислоти (ДНК або РНК) та білкової оболонки, утвореної кількома білками (іл. 47.3), а у складних вірусів — ще й ліпідами. Білкова оболонка слугує для захисту спадкової інформації, що зберігається в молекулах ДНК або РНК, а також для проникнення вірусу до клітини. Нуклеїнові кислоти вірусів містять гени, у яких закодовано інформацію про білки, що утворюють оболонку. Оскільки віруси не мають власного метаболізму, то постає питання: у який спосіб віруси підтримують своє існування? Виявляється, ці процеси здійснюють клітини, у яких оселяються віруси.

«Життєвий цикл» і розмноження вірусів. «Життєвий цикл» вірусів складається із двох етапів: існуванням за межами клітини у вигляді окремих частинок нуклеопротеїдів та всередині клітини, коли вони стають складовою генетичного апарату клітини (іл. 47.4).



47.4. «Життєвий цикл» віруса, що містить ДНК

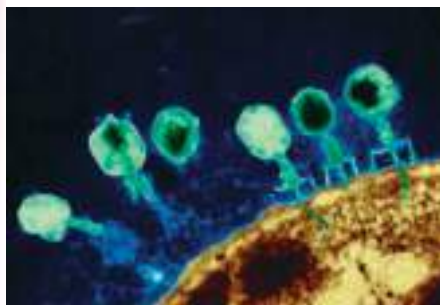
Оскільки у вірусів, що містяться поза межами клітини, не відбуваються хімічні реакції, то в цьому стані деякі віруси здатні перебувати впродовж тривалого періоду.

Для того щоб потрапити всередину клітини, вони імітують необхідні клітинні речовини, і тваринні клітини самі захоплюють вірусні частинки, затягуючи їх до цитоплазми. Стосовно рослинних клітин, то вірус до них потрапляє через порушення клітинної оболонки, а потім від клітини до клітини мігрує через плазмодесми. Потрапивши до цитоплазми, вірус використовує речовини клітини, які допомагають йому позбутися білкової оболонки. Унаслідок цього вивільняється вірусна ДНК. Вона проникає в ядро, вбудовується у вигляді невеликої ділянки в ДНК клітини і починає копіюватися у значній кількості. На цих копіях починають синтезуватися іРНК, які слугують матрицями для синтезу білків оболонки вірусу. Далі відбувається самозбирання вірусів. Кожна молекула ДНК обгортається білками і виходить з клітини. Якщо вірус залишає клітину живою, то він від неї ніби відбруньковується. Однак більша частина вірусів вбиває клітину, яка мовби вибухає, залишаючи замість себе десятки вірусних частин, що згодом проникають у сусідні клітини.

Отже, вірус використовує клітину у власних інтересах — подібно до того, як паразит використовує організм господаря. Саме тому вбудований вірус називають генетичним паразитом.

Зворотна транскрипція. Чимало вірусів містять не ДНК, а РНК. Як ці віруси потрапляють до генетичного апарату клітини? У найпростішому випадку молекули вірусної РНК просто взаємодіють з рибосомами, здійснюючи синтез своїх білків. У більш складному випадку вірусна РНК використовується як матриця для синтезу вірусної ДНК, яка вже вбудовується в генетичний апарат клітини. Далі відбувається синтез вірусних РНК і білків вірусної оболонки, з яких і формуються нові вірусні частки. Це явище отримало назву *зворотна транскрипція*, а першим його описав український учений Сергій Михайлович Гершензон.

Бактеріофаги. Особливу групу становлять віруси бактерій — *бактеріофаги* (дослівно «пожирачі бактерій»). Їх ще скорочено називають *фагами*. У більшості фагів геном складається з молекули ДНК. Бактеріофагам властива складна структура. Фаг, який «пожирає» бактерію кишкової паличку, складається з головки, що містить ДНК, і хвостової частини, у якій зосереджені ферменти, призначені для розчинення клітинної стінки бактерій (іл. 47.5).



Іл. 47.5. Бактеріофаги на клітинній стінці бактерії

Спочатку цей бактеріофаг прикріплюється хвостовою частиною до оболонки й у цьому місці за допомогою спеціального ферменту розчиняє її, а потім завдяки скороченню білкових молекул впорскує вміст головки до цитоплазми. За деякий час ДНК фага підкорює собі метаболізм бактерії, унаслідок чого клітина починає синтезувати білки оболонки та молекули фагової ДНК. На певному етапі бактерія руйнується, і з неї виходять від 30 до 200 частинок фага.

Хвороби, викликані вірусами. Віруси вражають усі живі істоти без винятку. Зараз хвороби, викликані вірусами, стали настільки масовими, що їх стали вважати загрозою існуванню людства, адже вони здатні викликати *пандемії* (від грец. *пандемія* — весь народ) — швидко заразити мільйони людей, поширюючись на цілі континенти. Деякі з вірусних хвороб є невиліковними. Якщо за допомогою антибіотиків можна побороти будь-яку бактеріальну інфекцію, то винайти препарати, які б так само швидко й ефективно вбивали віруси, неможливо. І це цілком природно: адже віруси не живі організми, до того ж у певний період свого «життя» вони стають компонентами генетичного апарату атакованої клітини, а отже, надійно захищені всередині клітини від дії ліків та впливу імунної системи. Крім того, віруси швидко еволюціонують. Майже кожен рік з'являються нові патогенні віруси, які спричиняють нові хвороби.

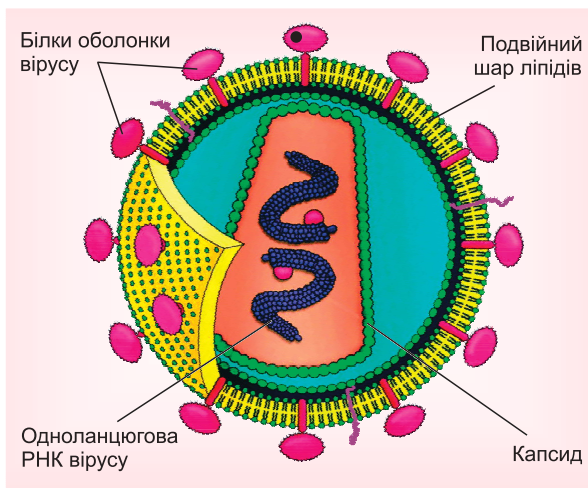
Найпоширенішими вірусними хворобами людини є гострі респіраторні захворювання (ГРЗ). Із 500 вірусів, які викликають інфекційні хвороби в людини, понад 200 є збудниками респіраторних захворювань, причому віруси грипу спричиняють лише половину випадків захворювань, а решту — група гострих респіраторних вірусних інфекцій (ГРВІ), які належать до вірусів, що містять ДНК або РНК. Саме до останніх належить вірус грипу. Віруси грипу або ГРВІ вбивають клітини, що вистеляють верхні дихальні шляхи, унаслідок чого розвивається запалення, адже віруси й токсичні продукти розпаду клітин, потрапляючи в кров, отруюють організм і провокують алергійні реакції, що спричинює нездужання й пропасницю. Крім того, ослаблений вірусами грипу організм не здатний протистояти інфікуванню бактеріями і людина, хвора на ГРВІ, може захворіти ще й на ангіну або запалення легенів.

Дуже небезпечною для людини хворобою є *сказ* м'ясоїдних, який передається зі слиною під час укусів або просто контакту з хворими тваринами — найчастіше

хижими котами і собаками, вовками, лисицями, єнотоподібними собаками, борсучками. Потрапивши в організм і поширюючись по нервових шляхах, вірус досягає слинних залоз і клітин кори головного мозку, вражає їх та викликає незворотні порушення в роботі нервової системи. Сказ невиліковний. Тому єдиний шанс — це щеплення, причому відразу ж після контакту з хворою твариною.

У 1980 р. було виявлено хворобу, причиною якої стала нестача імунітету, яку нічим не можна було пояснити. Такий стан організму отримав назву *синдром набутого імунного дефіциту* (СНІД). Уже через кілька років з тіла хворих було виділено вірус, який назвали *вірус імунодефіциту людини* (ВІЛ) (іл. 47.6).

Характерною ознакою цього вірусу є однопіткова РНК, що слугує матрицею для синтезу ДНК. Молекули ДНК вбудовуються в генوم клітини, викликаючи синтез вірусних РНК. ВІЛ вражає одну з форм лімфоцитів, унаслідок чого порушується злагоджена робота клітин, які забезпечують імунну відповідь, а це значно знижує стійкість організму до різних захворювань. На першій стадії хвороба ніяк себе не проявляє. Вважають, що здорова людина може бути носієм вірусів кілька десятків років, хоча зазвичай цей строк менший. Лише коли віруси спричинюють значне порушення імунної системи, настає стадія імунодефіциту.



Іл. 47.6. Модель вірусу імунодефіциту людини

Неабиякої шкоди завдають віруси, що є збудниками хвороб у сільськогосподарських та свійських тварин (чума м'ясоїдних і свиней; ящур телят і поросят; краснуха коропа).

Масово вражають віруси і культурні рослини, причому кожному виду рослин притаманний певний набір специфічних хвороб і, відповідно, вірусів (карликовість помідорів, мозаїчність тютюну, скручування листків персика, строкатість листків тюльпанів).

Боротьба організму людини з вірусами. Віруси є чужорідними для організму субстанціями, а тому, якщо в людини виробляються специфічні до кожного вірусу антитіла, згодом може сформуватися стійкий імунітет. Крім того, кожна заражена вірусом клітина починає синтезувати особливий білок — *інтерферон*, що запобігає утворенню вірусних білків у клітині хазяїна та згодом робить клітини несприйнятливими до вірусів. Інтерферону властива специфічність: якщо він синтезований у клітинах людини, то й вражає віруси людини. Зараз препарати інтерферону широко використовують у лікуванні вірусних хвороб.



Віруси — неклітинна форма живого. Це хімічні речовини — нуклеопротейди. Віруси складаються з кількох молекул білка та однієї нуклеїнової кислоти (ДНК або РНК), не містять води. Їм не властивий метаболізм. Віруси здатні існувати у формі частинок поза межами клітини або вбудованими в генетичний апарат клітини. Віруси викликають багато хвороб людини, тварин та рослин, серед яких найбільш масові — грип, ОРВІ та невиліковні — СНІД, сказ м'ясоїдних.



1. У чому полягають особливості будови вірусів?
2. Як були відкриті віруси?
3. Чому вірус, вбудований у ДНК клітини, називають генетичним паразитом?
4. Завдяки якому спеціальному генетичному механізму відбувається розмноження вірусів, що містять РНК?
5. Які віруси називають фагами?
6. Які хвороби викликають віруси?



- Чому більшість патогенних вірусів людини викликають хвороби верхніх дихальних шляхів?

§ 48. Прокаріотні організми: бактерії та археї

Терміни та поняття: плазмід, бактерії, археї, горизонтальне перенесення генетичної інформації, антибіотики.

Археї. До царства Археї (від грец. *архейос* — стародавній), відносять окреме царство одноклітинних прокаріотів. Клітини архей за своєю будовою не мають будь-яких суттєвих особливостей (іл. 48.1). Відмінності від бактерій були виявлені лише за детального вивчення біохімічного складу клітинної стінки та будови ДНК. Разюча відмінність архей від бактерій — це їх стійкість до факторів зовнішнього середовища, а також надзвичайно велика різноманітність способів живлення. Невипадково перші археї були знайдені в гарячих джерелах. Більшість архей отримують енергію завдяки хемосинтезу.



Іл. 48.1. Колонія архей

Серед архей — найбільше організмів-екстремофілів, здатних жити в неможливих, з точки зору здорового глузду, умовах і живитися неймовірно непридатними як для людини речовинами, наприклад, метаном. Невипадково археї займають екологічні ніші, які недоступні іншим організмам. Археї добре почувуються у вулканічних джерелах за температури +70 °С, кислому середовищі на рівні рН 2,0, під дією високого тиску або за постійно низької температури.

Організми царства Еубактерії. Це прокаріотні організми, у клітині яких відсутні органели, що побудовані з клітинної мембрани, а також і ядро. В їхніх клітинах, окрім власне генетичного апарату, міститься значна кількість специфічних спадкових структур *плазмід* (від грец. *плазма* — щось сформоване) — невеличких молекул ДНК, переважно замкнених у кільце. Еубактерії, зазвичай їх називають просто *бактерії* (від грец. *бактеріон* — паличка), — це одноклітинні та колоніальні істоти, причому число клітин у колонії може коливатися від двох до кількох десятків. Клітини дуже різні за формою.

Коки мають сферичну форму, бацили — паличкоподібну, спірохети — спіралеподібну. Паличкоподібні й спіралеподібні бактерії зазвичай мають джгутики, що складаються лише з однієї мікрофібрили (іл. 48.2).

Бактерії — надзвичайно дрібні істоти, вони у тисячі разів менші, наприклад, за інфузорію-туфельку. Підраховано, що 1 см³ річкової води містить від 5 до 100 тис. бактеріальних клітин, грам ґрунту — 2–3 млрд, а один грам бактерій — це 600 млрд клітин.

Бактеріальна клітина оточена твердою міцною оболонкою, утвореною зі специфічної сполуки — *муреїну*, яка складається з амінокислот і дисахаридів (іл. 48.3). Клітинна стінка зовні оточена слизовою капсулою, яка надійно захищає тіло бактерії від зовнішніх впливів.

Бактерії розмножуються із шаленою швидкістю і лише нестатевим способом — в основному поперечним поділом клітини навпіл, хоча буває і брунькування. Інколи поділу клітини може передувати процес, який зараз прийнято називати горизонтальним переносом генетичної інформації.

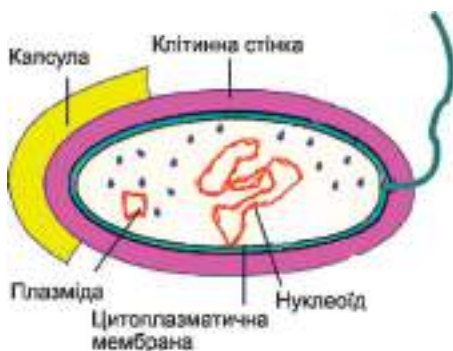
Наближаючись упритул одна до одної, бактерії утворюють цитоплазматичний місток, по якому частина ДНК або якась плазміда однієї бактерії потрапляє до цитоплазми іншої. Це забезпечує рекомбінацію генетичного матеріалу.

За несприятливих умов існування бактерії починають спороутворення (іл. 48.4). На відміну від грибів і багатьох рослин, утворення спор у бактерій не є розмноженням, бо одна бактерія продукує лише одну-єдину спору. Вона формується навколо ядерної зони, захоплюючи при цьому невеличку частину цитоплазми. Оточує спору товста оболонка, що складається з кількох шарів. Завдяки цьому спора дуже стійка до висихання та несприятливої температури. Трапляються види бактерій, спори яких витримують глибоке заморожування — до $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нагрівання — до $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$,

Бактерії-симбіонти. У кишечнику тварин постійно живе кілька сотень видів специфічних бактерій. Як ці бактерії не можуть існувати поза межами кишечника, так і тварини



Іл. 48.2. Різноманітні форми клітин бактерій



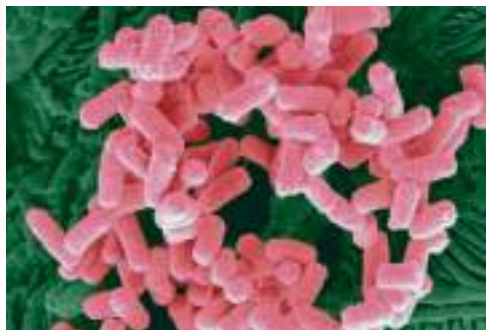
Іл. 48.3. Організація поверхневої та генетичного апаратів бактерії



Іл. 48.4. Спори всередині бактерій

не здатні жити без них. Ці бактерії-симбіонти утворюють мікрофлору тваринного організму і є вкрай необхідними для засвоєння їжі.

Установлено, що мікрофлора людини важить близько 2,5 кг, причому в кишечнику міститься лише 1 кг бактерій-симбіонтів. За біологічним значенням цю сукупність бактерій можна навіть вважати окремим органом людини, який відіграє значну



Іл. 48.5. Колонія кишкової палички

роль у перетравлюванні вуглеводів, синтезі вітамінів, стійкості організму до дії патогенних мікроорганізмів. Вважають, що лише в кишечнику людини живе від 300 до 1 000 видів бактерій. Однією з наймасовіших є бактерія кишкова паличка (іл. 48.5). Крім того, бактерії містяться і в інших органах: наприклад, ті, які живуть у шкірі людини, запобігають її ураженню патогенними мікроорганізмами.

Бактерії є симбіонтами не лише тварин, а й рослин. Виявляється, рослини виділяють доволі значну частинку створеної в процесі фотосинтезу органічної речовини на поверхню коренів. Це робиться спеціально для того, щоб збільшити у ґрунті чисельність бактерій, особливо тих, що фіксують Нітроген повітря, переводячи його у прості неорганічні сполуки.

Бактерії — друзі й водночас вороги людини. Традиційно бактерії вважають ворогами людини й у свідомості пересічного громадянина поняття «мікроб» невід’ємно пов’язане з брудними руками та хворобами.

Однак серед бактерій є і безліч друзів. Це не лише симбіонти-людини, без яких функціонування людського організму просто неможливе, а й бактерії, які використовують у промисловості. Без них є нереальним створення нових екологічно чистих виробництв, у яких ключове значення мають сучасні біотехнології.

Важливу роль бактерії відіграють у харчовій промисловості. Адже сир, вершкове масло, вино, пиво, оцет люди тисячоліттями отримували шляхом бродіння. Для кожного сорту сиру використовують певний набір мікроорганізмів.

Молочнокислі бактерії використовують не лише для виробництва йогуртів або сиру, а й для квашення капусти, помідорів, огірків. Завдяки саме цим мікроорганізмам утворюється силос — цінний соковитий корм для сільськогосподарських тварин, який отримують з подрібненої зеленої маси.

Важливим напрямом використання бактерій є очищення стічних вод, адже деякі види бактерій здатні розщеплювати мийні засоби, нафту й бензин, що містяться у воді, до найпростіших неорганічних сполук.

З іншого боку, бактерії — це споконвічні вороги людства. Так, безліч смертельно небезпечних хвороб — таких як ангіна, дизентерія, лепра (проказа), лептоспіроз, пневмонія, сифіліс, скарлатина, туберкульоз, чума, холера й багато інших — спричиняються бактеріями. Спалахи цих хвороб забирали життя тисяч, а за умови пандемій — мільйонів людей.

Найлютішою інфекційною бактеріальною хворобою за всю історію людства була **чума**. Переносниками чуми є гризуни, а ланкою, що пов'язує щурів чи ховрахів з людиною, є блоха, яка спочатку живе на хворій тварині, живлячись її кров'ю, а потім через укуси заражає людину. За умови високої концентрації чумних бацил у повітрі заразитися можна й через дихальні шляхи. Чума залишила глибокий слід в історії людства. Відомі дві пандемії. Обидві сталися у Середні віки: одна — у 551–580 рр. на Близькому Сході, коли померло близько 20 млн осіб; друга — ще сильніша, яка отримала назву «Чорна смерть», мала місце в Західній Європі. Вона лютувала лише чотири роки і забрала близько 34 млн людських життів — третину населення Європи того часу. Зараз чума не настільки небезпечне захворювання — якщо лікування почати своєчасно, то шанси на порятунок доволі значні.

Найнебезпечнішою бактеріальною інфекцією сучасності є *туберкульоз*. Збудником цієї хвороби є вид дуже дрібних бактерій, його часто називають «паличкою Коха» — за ім'ям німецького вченого Роберта Коха (1843–1910), який відкрив ці бактерії. Вони найчастіше вражають легені, але можуть вражати кістки, нирки, кишечник, нервову систему та інші органи. До ХХ ст. туберкульоз вважався невиліковною хворобою. З відкриттям антибіотиків із цієї хворобою вдало навчилися боротися. Туберкульоз — хвороба, що має соціальну природу, і на нього частіше хворіють безпритульні та наркомани.

Антибіотики. У 1930-х роках люди навчилися виділяти з бактерій та пліснявих грибів речовини, що мають здатність вбивати або пригнічувати зростання хвороботворних бактерій. Ці речовини отримали назву *антибіотики* (від грец. *анти* — проти і *біос* — життя). Їх дія полягає в порушенні цілісності мембрани клітин. Найперший масовий антибіотик — *пеніцилін* — був виділений із пліснявого гриба пеніцилуму. Він був не таким вже й сильним, більше того, виявився навіть токсичним, але під час Другої світової війни врятував мільйони життів. Завдяки антибіотикам удалося перемогти багато хвороб, які до їх відкриття вважали невиліковними.

Планетарне значення бактерій. Без прокаріотів і, зокрема, бактерій неможливим було б ні виникнення життя, ні його сучасне існування.

У цих істот є свої унікальні способи живлення, завдяки яким і стає можливим кругообіг речовин у природі.

Видатний мікробіолог Луї Пастер назвав бактерії «великими могильниками», які запускають колообіг речовин у природі, постачаючи рослинам карбон(IV) оксид. Уявіть собі: якби деревина померлих дерев або листя не розкладалися, то рано чи пізно Карбон, що міститься в атмосфері у вигляді CO_2 , перетворився б на кам'яне вугілля, а життя на Землі припинилося б через неможливість фотосинтезу. Отже, якщо рослини є виробниками органічної речовини, тварини — її споживачами, то бактерії — руйнівниками.

Бактерії відіграють важливу роль у підтриманні родючості ґрунтів. Завдяки їхній діяльності з померлих тварин і рослин, що розклалися, утворюється *гумус* — найбільш родючий шар ґрунту. Саме тут накопичуються поживні речовини, утримуються вода та Оксиген, необхідний для дихання підземної частини рослин.

Завдяки бактеріям відбувається фіксація Нітрогену й Сульфуру. Спочатку гнильні бактерії руйнують органічну речовину, виділяючи аміак і сірководень, які згодом бактерії-хемосинтетики перетворюють на нітратну та сульфатну кислоти, солі яких вже засвоюються рослинами.



До прокаріотів належать два царства живих істот: **Бактерії** та **Археї**. У їхніх клітинах немає ядра та органел, до складу яких входять клітинні мембрани. Без прокаріотів неможливим було б виникнення життя і його сучасне існування.



1. Назвіть найбільш незвичайні риси будови й способу життя бактерій? **2.** У чому полягають відмінності архей від бактерій? **3.** Що ви знаєте про бактерії-симбіонти? **4.** У чому полягає планетарне значення бактерій? **5.** Які хвороби людини викликають бактерії та як найбільш ефективно їх лікувати?

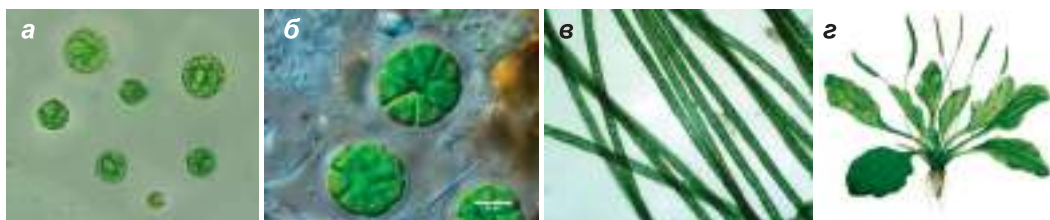


• Які прокаріоти першими виникли на Землі: бактерії чи археї? Відповідь обґрунтуйте.

§ 49. Головні групи еукаріотних організмів

Терміни й поняття: *одноклітинні, колоніальні, таломні та багатоклітинні організми, слань, або талом, тканини, фітогормони.*

Еукаріотні організми. Згідно із системою органічного світу, усі живі істоти, клітини яких мають органели, побудовані з клітинної мембрани, належать до надцарства Еукаріоти, яке зазвичай поділяють на три царства: **Гриби, Рослини й Тварини**. Разом з тим за організацією тіла їх можна розділити на чотири групи (іл. 49.1).



Іл. 49.1. Рослини з одноклітинною (а), колоніальною (б), таломною (в) та багатоклітинною (г) організацією тіла

Перша група — одноклітинні мікроскопічні організми; мають тіло, побудоване лише з однієї клітини.

Друга група — колоніальні, тіло яких складається з від кількох десятків до кількох десятків тисяч клітин. Це зазвичай істоти, які можна побачити лише в мікроскоп. Усі клітини в них однакові за будовою і повністю рівнозначні. Вони мають спільний метаболізм й однаково реагують на подразники. Кожна клітина колонії здатна дати новий організм.

Третя група — великі за розмірами організми, тіло яких складається з мільйонів і мільярдів клітин, які майже не відрізняються за своєю будовою, а якщо й відрізняються, то легко перетворюються з одного типу на інший. Такі організми не мають тканин і, відповідно, органів тіла. У них є лише статеві органи. Такий тип будови тіла має назву *талом* (від грец. *таллос* — зелена гілочка), або *слань*.

Четверта група — справжні багатоклітинні істоти. Різноманітні за розмірами: від мікроскопічних (деякі круглі черви та членистоногі) до гігантів тваринного й рослинного світу. Клітини різної будови, до того ж кожен тип клітин має певне функціональне призначення та займає цілком визначене місце в організмі. Це означає, що багатоклітинні істоти мають тканини, з яких формуються вегетативні органи. Також для більшості багатоклітинних істот характерна провідна система, що складається із судин.

Рослини. Особливості будови тіла й способу життя. Рослини — це організми, клітини яких містять пластиди й хлорофіл, зі щільними оболонками зазвичай із клітковини. Це автотрофи, що здійснюють фотосинтез та нездатні до активного переміщення свого тіла в просторі. Рослини поділяють на дві великі групи: **Водорості**, або **нижчі рослини**, та **Вищі рослини**.

Водорості — це одноклітинні, колоніальні й таломні організми, дуже різні за формою тіла і хімічним складом клітин. Загалом нараховують не менше дев'яти відділів, причому відділ **Червоні водорості** належить до окремого підцарства (іл. 49.2).



Іл. 49.2. Водорості різних відділів: а — харові; б — червоні; в — бури

Їх хлоропласти містять різноманітні форми хлорофілу, а клітини — цілу низку пігментів, відсутніх у вищих рослин. Крім того, їхня клітинна оболонка не завжди складається з клітковини, до неї можуть входити і білки, а в діатомових водоростей навіть є панцир, побудований із силіцій(IV) оксиду. Деякі одноклітинні водорості можуть активно рухатися за допомогою джгутиків і несправжніх ніжок.

Вищі рослини. Для них характерна тканинна організація тіла, вегетативні органи (корінь і пагін), а також наявність провідної системи. З твірної тканини в рослин формуються інші види тканин: основна, у клітинах якої відбувається фотосинтез, покривна, що захищає тіло рослини; провідна, по судинах якої рухається вода і поживні речовини; механічна, що виконує опорну функцію, і секреторна, у клітинах якої відбувається синтез, наприклад, нектару чи смол. Для рослин також характерні складні тканини, що утворені клітинами різного типу. Також до рослинних тканин входять мертві клітини, чого ніколи не буває у тварин.

Вищі рослини поділяють на дві групи (іл. 49.3): **Спорові рослини** (Мохоподібні, Плауноподібні, Хвощеподібні, Папоротеподібні), які розмножуються спорами і мають складний життєвий цикл з чергуванням гаметофіту й спорофіту, та **Насінні рослини** (Голонасінні й Покритонасінні) (іл. 49.4), розмноження яких відбувається насінням, а гаметофіт редукований.



Лл. 49.3. Представники різних відділів вищих спорових рослин: а — мохоподібні, б — плауноподібні, в — хвоцеподібні, г — папоротеподібні



Лл. 49.4.
Насінні рослини:
а — голонасінні
(саговник),
2 — покритонасінні
(тройанда).

Рослини — це фотосинтезуючі організми, джерелом енергії їм слугує сонячне світло, яке вони поглинають за допомогою пігменту хлорофілу, а необхідні органічні речовини синтезують самі, використовуючи для цього неорганічні сполуки. Атоми Карбону вони отримують шляхом поглинання CO_2 , що міститься в повітрі, а воду, сполуки Нітрогену та різні йони, які відіграють роль макро- і мікроелементів, поглинають із ґрунту або з товщі води.

Як і всім живим істотам, рослинам властива реакція на зміни середовища проживання й зовнішні впливи. За сприятливими для життя змінами середовища в рослин відбувається прискорення обміну речовин, збільшується число клітинних поділів (організм росте), а за поганих умов відбуваються зворотні процеси. Крім того, рослини реагують на фактори середовища змінами ростових процесів, що проявляється в розмірах рослини, зокрема, формі й розмірах листя.

Є рослини, які реагують на певні подразники доволі швидко. Типовим прикладом може слугувати соняшник (іл. 49.5), якому властивий *геліотропізм* (від грец. *геліос* — сонце і *тропос* — поворот, напрям) — обертання розкритих суцвіть услід за Сонцем.



Лл. 49.5. Соняшник — рослина з виразним геліотропізмом

Існують рослини, які, подібно до тварин, негайно реагують на дотики, наприклад, мімоза, листя якої після дотику складаються протягом кількох секунд. В основі такого руху рослин лежать зміни внутрішньоклітинного тиску, що можливий завдяки жорсткій клітинній оболонці.

Основними регуляторами життєдіяльності у вищих рослин є спеціальні речовини — *фітогормони* (від грец. *фітос* — рослина і гормони), яких налічують п'ять основних типів. Фітогормони не мають високої специфічності, а тому всі тією чи іншою мірою впливають на поділ клітин, стан бруньок, ріст стебла й листя, цвітіння і в'янення квіток, дозрівання плодів.

Тварини — найбільш досконалі живі істоти. Клітини тварин не мають щільної клітинної оболонки, а тому легко змінюють свою форму, що надає організму можливість швидко пересуватися у просторі. Цитоскелет, що складається з мікротрубочок і мікрофіламентів, слугує їхнім клітинам опорно-руховим апаратом.

Серед тварин трапляються організми усіх типів організації тіла (іл. 49.6). Саме за цим критерієм їх поділяють на три великі систематичні групи.



Іл. 49.6. Представники трьох головних підцарств тварин:
а — одноклітинні найпростіші (колоніальні інфузорії), б — несправжні багатоклітинні, або таломні (губка бодяга), в — справжні багатоклітинні (дощовий черв'як)

Перша група — найпростіші — одноклітинні та колоніальні організми. Згадайте спосіб життя і будову амеби, інфузорії-туфельки чи вольвоксу.

Типовим представником **другої групи** тварин є губки. Їхнє тіло побудоване з мільйонів клітин різного типу, які здатні перетворюватися з одного типу на інший. Тому вважають, що тіло цих організмів не має тканин.

Третя група — справжні багатоклітинні тварини, тіло яких складається з чотирьох типів тканин (епітеліальної, сполучної, м'язової та нервової). Причому клітини різних тканин не здатні перетворюватися з одного типу на інший. Для багатоклітинних тварин властиві органи тіла, які у більш високоорганізованих представників об'єднуються у системи органів. Для тварин характерне внутрішнє розміщення органів, тоді як в рослин розміщення — зовнішнє. У результаті у тварин тіло компактне та забезпечує легкість пересування, у рослин, навпаки, розкидисте, що гарантує їм найбільш ефективний фотосинтез.

Тварини — гетеротрофні організми, що живляться органічною речовиною, яку поглинають поїдаючи рослини, тварин або речовини, що залишилися від померлих тварин чи рослин.

У тварин спостерігають миттєву реакцію на зовнішні подразники. Це зумовлено наявністю нервової системи, яка є «диригентом» усього організму, і м'язів, завдяки скороченню яких тварина швидко рухається. Для регуляції роботи органів такого складного організму, як тварина, у неї також є ціла низка різноманітних біологічно активних речовин, серед яких гормони — речовини різноманітної хімічної природи, які чітко діють на певні клітини-мішені. Завдяки гормонам у людини відбувається регуляція швидкості метаболізму, росту, статевого дозрівання, формується емоційний стан.

Грибї — царство еукаріотних безхлорофільних гетеротрофних організмів.

Тіло грибів зазвичай складається зі слані, яку називають *міцелієм* (від грец. *мікес* — гриб), або грибницею. Як виняток трапляються одноклітинні гриби (дріжджі), хоча їх предки мали таку саму будову тіла, як і більшість сучасних грибів. Міцелій складається з тонких розгалужених трубчастих ниток — *гіфів* (від грец. *гіфе* — павутина). Гіфи, по суті, є гігантською клітиною, вкритою тонкою, але щільною хітиновою оболонкою і містить величезну кількість ядер. Збільшення розмірів міцелію відбувається не внаслідок поділу гіфів, а за рахунок їх росту у верхівковій частині, де відбуваються поділи ядер.

Примітивні гриби, їх називають нижчими, мають одну-єдину гігантську клітину, що складається з величезного числа гаплоїдних ядер. У вищих грибів гіфи розділені поперечними перетинками на окремі відсіки, які мають отвори. Крізь них цитоплазма з однієї частини гіфа може перетікати до іншої. Ці відсіки нагадують окремі клітини, проте вони не є справжніми, оскільки поділ ядер у гіфах не пов'язаний із поділом на відсіки. Зазвичай кожен відсік містить два гаплоїдні ядра, однак може мати одне або кілька ядер, які, як і належить еукаріотам, мають подвійну мембрану, ядерця та хромосоми.

Цитоплазму гриба пронизує ендоплазматична сітка з рибосомами, у ній також міститься апарат Гольджі, мітохондрії, вакуолі, які на старих ділянках гіфів займають майже всю цитоплазму. На відміну від рослин, клітини яких запасують крохмаль, гіфи грибів містять інший полісахарид — *глікоген*.

Гіфи деяких видів грибів здатні до *агрегації* (від лат. *агрегаціо* — приєднання) — утворення плодових тіл, які в побуті називають грибами (іл. 49.7).



Іл. 49.7. Отруйний гриб бліда поганка (а) та найбільш відомий їстівний білий гриб (б)

Гриби — це гетеротрофні організми, що живляться органічною речовиною, яку поглинають усім тілом шляхом дифузії з ґрунту, товщі води, або, якщо це паразити, з тіл інших організмів, навіть і грибів. Спосіб живлення, пов'язаний з утворенням *мікоризи* (від грец. *мікес* — гриб, *різа* — корінь), властивий шапинковим грибам (білому грибу, підберезнику, підосичнику, сиріюжкам, хрящам-молочникам тощо). Мікориза — це випадок симбіозу між грибом, що живе в

грунті, та деревом, за умови якого гіфи тісно переплітаються чи навіть проникають у коріння рослини, не завдаючи рослині шкоди.

Завдяки мікоризі гриб отримує від дерева вітаміни та вуглеводи й у свою чергу постачає йому сполуки з Нітрогеном, яких рослини, особливо ті, що ростуть на збіднених ґрунтах, дуже потребують.



Еукаріотні організми згідно системи органічного світу належать до трьох царств: **Гриби, Рослини й Тварини** та розрізняються принципами будови клітини, способом життя і живленням. За способом організації тіла **еукаріоти бувають** **одноклітинними, колоніальними, таломними та багатоклітинними.**

У рослин і тварин трапляються всі чотири типи організації тіла, у грибів — лише таломний та одноклітинний. Останній притаманний лише дріжджам, які в далекому минулому мали міцелій.

1. На які чотири групи за будовою тіла поділяють еукаріоти? **2.** Чому величезні водорості, розмір яких сягає кілька десятків метрів і які складаються з мільярдів клітин, не вважають справжніми багатоклітинними організмами? **3.** Чим тканнна організація в рослин відрізняється від організації тканин у тварин? **4.** Чим гормони тварин відрізняються від фітогормонів? **5.** У чому полягає особливість клітинної організації тіла грибів?



- Чому тварин вважають більш досконалішими істотами, ніж рослин чи грибів?

Практична робота № 4

Тема. Порівняння будови та процесу розмноження клітинних і неклітинних форм життя.

Мета: установити принципи відмінності між зазначеними об'єктами живої природи в будові та способі існування.

Завдання. Проведіть порівняння особливостей будови й життєдіяльності кишкової палички та вірусу грипу та заповніть таблицю.

Властивості		Кишкова паличка	Вірус грипу
Генетична речовина			
Наявність білків і ферментів			
Інші органічні речовини			
Вода			
Власний метаболізм			
Клітинна мембрана			
Відтворення:	шляхом клітинних поділів		
	генетичним паразитизмом		
	статевим шляхом		

Тестові завдання до теми 7

7.1. Учений, який першим спробував класифікувати рослини

- А Аристотель Б Теофраст В Платон Г К. Лінней

7.2. Найбільш численна за кількістю видів група живих істот

- А водорості Б квіткові рослини В гриби Г комахи

7.3. Таксон, назва якого латиною складається з двох слів

- А вид Б рід В родина Г тип

7.4. Речовина, яка є основою будь-якого вірусу

- А глікопротеїд Б нуклеопроетїд
В ліпопротеїд Г складний полісахарид

7.5. Слово «вірус» у перекладі з давньогрецької звучить як

- А «отрута» Б «лихо» В «хвороба» Г «істота»

7.6. Речовини, що входять до складу вірусів та є зберігачами генетичної інформації

- А ДНК Б РНК
В ДНК і РНК Г ДНК, РНК і білки

7.7. Зворотна транскрипція — це

- А синтез іРНК вірусів на матриці ДНК вірусів
Б синтез ДНК вірусів на матриці РНК вірусів
В синтез білків вірусів на матриці ДНК вірусів
Г синтез РНК вірусів на матриці вірусних білків

7.8. Бактерії розмножуються

- А спорошенням Б статевий нестатевий
В поділом навпіл Г поділом навпіл і брунькуванням

7.9. До нижчих рослин належить

- А спірогіра Б зозулин льон
В плаун булавовидний Г амеба

7.10. Плазмїда — це

- А хромосома бактерії Б невеличкий фрагмент ДНК у цитоплазмі
В спора бактерії Г зовнішня мембрана бактеріальної клітини

7.11. Увїдповідніть групи організмів та особливості їх способу життя

- | | |
|------------|---|
| 1 археї | А фотосинтез |
| 2 бактерії | Б активне пересування |
| 3 рослини | В генетичний паразитизм |
| 4 тварини | Г здатність до життя у екстремальних умовах |
| | Д бродіння |

7.12. Увїдповідніть наукові терміни та їх зміст

- | | |
|-------------------------|--|
| 1 генетичний паразитизм | А використання генетичного апарату клітини для синтезу вірусів |
| 2 бродіння | Б безкисневий розклад білків бактеріями |
| 3 гниття | В гліколіз бактерій |
| 4 талом | Г кисневий етап дихання |
| | Д тип організації тіла грибів |

Тема 8. НАДОРГАНІЗМОВІ БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ

§ 50. Екологія — наука про довкілля

Терміни й поняття: екологія, охорона природи, аутоекологія, демекологія, синекологія, бентос, планктон, нейстон.

Екологія. У сучасному житті слово «екологія» стало популярним і звучить так часто, як ще кілька десятиліть тому слова «технічний прогрес», «кібернетика» й «космонавтика». І це не випадково. Якщо раніше людство своє майбутнє пов'язувало з технічним прогресом, розумними машинами й завоюванням космосу, то зараз для цивілізації існують цілком інші пріоритети. Необхідно зберегти природне середовище проживання, перейти на поновлювані джерела енергії, забезпечити населення планети харчовими ресурсами, запобігти пандеміям нових, насамперед вірусних, хвороб. Усі ці глобальні проблеми, що постали перед людством, називають екологічними, і це теж не випадково, адже екологія — це наука про взаємодії живих організмів один з одним та з навколишнім середовищем.

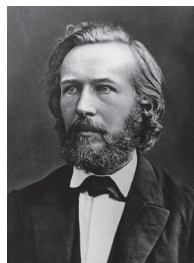
Термін «екологія» запропонував біолог-еволюціоніст Е. Геккель у 1866 р.: «Під екологією ми розуміємо загальну науку про взаємодію організмів з навколишнім середовищем, куди ми відносимо в широкому розумінні всі умови існування».

Зокрема, полем її діяльності, за задумом автора терміна, повинні були стати нові для науки того часу питання: конкуренція організмів у природі і як наслідок — їх боротьба за існування, що виникала при цьому. Пригадайте: це два дуже важливі постулати еволюційної теорії Ч. Дарвіна. Звідси очевидно, що екологію спочатку розглядали як доповнення до еволюційної теорії.

Слово «екологія» походить від давньогрецького слова *ойкос* — дім, середовище й, по суті, дуже точно відображає зміст екології — науки про організми «у себе вдома» або точніше — про організми в природі, їх взаємини один з одним і різними неживими компонентами середовища проживання. Слід зазначити, що об'єктами дослідження екології в широкому розумінні є не лише всі живі організми (бактерії, гриби, рослини, тварини та їх взаємодія один з одним), а й людина з усією її діяльністю.

Предмет і завдання екології. Предметом екології є сукупність зв'язків між організмом і середовищем, які певним чином організовані й структуровані. Крім того, дуже важливою складовою екологічних досліджень є практичне застосування отриманих знань про життя природи. Цілком очевидно, що не можна охороняти природу, користуватися її ресурсами, не знаючи за якими законами вона живе й розвивається, як реагує на впливи людини і який об'єм ресурсів може взяти собі людство, щоб це не призвело до незворотних втрат.

Головними об'єктами екологічних досліджень є природні комплекси живих організмів, що взаємодіють між собою та із середовищем проживання.



Ернст Геккель
(1834–1899)

Виходячи з того, що жива матерія має кілька рівнів організації, предметом екологічних досліджень є: на організмовому рівні — питання взаємодії середовища з окремими особинами; на популяційно-видовому — взаємодія сукупності особин одного виду, що проживають на певній території, між собою та із середовищем свого проживання; на біосферно-біоценотичному — угруповання різних видів, у яких ці види взаємодіють один з одним та із середовищем проживання (іл. 50.1).



Іл. 50.1. Коралові рифи — складне угруповання різних видів живих організмів

В екології зазвичай виділяють такі основні розділи: *аутекологію* (від грец. *аутос* — сам та екологія), що досліджує зв'язки окремого організму або виду організмів з навколишнім середовищем; *демекологію* (від грец. *демос* — народ та екологія), яку ще називають популяційною екологією (вивчає структуру й динаміку популяції окремих видів) і *синекологію* (від грец. *син* — разом та екологія),

що вивчає життя багатовидових угруповань тварин, рослин і мікроорганізмів та середовище їх проживання — ліси, ріки, моря тощо.

З огляду на завдання, які постають перед сучасною екологією, її поділяють на загальну й прикладну.

Загальна екологія — це розділ біологічної науки, який вивчає загальні закономірності взаємодії живих організмів і середовища. До її завдань входить вивчення механізмів пристосування організмів до середовища проживання, оцінка біологічної продуктивності й динаміки чисельності популяцій, розробка теорії стійкості й зміни екологічних систем.

Прикладна екологія займається розв'язанням важливих практичних завдань, що регулюють відносини людини й природи, зокрема: складання прогнозів та оцінка негативного впливу діяльності людини на природу, збереження й раціональне використання природних ресурсів; розробка інженерних, економічних, правових і соціальних заходів, покликаних зменшити тиск людини на природу та врегулювати їхні взаємини. Прикладну екологію у вітчизняній науковій літературі зазвичай називають охороною навколишнього середовища (охороною природи).

Середовище життя — це частина природи, яка оточує живі організми та здійснює на них прямий або непрямий вплив. У середовище життя входять не лише різні фізичні й хімічні, так звані *абіотичні* (від грец. *а* — ні, *біос* — життя), компоненти, а й живі організми свого або іншого виду — біотична складова. Із середовища живі істоти одержують необхідну для життя різноманітні речовини й енергію та виділяють до нього продукти свого метаболізму. Зараз середовище проживання кожного орга-

нізму тією чи іншою мірою формує людина та її виробнича діяльність. При цьому одні компоненти навколишнього середовища життєво необхідні організму, інші виявляють негативний вплив, ще інші для них байдужі.

За особливостями умов існування розрізняють три основні типи середовища проживання, у кожному з яких є свої ключові компоненти.

Наземне середовище — це поверхня суходолу. Тут живуть організми, які розмножуються й розвиваються або безпосередньо на поверхні землі, або на рослинах, у тому числі й деревах. Водночас вони можуть пересуватися та полювати як на поверхні землі, так і у воді чи повітрі.

Водне середовище включає не лише Світовий океан, ріки, озера, а й калюжі, порожнини й капіляри ґрунту, заповнені водою, а для деяких паразитичних найпростіших і багатьох бактерій — цитоплазму клітин багатоклітинних організмів. Особливістю водного середовища є те, що різні види організмів можуть розміщатися в ній не в одній площині, як по поверхні Землі, а в об'ємі, для чого в них виробилися спеціальні пристосування. Різноманітні молюски, черви, риби, що живуть на дні водойм, утворюють угруповання організмів, яке називають *бентосом* (від грец. *бентос* — глибина); ракоподібні чи одноклітинні водорості, що плавають у товщі води, формують *планктон* (від грец. *планктон* — мандрівне); різноманітні водорості та дрібні безхребетні тварини, наприклад, клопи-водомірки, що ковзають поверхнею водойм — *нейстон* (від грец. *неустос* — той, що плаває). Вода — це первинне середовище проживання, тут зародилося життя, звідси воно вийшло на суходіл.

Підземне середовище є найбільш специфічним. Для нього характерна висока щільність, дефіцит кисню й відсутність світла. У таких умовах можуть жити лише деякі організми — переважно бактерії, а також гриби й окремі види й групи тварин (личинки комах, дощові черви, безногі земноводні — черв'яги та деякі ссавці), причому не лише ті ссавці, що все життя проводять під землею як, наприклад, кріт, а й такі, що викопують нори, у яких переховуються і вигодовують дитинчат. Це головним чином різноманітні гризуни (полівки, ховрахи, байбаки).



Сучасна екологія — наука про взаємодії організмів з іншими організмами й середовищем їхнього проживання — є не лише найважливішим напрямом сучасної біології, а й міждисциплінарною наукою, яка досліджує найскладніші проблеми взаємодії людини з навколишнім середовищем.

Екологічні проблеми, що виникли в масштабах планети, спричинили «екологізацію» природних, технічних і гуманітарних наук, серед яких виникли: **інженерна екологія, соціальна екологія, сільськогосподарська екологія, космічна екологія** тощо.



1. Що таке екологія і в чому полягає предмет її вивчення? **2.** Які завдання постають перед загальною, а які — перед прикладною екологією? **3.** Що в екології називають середовищем існування? **4.** У чому полягають головні відмінності водного, наземної та підземного середовищ існування?



- Чому екологію інколи називають економікою природи?

§ 51. Екологічні фактори та їх дія на живі організми

Терміни й поняття: екологічні фактори (біотичні, абіотичні, антропогенні), груповий ефект, конкуренція, хижацтво, паразитизм, коменсалізм, мутуалізм.

Екологічні фактори. Усе, що оточує живі організми, є середовищем їх існування. Окремі його компоненти й елементи, які безпосередньо або побічно впливають на живі організми, називають екологічними факторами. Умови середовища, що впливають на життя організмів, зазвичай поділяють на три групи факторів: біотичні, абіотичні й антропогенні.

Біотичні фактори — це найрізноманітніші форми впливу живих організмів один на одного й на середовище. Відносини між організмами можуть бути безпосередніми, але частіше мають замаскований, непрямий характер.

Найбільш очевидними відносинами між організмами є прямі конкурентні відносини особин одного виду за харчові ресурси, притулки, місця для розмноження, змагання самців за самку. Що стосується міжвидових відносин, то на перший план виходять *трофічні* (від грец. *трофе* — живлення) *стосунки*, суть яких можна сформулювати дуже просто: «хто, чим або ким і в який спосіб живиться».

Міжвидова конкуренція — це той випадок, коли, наприклад, різні види змагаються за один ресурс. Такими конкурентами можна вважати рись, вовка й лисицю, у них спільний об'єкт полювання — заєць.

Хижацтво — це взаємини між двома однаковими за рівнем організації істотами, одна з яких активно полює (хижак), а інша є об'єктом цього полювання (жертвою). Найбільше хижих істот у царстві тварин (іл. 51.1).



Іл. 51.1. Напад левиці на антилопу

Однак є хижаки й серед грибів, які живляться мікроскопічними личинками круглих червів. Трапляються вони й серед рослин, які приваблюють комах квітками або листками з липкою речовиною, а потім перетравлюють їх.

Паразитизм (від грец. *паразитос* — нахлібник) — це форма ворожих відносин різних видів організмів, один з яких (паразит), поселяючись на тілі або в тілі іншого організму (господаря), живиться за його рахунок і завдає йому відчутної шкоди.

Паразитичні форми життя трапляються серед грибів, квіткових рослин, найпростіших, різних червів і членистоногих.

На відміну від хижака, що відразу вбиває свою жертву, паразит використовує свого господаря дуже довго, що найчастіше не призводить до смерті хазяїна, бо ж загине й сам паразит.

Коменсалізм (від лат. *кум* — разом з і *менса* — стіл) — відносини між особинами різних видів, які одним не шкодять, а іншим надають відчутної користі. Це може

бути співжиття організмів різних видів, за якого один організм використовує інший як житло й джерело харчування, але не заподіює шкоди партнерові. Наприклад, риба гірчак відкладає ікринки в мантийну порожнину двостулкових моллюсків перлівниць і беззубок. Унаслідок цього ікринки, що розвиваються, захищені раковиною моллюска, але їх присутність не створює негативу для життя господаря.

Бувають випадки, коли один вид тварини, якого називають коменсалом, підбирає залишки зі «столу» іншого. Риба-прилипало вступила в настільки міцні відносини з акулками, що виробила для цього спеціальне пристосування. Своєю плавцем-присоском, прикріплюючись до шкіри акули, вона не лише пересувається за їх допомогою, але й харчується залишками їхньої «трапези».

Мутуалізм (від лат. *мутуус* — взаємний) — рідкісний випадок співжиття організмів різних видів, що приносить їм взаємну користь. Наприклад, у лишайника, який є складним організмом (утворений грибами та водоростями), гіфи гриба постачають водоростям воду й мінеральні речовини, а водорості, у свою чергу, здійснюючи фотосинтез, надають грибам готові органічні речовини, які слугують їм їжею (іл. 51.2).

Ще одним прикладом мутуалізму є взаємини трав'янистих ссавців і деяких видів інфузорій, що живуть у їхньому травному тракті. Ці інфузорії не здатні жити поза кишечником коня чи корови, а ссавці без них не можуть перетравити траву.



Іл. 51.2. Лишайник на гілці дерева

Дія на організми факторів неживої природи. Абіотичні фактори — це різноманітні дії на організм неживої природи. Насамперед, це *кліматичні* (температура, опади, сонячна радіація), *геологічні* (рельєф), *географічні* (грунт, течії, вітри) фактори, а також *фізичні* (шум, магнітні поля, радіоактивність, інтенсивність сонячного випромінювання) й *хімічні агенти* (хімічний склад атмосфери, прісних і морських вод, ґрунту) та навіть *катастрофи* (повені, пожежі).

Кліматичні, фізичні й хімічні фактори впливають на організми безпосередньо, а геологічні або географічні — опосередковано, як наприклад, близькість океану визначає вологий і м'який температурний режим територій, які прилягають до узбережжя.

Розгляньмо основні кліматичні фактори й особливості їх впливу на живі організми.

Температура. Це, мабуть, найважливіший кліматичний фактор, на який реагують усі без винятку організми. Пригадайте: від температури тіла залежить швидкість метаболізму. Що вища температура, то вища швидкість обміну речовин, росту, розвитку й дозрівання. Вважають, що особливе значення температура відіграє в зонах з холодним кліматом. Однак це не цілком так. Більш критичною для життя організмів є верхня межа температур, ніж нижня, адже білки й ферменти не витри-

мують нагрівання більше, ніж $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$, а тому життя в пустелях є більш пригніченим, ніж за Полярним колом (іл. 51.3).

Ще один важливий фактор — **енергія Сонця та освітленість**. Сонячна енергія не лише визначає температуру на поверхні Землі, а й є первинним джерелом енергії.



Іл. 51.3. Ящірка-крутиголовка, що живе в умовах пустелі, добре пристосувалася до життя в умовах дефіциту води

Завдяки світловій енергії Сонця в рослин відбувається фотосинтез. Визначальною для життя організмів, особливо рослин, зазвичай є нижня межа освітленості.

Вода — ключова речовина живих систем. Кожна клітина в середньому на 80–85 % складається з води. Невипадково вологість середовища проживання й особливо дефіцит прісної води, джерелом якої є насамперед опади, виявляється визначальним фактором для життя багатьох організмів на суходолі.

Однак на будь-який організм діє не один, а кілька факторів, вплив яких доволі різний. Який із факторів у такому випадку визначальний? З'ясовано, що на організм чи популяцію насамперед впливає найбільш дефіцитний фактор. Наприклад, якщо ґрунт на полі забезпечений сполуками Нітрогену на 90 %, Фосфору — на 60 % і Калію — на 85 %, то найбільш ефективним буде внесення Фосфору, а додавання двох інших елементів майже не впливатиме на врожай. Так само в умовах пустелі лімітувати ріст рослин будуть дощі, а в умовах тундри — висока температура в літній період.

Вплив людини на живі організми як особливий екологічний фактор. Діяльність людини давно вже набула ролі глобального екологічного фактора, що має для живого на планеті таке ж значення, як температура, освітленість або вода. Але, з одного боку, за своєю природою людина — це біологічний вид, а тому його діяльність логічно розглядати як біотичний фактор. З іншого боку — цей вплив зовсім не такий, як вплив інших живих істот. Він не створює середовище проживання, а скоріше руйнує його. Саме тому діяльність людини виокремлена в особливу групу **антропогенних** (від грец. *антропос* — людина, *генезис* — походження) **екологічних факторів**. Це всі види діяльності людини, насамперед господарської, які впливають на природне середовище та змінюють умови проживання живих організмів.

Різноманітні умови середовища проживання, що виявляють вплив на живий організм, називають екологічними факторами. Їх традиційно поділяють на три групи: **біотичні**, серед яких головними є трофічні відносини, **абіотичні** й **антропогенні**. Незважаючи на те, що на біологічні системи діє багато факторів, ключовими є ті, що представлені в найбільшому дефіциті.



1. На які три групи поділяють екологічні фактори? 2. Які типи міжвидових взаємодій спостерігають у природі? 3. Якщо на організм діє ціла низка факторів, то який з них буде визначальним? 4. Чому антропогенні фактори виділяють в особливу групу?

• Чи є спалахи сонячної активності екологічним фактором щодо таких видів як лисиця, борсук або ведмідь?

§ 52. Популяція та її властивості. Біологічні адаптивні ритми

Терміни й поняття: сезонність життєвих явищ, чисельність популяції, динаміка чисельності, хвилі життя, біологічні ритми, біологічний годинник, фотоперіодизм.

Популяція. Жоден вид організмів не здатний жити поодиноці. І тут річ не лише у взаємодії між живими істотами, а й у тому, що особини певного виду завжди прагнуть зайняти найбільш придатні місця проживання. Саме на таких ділянках відбувається концентрація особин одного виду, які утворюють *популяцію* (від лат. *populus* — народ, населення). Так, на практиці найчастіше популяцію й визначають як певне поселення організмів одного виду, прив'язане до конкретної території або акваторії. Якщо організми розмножуються статевим шляхом, то в популяції відбуваються схрещування особин одна з одною.

Територія якого розміру придатна для існування популяції? Багато в чому це залежить від виду та його біологічних особливостей. Наприклад, популяцією можна вважати колонію *сріблястого мартина* (іл. 52.1), що розміщується на одному острові, або кілька колоній прилеглих островів, або поселення цього виду в одній великій затоці, або навіть усього моря.



Іл. 52.1. Колонія сріблястого мартина

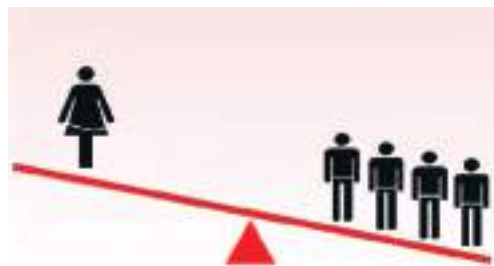
Тому доволі часто межі між популяціями умовні й визначаються відповідно до мети й завдання наукового дослідження, яке постає перед дослідником. Виявляється, не лише багатоклітинні організми: гриби, рослини або тварини можуть жити групами, а й навіть такі примітивні істоти як бактерії.

Структура популяції. Кожне поселення організмів складається з особин одного виду, які обов'язково чимось відрізняються одні від одних: генотипами, розмірами, плідністю, віком, статтю. Причому в цій різноманітності особин існує певний порядок, який і називають структурою популяції.

Важливою характеристикою популяції є співвідношення особин різного віку. Зазвичай у популяціях незрілих молодих особин завжди більше, ніж дорослих, а тим більше старих. У цій закономірності легко можуть переконатися рибалки: доволі легко наловити кілька десятків однорічних щучок, трохи більших за палець; значно рідше трапляються дорослі щуки завважки 2–3 кг, а гігантські особини від 10 кг і більше — взагалі рідкість. Але буває так, що популяція старіє. Це є ознакою її неблагополуччя, оскільки в такій популяції пригнічене розмноження. Може бути й протилежна ситуація, коли в популяції майже не трапляються дорослі й старі особини. Ситуація з дефіцитом дорослих зрілих особин у промислових тварин пояснюють сильним «пресом» мисливства чи рибальства.

Ще одним показником популяційної структури є співвідношення статей. В ідеальних умовах співвідношення самок і самців має бути навіть не рівним 1 : 1, а тро-

хи зрушеним убік збільшення частки самок. За такого співвідношення буде найбільш ефективно відбуватися розмноження. Саме таке співвідношення жінок до чоловіків спостерігають у репродуктивно зрілих частин народів світу (іл. 52.2)



Іл. 52.2. Співвідношення статей — важливий показник структури популяції

Чисельність — це дуже динамічний показник, який постійно змінюється по сезонах і роках. Будь-яка, навіть наймогутніша популяція, згодом переживає кризу, втрачає чисельність і скорочує свої розміри.

Сезонні зміни чисельності наявні в популяціях тварин, що живуть у тих частинах Земної кулі, у яких відбувається зміна пір року і є періодизація життєвих явищ, викликана тим, що одні сезони сприятливі для розмноження, а інші — ні. Саме тут в організмів, життєвий цикл яких становить декілька місяців (дрібних ракоподібних, багатьох видів комах, гризунів), відбуваються сезонні зміни чисельності популяцій. Протягом сприятливого для розмноження і розвитку потомства літнього сезону відбувається один або кілька циклів розмноження, після кожного з яких популяція збільшує чисельність. У несприятливий для життя й розмноження зимовий період розмноження призупиняється, збільшується смертність і відбувається падіння чисельності. У результаті до весни популяція повертається в ті самі межі чисельності, які мала навесні минулого року. Цей циклічний процес зміни структури популяцій повторюється щороку.

Не лише пори року, а й різні роки відрізняються за своїми умовами. Рік з ранньою холодною весною й дощовим літом сприятливий для життя вологолюбних організмів, а з пізньою весною та спекою влітку підходить для засухостійких теплолюбних істот. У результаті в різні роки активно розмножуються ті або інші види організмів, а у випадках, якщо умови складаються дуже сприятливо, виникають спалахи чисельності — кількість особин може зростати в сотні й тисячі разів. Очевидно, що роки зі сприятливими умовами змінюються несприятливими й за підйомом відбувається падіння чисельності. Ця особливість популяцій періодично рік у рік міняти свою чисельність має назву багаторічна динаміка чисельності. Її можна зобразити графічно у вигляді синусоїди, періоди якої відповідають підйому й падінню чисельності.

Уявімо собі: рік активного Сонця. Підвищена сонячна радіація та висока темпе-

Проте близьке до рівного співвідношення статей спостерігають далеко не в усіх видів тварин. Навіть у різних популяціях одного виду воно може змінюватися у доволі широких межах.

Популяційна динаміка та її причини. Головними характеристиками будь-якої популяції є її *чисельність та розміри*. Очевидно: що могутніша популяція, то більше особин до неї входить і більший простір вона займає. Однак чисель-

ратура стимулюють фотосинтез і високу продуктивність трави на луках, яка є найкращою їжею для полівок. Очевидно, що за надлишку поживних ресурсів полівки швидше ростуть і дозрівають, частіше розмножуються, причому в кожній генерації самки дають більше потомства, ніж зазвичай. Якщо до цього ще додати м'яку сніжну зиму, в умовах якої вони не припинять розмножуватися, то на початку літа відбудеться спалах чисельності цих гризунів. Оскільки полівки — це основна пожива хижих птахів (сов, лунів, канюків) і звірів (ласок, горностаїв, лисиць), то вслід за полівками обов'язково відбудеться зростання чисельності хижих видів. (іл. 52.3).

Зазвичай збільшення чисельності за багаторічної динаміки відбувається з певною періодичністю. У полівок, наприклад, підйоми чисельності чергуються кожні 3–5 років, відповідно піднімається й падає чисельність хижаків.

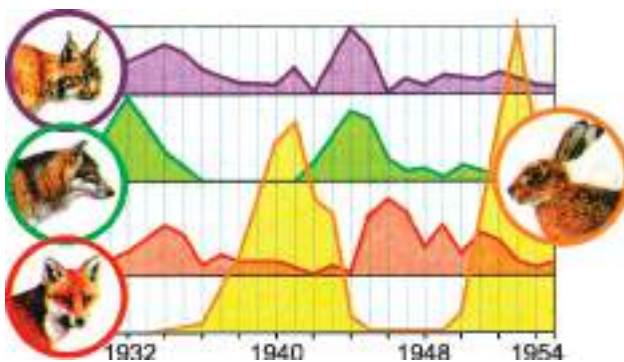
Періодичні зміни чисельності популяцій та їх структури має назву *хвилі життя*. Особливо помітні хвилі життя у плодючих тварин, які швидко дозрівають, а саме у комах і гризунів. Сумну популярність завдяки своїй особливості давати спалахи чисельності одержала перелітна сарана, описи спустошливих набігів якої можна знайти навіть у Біблії. Велику небезпеку людям несуть і різкі підйоми чисельності мишо-подібних гризунів, за якими звичайно йдуть спалахи небезпечних інфекційних захворювань: чуми, туляремії й лептоспірозу.

Біологічні й адаптивні ритми популяцій та організмів. Життя будь-якого організму складається з біологічних ритмів — повторюваних змін характеру життєдіяльності організму.

Розрізняють зовнішні (екзогенні) та внутрішні (ендогенні), або фізіологічні ритми організму.

Зовнішні ритми пов'язані з обертанням Землі відносно Сонця і Місяця відносно Землі. Під впливом цього обертання такі екологічні фактори, як *світловий режим, температура, тиск, вологість повітря, електромагнітне поле Землі, морські припливи й відпливи* тощо закономірно змінюються. На живі організми впливають і космічні ритми, наприклад, *періодичні зміни сонячної активності*. Крім впливу абіотичних факторів, для будь-якого організму зовнішніми ритмами є зміни активності та поведінки інших живих істот.

Внутрішні ритми засновані на періодичних фізіологічних процесах, що протікають усередині організму (дихання, серцеві скорочення тощо). В організмі людини розрізняють близько 300 ритмічних процесів, які утворюють *біологічний годинник* будь-якого організму (іл. 52.4).



Іл. 52.3. Динаміка чисельності зайця білого й хижаків (риси, вовка й лисиці), які ним живляться, протягом 30 років

Цей термін означає здатність організму відчувати час. Причому організм зі своїм біологічним годинником відраховує свій власний час, а не астрономічний, хоча в ряді випадків показники біологічних та астрономічних годинників можуть збігатися.



Іл. 52.4 Кожна людина має свій біологічний годинник

Адаптивні біологічні ритми. Їх виникнення пов'язане з необхідністю пристосування до періодично мінливих умов навколишнього середовища.

Добові, або циркадні, ритми пов'язані з пристосуванням організму до зміни дня й ночі, а тому в більшості видів мають 24-годинну циклічність (іл. 52.5). До циркадних ритмів відносять не лише фази фотосинтезу в рослин або зміну сну й рухової активності у тварин, а й інтенсивність клітинних поділів, яка також залежить від часу доби.

Місячні біоритми пов'язані з фазами Місяця. Їхній період відповідає місячному циклу (29,5 доби) або місячній добі (24,8 годин).

Оскільки місячні ритми впливають на припливи й відпливи, то вони добре помітні в поведінці морських рослин і тварин, що живуть у приливній зоні (наприклад, розкривання й закривання черепашок у двостулкових молюсків). Добре помітні місячні ритми й під час культивування мікроорганізмів. Позначаються вони й на поведінці людей. Уже давно помітили, що в період



Іл. 52.5. Приклад циркадного ритму — розкривання квіток тюльпана вдень і закривання вночі

повні росте число самогубств, серцевих нападів тощо.

Сезонні ритми. Причиною їх є не лише різкі контрасти в температурах улітку й узимку, а й зміни довжини світлового дня. Саме цей фактор, а не висока або низька температура, навесні зумовлюють строки пробудження дерев після зими, а потім визначають період цвітіння й навіть плодоносіння. Подовження світлового дня взимку слугує для багатьох тварин сигналом до початку гону, а його скорочення влітку для більшості перелітних птахів сповіщає — час летіти на південь. Така реакція організму на тривалість світлового дня має назву *фотоперіодизм*.



Популяція — сукупність особин одного виду, що живуть на конкретній території, та є дуже динамічною системою. Ключовим показником будь-якої популяції є її чисельність, яка багато в чому залежить від факторів середовища й обов'язково змінюється залежно від сезону й по роках. В останньому випадку прийнято говорити про **хвилі життя**.

Життя будь-якого організму складається з **біологічних ритмів** — повторюваних змін характеру життєдіяльності організму. Розрізняють два головні типи ритмів: **добові ритми**, що обумовлені фізіологічною активністю організмів, та **адаптивні ритми**, що пов'язані з необхідністю пристосування до циклічних змін у навколишньому середовищі.



1. Що таке популяція? 2. Що визначає структуру популяції? 3. Що таке хвилі життя? 4. Чим принципово відрізняються добові ритми від адаптивних ритмів?



• Згідно з теорією відносності Ейнштейна, час на Землі й у космосі протікає неоднаково. Тому в багатьох фантастичних романах можна прочитати, що космонавти, які повернулися на Землю після мандрівок, залишилися молодими, тоді як їхні однолітки на Землі постарили. Чи є в цих міркуваннях біологічний сенс?

§ 53. Екологічна система

Терміни й поняття: екосистема, продуценти, консументи, редуценти, біоценоз, біотоп, біогеоценоз, біом, біота, біосфера, екологічна ніша, принцип конкурентного витіснення.

Екологічна система та її складники. Кожний, хто хоча б трохи цікавився життям природи, чітко уявляє, що життєдіяльність організмів обумовлена не лише різними абіотичними факторами (температурою, солоністю, киснем, магнітним полем Землі, світлом, ґрунтом, вологістю), а й біотичними, тобто взаємодією різних видів живих організмів. У результаті між популяціями різних видів організмів, що живуть у певних кліматичних, фізичних і хімічних умовах, виникають закономірні зв'язки, які мають чітку структуру. Ці зв'язки організмів один з одним і з абіотичними компонентами середовища проживання формують *екологічну систему* (екосистему).

До складу будь-якої екосистеми входять такі компоненти:

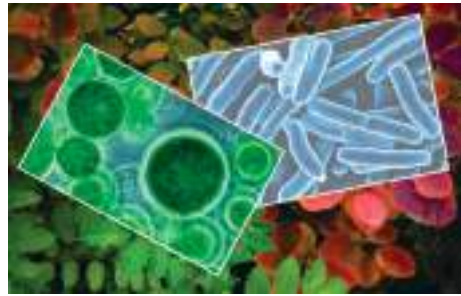
- **кліматичний режим, хімічні й фізичні фактори середовища;**

- **неорганічні речовини** (макроелементи й мікроелементи) та деякі **органічні речовини**, що формують *гумус* (від лат. *гумус* — перегній, земля, ґрунт) ґрунту;

- **продуценти** (від лат. *продуценс* — той, що створює) — виробники органічної речовини (автотрофні організми, головним чином зелені рослини, здатні до фотосинтезу) (іл. 53.1);

- **консументи** (від лат. *консуменс* — той, що споживає) — споживачі органічної речовини (тварини, паразитичні гриби й бактерії, що споживають створену рослинами органічну речовину);

- **редуценти** (від лат. *редуцетис* — той, що відновлює) (іл. 53.2) — бактерії та гриби, які руйнують мертві тіла або відпрацьовану органічну речовину до стану простих неорганічних сполук (води, вуглекислого газу, оксидів тощо), які здатні засвоювати рослини.



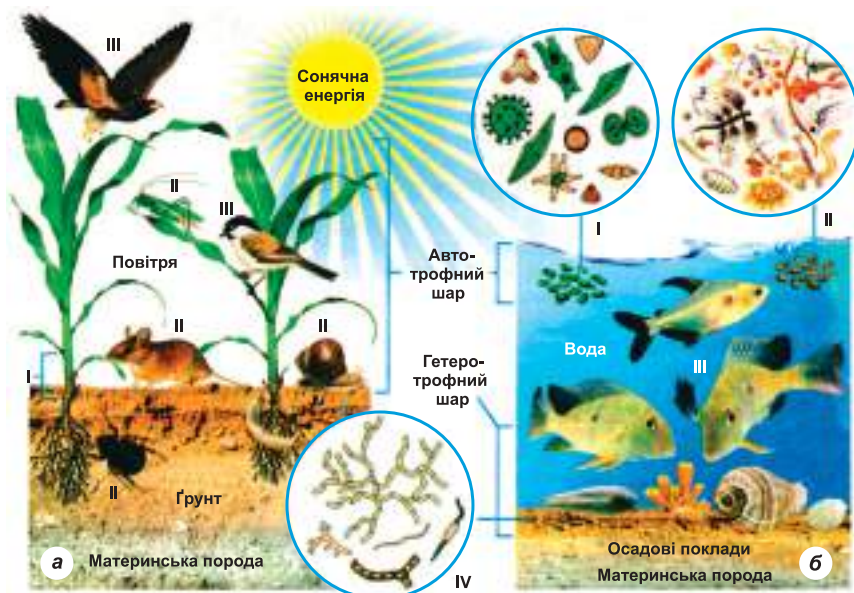
Іл. 53.1. *Продуценти: рослини, фотосинтезуючі та хемосинтезуючі бактерії*



Іл. 53.2. *Редуценти: організми, що розкладають мертву органічну речовину (бактерії, гриби, комахи-трупоїди, дощові черв'яки)*

Отже, будь-який доволі великий за розмірами природний об'єкт: ліс, озеро, ставок, луг, сад, поле й навіть міський двір — це екосистема, яка складається з абіотичної та біотичної частин. Біотична частина містить автотрофний і гетеротрофний компоненти. Важливою властивістю екосистем є їх здатність до самоорганізації, саморегуляції й саморозвитку.

Біогеоценоз як елементарна екосистема. Угрупування популяцій різних видів тварин і рослин тварин, що склалося історично та прив'язане до однієї доволі однорідної за абіотичними факторам ділянки суходолу або водойми — *біотопу* (від грец. *біос* — життя й *тоπος* — місце), формують *біоценоз* (від грец. *біос* й *коїнос* — спільний, загальний), у якому між видами складаються певні відношення. Разом біотоп і біоценоз утворюють *біогеоценоз* (від грец. *біос*, *геос* — земля й *коїнос*). Це може бути, наприклад, увесь ліс або дубовий гай у сосновому борі; озеро в цілому або окремі його частини: прибережні зарості очерету, мілководдя з водною рослинністю тощо (іл. 53.3).



Іл. 53.3 Принципова структура біогеоценозу

I — продуценти (рослини); *II* — консументи 1-го порядку (тварини, що живляться рослинами); *III* — консументи другого порядку (тварини, що живляться консументами першого порядку); *IV* — редуценти (ті, що розкладають мертві організми на прості неорганічні сполуки)

Важливою особливістю біоценозу є його здатність до саморегуляції. Ця властивість автоматично встановлювати й підтримувати на постійному рівні біологічні показники є характерною не лише для екологічних, а й для будь-яких інших біологічних систем. На рівні біоценозу воно проявляється в тому, що, незважаючи на те, що середовище постійно змінюється, а популяції видів, що його складають, підкоряються хвилям життя, основні показники екосистеми (фізичні розміри, число видів, що до нього входять, продукція органічної речовини) рік у рік залишатимуться доволі стабільними.

Біогеоценози складають більші за розмірами екосистеми — *біоми* (від грец. *біос* — життя і лат. *-омат-, -ома* — закінчення, що позначає сукупність), до яких входять усі пов'язані одна з одною екосистеми однієї природно-кліматичної зони. Наземні біоми класифікують за головним типом рослинності (наприклад, біом широколистяного лісу, тундри, вологого тропічного лісу). У межах території України виділяють чотири типи біомів: широколистяних лісів, степу, гірських лісів (Карпати) і середземноморської рослинності (південний берег Криму).

Біоми у свою чергу формують *біосферу* (від грец. *біос* і *сфера* — сфера, куля), яка є екосистемою найвищого рівня.

Екологічна ніша. Популяція кожного виду, що входить до складу біоценозу, має *екологічну нішу* — місце, яке займає вид у трофічних взаємовідносинах, що склалися між видами в екосистемі (іл. 53.4).



Іл. 53.4. Екологічні ніші різних видів синиць, що визначаються переважним місцем їх живлення: синиця велика — повсюди; гаїчка болотяна — кущі; синиця чорна — хвойні дерева; синиця голуба — крони широколистяних дерев; гаїчка буроголова — береза

Якщо це автотрофний вид, то його місце визначається тим, яким чином він одержує енергію від Сонця або шляхом хемосинтезу та для яких організмів він слугує їжею. Якщо це гетеротроф, то його положення в екосистемі обумовлене його живленням і тим, для кого він сам є джерелом речовин та енергії.

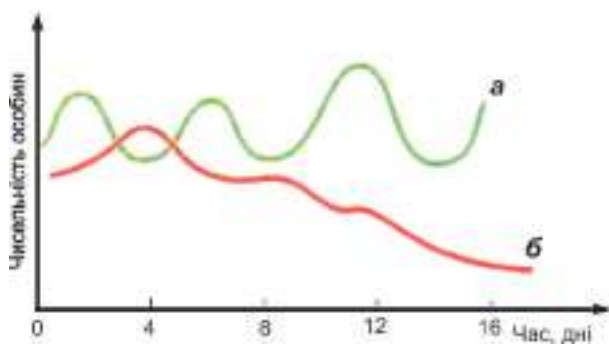
Багато вчених трактують екологічну нішу як якийсь фізичний простір, який займає популяція, з його абіотичними й біотичними умовами. Інші дослідники вважають, що це швидше функціональне поняття, яке відображає комплекс зв'язків виду в біоценозі та його пристосування до умов середовища. Наприклад, для

екологічної ніші квіткової рослини характерні такі фактори: кількість опадів, сонячного світла й мінеральних речовин у ґрунті, необхідних для нормального життя. Нішу тварини-хижака формують різні абіотичні, насамперед, кліматичні фактори: наявність жертв, а також паразити й інфекційні захворювання, характерні для місцевості, у якій він живе.

Екологічну нішу не потрібно сприймати як щось застигле й неперушне. Навіть її розміри у межах одного біоценозу, залежно від стану популяції, сезону й року, постійно змінюються. Якщо вид не має конкурентів, то він займає нішу повністю, якщо конкуренти є — він змушений її ділити з ними.

Принцип конкурентного витіснення. Правила взаємовідносин видів, що займають ту саму екологічну нішу, трактує принцип конкурентного витіснення, яке можна сформулювати так. Два види, які конкурують за той самий набір ресурсів за умови стабільності факторів середовища, не можуть існувати разом нескінченно довго. У результаті один вид завжди здобуде перевагу над другим і рано чи пізно витіснить його з даного біоценозу, якщо лише більш слабкий вид не зробить перехід в іншу екологічну нішу.

Цей закон сформулював еколог і мікробіолог Г. Ф. Гаузе (1910–1986). Спостерігаючи в лабораторних умовах за співіснуванням популяцій двох видів інфузорій, він установив, що в стабільних умовах колонії цих видів, кожний у своїй пробірці, прекрасно ростуть і розвиваються.



Іл. 53.5 Хід експерименту, що доводить принцип конкурентного витіснення (а — успішний вид, б — пригнічений вид)

У природі не існує стабільного середовища — навіть у межах одного біогеоценозу завжди можна знайти ділянки з різними комбінаціями екологічних факторів.

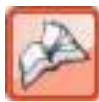
З'ясувалося, що в будь-якій екосистемі потенційних ніш є значно більше, ніж насправді в ній живе видів, а деякі вчені вважають, що число ніш у будь-якому біоценозі може наближатися до нескінченності. У результаті кожний вид, якому підходять умови існування даної екосистеми, знайде в ній свою екологічну нішу.

Тим більше, що кожний вид є екологічно унікальним, у нього не лише свої особливі вимоги до абіотичних факторів середовища, а й він має свої ритми життя, особливості живлення й розмноження. Наприклад, близькі види циклопів й дафній, які зовні майже не відрізняються та живуть в одному шарі води, мають своє положення

в екосистемі. Вони по-різному реагують на світло й температуру і, відповідно, мають неоднакову добову активність та сезонну динаміку розмноження й чисельності.



Популяції різних видів організмів формують угруповання, які разом з абіотичними факторами середовища називають екологічними системами. За своїми розмірами екосистеми бувають декількох рівнів: біогеоценози — елементарні екосистеми; біоми — сукупності екосистем однієї кліматичної зони й біосфера — глобальна екосистема Землі. Місце популяції в екологічній системі називають екологічною нішею.



1. З яких компонентів складається будь-яка екосистема? 2. Чому біогеоценоз можна назвати найпростішою екосистемою? 3. Які типи біомів представлені на території України? 4. Сформулюйте принцип Гаузе. 5. Чому в мінливому середовищі значно менша конкуренція видів, ніж у постійному?



- Чи має людина свою екологічну нішу?

§ 54. Потоки речовини та енергії. Ланцюги живлення й трофічні рівні

Терміни й поняття: трофічний ланцюг, трофічна мережа, консументи першого, другого і третього порядків, первинна і вторинна продукція, біомаса, правило екологічної піраміди.

Ланцюги живлення. Трофічні рівні. Головний процес, який протікає в екосистемах, — *перенесення речовин та енергії*. Цей потік спрямований від продуцентів до консументів, а потім — до редуцентів. У природі перенесення речовин та енергії — це поїдання одними організмами інших. При цьому вибудовується певна послідовність із об'єктів живлення й тих, хто їх поїдає, тому що останні, у свою чергу, стають жертвами хижаків або слугують господарями для паразитів. Усю цю послідовність живих організмів, що складається з ланок, — видів рослин, тварин, грибів і бактерій, пов'язаних один з одним відношеннями «їжа — споживач», називають *трофічним ланцюгом*.

Зазвичай між ланками трофічного ланцюга немає поодиноких зв'язків, тому що той самий вид рослин може бути об'єктом живлення для різних видів тварин, а будь-який вид гризунів, наприклад хом'як, живиться рослинною й тваринною їжею. У даному випадку трофічний ланцюг перетворюється у більш складну структуру — *трофічну мережу*.

Таким чином, навіть найбільш просто влаштований харчовий ланцюг представлений декількома трофічними рівнями. *Перший трофічний рівень* формують зелені ослини (продуценти); *другий рівень* займають тварини, що живляться рослинами (консументи першого порядку); *третій рівень* представляють хижаки, що поїдають рослиноїдних тварин (консументи другого порядку), *четвертий і п'ятий трофічні рівні* (консументи третього та четвертого порядків), які трапляються не так уже й часто — це хижаки, жертвами яким стають дрібніші хижаки.

Типи трофічних ланцюгів. Трофічні ланцюги ділять на два типи: *ланцюги виїдання* (форзац 2) й *ланцюги розкладання*. Типовий трофічний ланцюг виїдання можна легко проілюструвати на прикладі пасовища лугового типу, основу якого

становлять автотрофні організми — трав'янисті рослини та їх насіння, якими живляться рослиноїдні та насіноїдні тварини (комахи, птахи, гризуни, копитні). Вони, у свою чергу, служать об'єктами живлення для сов, яструбів, тхорів, лисиць, вовків. Цікаво, але багато хижаків і самі стають об'єктами полювання: вовки часто поїдають лисиць, а пугачі полюють на ласок, горностаїв і дрібних сов.

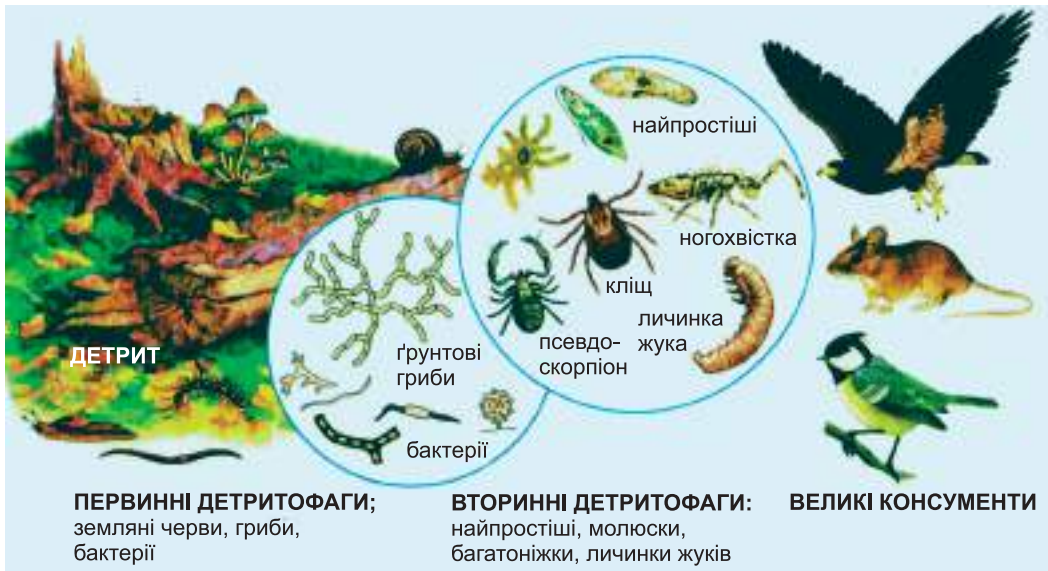
Дуже довгі ланцюги виїдання існують в океанічних екосистемах, у яких завжди є консументи четвертого порядку й навіть можуть траплятися консументи п'ятого порядку. Основу цих ланцюгів також становлять автотрофні організми, але цього разу — одноклітинні водорості, які плавають у товщі води (фітопланктон). Вони є об'єктом живлення для зоопланктону. Ці невеликі рачки, у свою чергу, є чудовою їжею для дрібної риби (хамса й шпроти), а ця риба — вже їжа більших за розмірами хижих риб, наприклад, оселедців. Оселедці — це вже їжа для ще більших хижих риб (акули, тунці), а також дельфінів і тюленів. Але й тюлені — головний об'єкт полювання косаток.

Через те що більша частина рослин, яку не споживають рослиноїдні тварини, просто відмирає, то в ґрунті, у товщі води й на дні водойм утворюється *детрит* (від лат. *detritus* — стертий) — дрібні частинки мінералізованої органічної речовини, що залишилася від померлих організмів. Ці частинки стають їжею для бактерій, які є їжею для багатьох найпростіших (інфузорії, саркодові), й багатоклітинних тварин-детритофагів (кліщі, малощетинкові черви, личинки комарів). Найпростіші й тварини-детритофаги становлять трофічну базу для більш дрібних м'ясоїдних тварин, які, у свою чергу, теж виявляються жертвами хижаків.

Ланцюги розкладання поширені переважно в лісах, але відіграють певну роль й у водних екосистемах, особливо у водоймах з високим умістом органічних речовин (іл. 54.1). Підраховано, що в масштабах Землі завдяки ланцюгам розкладання у кругообіг включаються близько 90 % енергії й речовин, запасених автотрофами, тоді як у колообіг за допомогою ланцюгів виїдання — лише 10 %.

Біологічна продукція. Первинним джерелом речовини та енергії для будь-якої екосистеми є продуценти: на суші — це вищі рослини, а у водному середовищі — нижчі (водорості). Саме на першому трофічному рівні виробляється первинна продукція — органічна речовина, яка утворилася в результаті фотосинтезу. Отже, первинна продукція — це маса синтезованої рослинами органічної речовини. Оцінюють первинну продуктивність як швидкість накопичення органічної речовини рослинами. Одна частина первинної продукції витрачається на обслуговування самих рослин (в основному на дихання), а друга частина органічної речовини, так звана чиста продукція, стає доступною для консументів. Органічні речовини, вироблені на другому та більш високих трофічних рівнях, утворюють вторинну продукцію. По суті, це консументи й редуценти — тварини й сапротрофні мікроорганізми.

Як найкраще оцінити продукцію конкретної екосистеми? Найпростіше — це вимірювати біомасу, тобто визначати сукупну масу всіх живих організмів, що живуть у даній екосистемі. Звичайно, зважити всі організми, що живуть у біогеоценозі, неможливо. Тому оцінити масу всіх організмів, що входять до екосистеми,



Іл. 54.1. Принципова схема ланцюга розкладання

можливо лише непрямим шляхом — за якоюсь її частиною (наприклад, маса всього живого з 1 м² луки, поверхні або дна водойми), а потім отримане значення множать на всю площу. Оскільки клітини на 80 % складаються з води, то для одержання більш точних показників продуктивності використовують значення маси сухої речовини.

Екологічні піраміди. Цілком очевидно, що як рослини не здатні вловити всю сонячну енергію, яка на них падає, так і тварини не можуть засвоїти всю потенційну енергію, яку вони одержують, поїдаючи рослини й одне одного. Значний відсоток цієї енергії розсіюється у вигляді тепла. Крім того, частина органічних речовин, синтезованих клітинами рослин, залишається неперетравленими. Наприклад, травна система більшості тварин не здатна розщепити клітковину на молекули глюкози — для цього в них немає спеціальних ферментів. До того ж значна частина енергії поживних речовин, які організм тварини засвоює, витрачається на дихання та інші процеси життєдіяльності. Підраховано, що лише 10–15 % використовується на побудову нових клітин і тканин. Тому під час переходу від одного трофічного рівня до іншого відбуваються постійні втрати речовини та енергії, а їх потоки стають дедалі біднішими. У результаті навіть для четвертого трофічного рівня вже майже не залишається ані речовини, ані енергії, які були накопичені рослинами на першому рівні. Відповідно до зменшення речовини й енергії на кожному трофічному рівні падає й число особин, що входять до його складу.

У такий спосіб між трофічними рівнями існують певні кількісні закономірності, які вперше встановив та сформулював у положення британський учений Чарлз Сазерленд Елтон (1900–1991): «Число особин, що утворює послідовний ланцюг живлення, неухильно зменшується». Оскільки ця закономірність зазвичай зображується графічно у вигляді піраміди, то її називають *пірамідою Елтона*. Пояс-

нити схему екологічної піраміди нескладно. Нехай один дельфін за рік з'їдає 1 000 оселедців, які, у свою чергу, поїдають 15 тис. шпротів, а для їжі останніх знадобилося 2,5 т зоопланктону, для якого необхідно не менше 30 тис. т фітопланктону. Це співвідношення в продуктивності різних трофічних рівнів екосистеми одержало назву *правило екологічної піраміди*, яке можна сформулювати так: *маса кожної подальшої ланки ланцюга живлення прогресивно зменшується, причому продукція організмів кожного наступного трофічного рівня завжди менша в середньому до 10 разів за продукцію попереднього*.

Розрізняють три типи екологічних пірамід: *піраміда чисел*, що відображає співвідношення між числом особин на кожному трофічному рівні; *піраміда біомаси* — кількість органічної речовини, що синтезована на кожному з рівнів; *піраміда енергії* — величина потоку енергії. Завдяки правилу екологічної піраміди можна оцінити кількість речовини та енергії на кожному із трофічних рівнів, порівняти різні екосистеми між собою. За допомогою цього підходу можна й оцінити максимальні розміри популяцій видів, що входять до конкретної екосистеми. Слід зазначити, що кожний тип екологічної піраміди має свої переваги й недоліки.



Будь-який біоценоз є багаторівневою системою — трофічною мережею, по якій пересуваються потоки речовини та енергії. Перший трофічний рівень утворюють продуценти — зелені рослини, другий — четвертий формують консументи (тварини).

Під час переміщення речовини й енергії по ланцюгах живлення відбувається їх втрата. У результаті кожний наступний рівень характеризується приблизно десятикратними скороченням речовини й енергії. Такою ж мірою зменшується число організмів на кожному з рівнів. Ця закономірність графічно описується у вигляді піраміди, а тому одержала назву «**правило екологічної піраміди**».



1. До якого трофічного рівня відносять рослини, а до яких можна віднести хижих тварин? 2. Які ланцюги харчування: виїдання чи розкладання більш енергоємні? 3. Як можна вимірювати біомасу в екосистемі заплавної луки площею 20 км²? 4. Які причини того, що під час переходу з одного трофічного рівня на інший відбуваються зменшення потоку речовини й енергії? 5. Як формують правило екологічної піраміди?



• Яких видів тварин у біоценозі більше: тих, що живляться рослинною їжею, всеїдних, хижих чи взагалі жодної закономірності не існує?

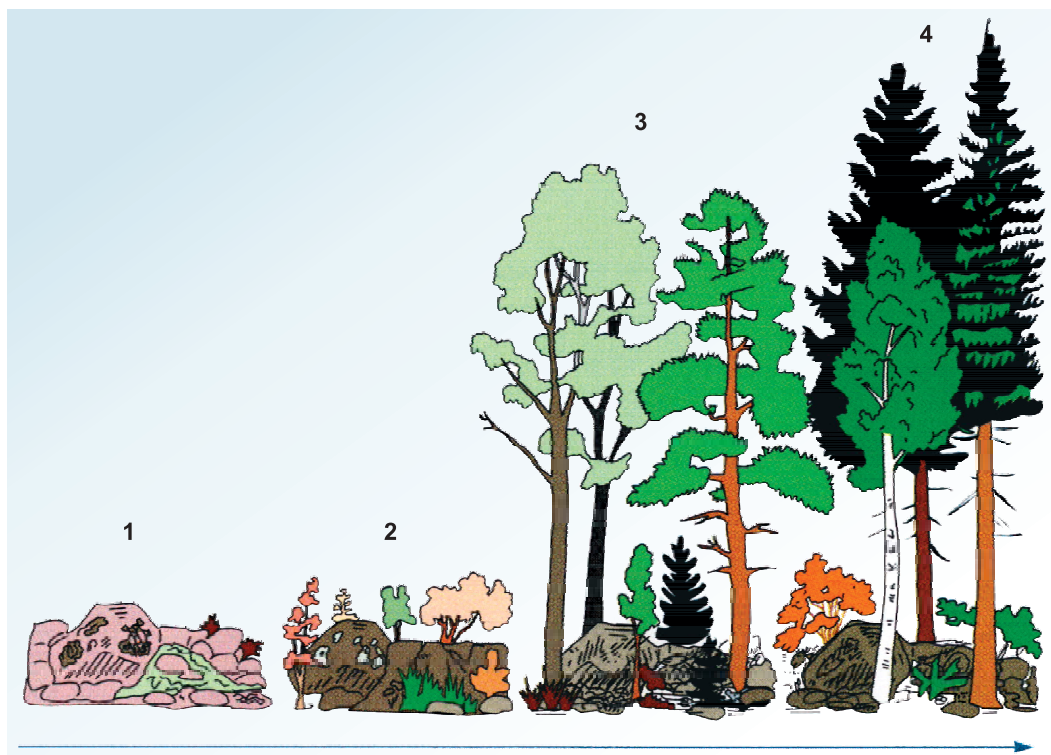
§ 55. Динаміка та продуктивність екосистем

Терміни й поняття: *сукцесії, клімаксні екосистеми, екотони, агроценози.*

Причини змін екосистем. Природну екосистему від просто сукупності організмів відрізняє така її властивість, як стійкість — адже вона зберігає свою структуру й функціональні параметри стабільними протягом багатьох років. Це досягається за рахунок здатності біоценозів до саморегуляції та самовідтворення. Проте за певних умов угруповання організмів починають швидко перетворюватися. Причинами змін екосистем може стати потепління, природні катастрофи (повені, посухи, пожежі) та негативний вплив діяльності людини (вирубання лісів, розорювання лук і степів тощо), що неминуче спричиняє зміни структури біоценозу і порушення його екологічних параметрів.

Екосистеми не є ізольованими. У них активно вселяються нові види. Лише в Європі налічують не менше 10 тис. чужорідних видів рослин, грибів і тварин, більша частина яких завезена людиною. Зазвичай це екологічно агресивні види, здатні швидко створювати численні популяції. Вони активно впливають на видові угруповання, що склалися історично. Наприклад, вселення невеликої рибки ротан з Далекого Сходу призвело до того, що тепер у багатьох водоймах це єдиний вид риб — ненажерлива та всеїдна, вона просто виїла ікру інших риб і навіть амфібій. До того ж ротан легко переносить дефіцит кисню в літню спеку й промерзання водойм узимку. Такі закономірні заміни одних видових угруповань іншими, пов'язані з перетворенням екосистем, називають *сукцесіями* (від лат. *суццессіо* — наступність, спадкування).

Типи сукцесій. Первинні сукцесії виникають у місцях, де життя на певний час повністю зникло, наприклад, на схилах вулканів, якими текла лава (іл. 55.1).



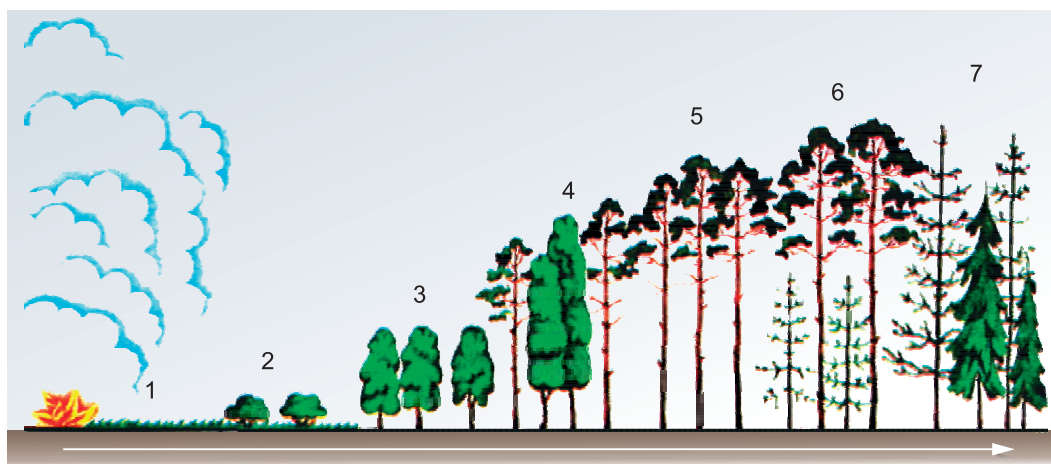
Іл. 55.1. Первинна сукцесія: 1 — заростання голого каміння мохами та лишайниками, 2 — утворення кущів та молодих дерев, 3 — змішаний молодий ліс, 4 — зрілий ліс (праліс)

Першими поселяються на таких ділянках лишайники. Їм для існування не потрібні жодні інші організми, а лише твердий субстрат, до якого вони прикріплюються.

Потім, у міру нанесення вітрами ґрунту, з'являються мохи й трав'янисті рослини. Наступний етап — утворення чагарникових угруповань за участі різних видів верб. У цей період розвитку екосистеми вже з'являються популяції різних

безхребетних, а згодом, коли тут починають формуватися хвойні ліси, сюди проникають і хребетні.

Вторинні сукцесії можуть бути наслідком стихійних лих, змін клімату або руйнівного впливу людини (іл. 55.2).




Іл. 55.2. Етапи вторинної сукцесії після лісової пожежі: 1 — заростання травою, 2 — розростання кущів, 3 — молодий ліс, 4–6 — стадії формування лісу, 7 — зрілий ліс (праліс)

Типовий приклад вторинної сукцесії — це відновлення екосистеми соснового лісу після пожежі. При цьому докорінно змінюються абіотичні умови, насамперед режим освітленості, температури й вологості. Спочатку з насіння, що збереглося у ґрунті, виростають світлолюбні й посухостійкі трав'янисті рослини й згарище заростає однорічними та багаторічними травами. Потім поступово формуються непрохідні малинники, у яких місцями пробиваються молоді берізки. Згодом утворюється березовий гай, під пологом якого відбувається відновлення соснового лісу — починають рости сосни. Через 100–150 років на цьому місці може знову з'явитися справжній сосновий бір за умови, що не станеться нових пожеж або років через п'ятдесят цей ліс не вирубають.

У жодному разі не слід сприймати будь-яку сукцесію як екологічний прогрес. Існують так звані *регресивні сукцесії*, пов'язані зі спрощенням екосистем, зменшенням ярусності, зниженням чисельності й продуктивності організмів. Їх причиною є руйнівні впливи людини на середовище.

Типовим прикладом регресивної сукцесії є сучасна екосистема Азовського моря — колись найпродуктивнішої водойми у світі. Вода в ній була опрісненою й добре прогрівалася; тут водилися морські й прісноводні організми, зокрема морська, прісноводна та прохідна риба. Зарегулювання рік Дону й Кубані призвело до того, що стік прісної води в Азовське море поменшав, воно стало більш солоним, тож умови у цій водоймі стали менш придатними для багатьох цінних видів організмів. Крім того, численні риболовні судна «вичерпали» запаси риби. Нині в Азовському морі майже не залишилося осетрових, чорноморських оселедців, стало мало тюль-



ки, хамси, судака й тарані. Навіть запаси бичків зменшилися в десятки разів. Зник і ряд видів молюсків та ракоподібних. Їх місце зайняли медузи. У результаті Азовське море з найпродуктивнішого стало місцем екологічної катастрофи.

Стабільні екосистеми. Кожна сукцесія завершується періодом стабільності, який називають *клімаксом* (від грец. *клімакс* — вища крапка, кульмінація). У цьому стані біоценози можуть перебувати дуже довго. Популяції, що складають клімаксне угруповання, не схильні ані до різких спалахів чисельності, ані до депресій. Для них характерна постійна продуктивність.

Вважають, що більша частина історично сформованих екосистем, не порушених діяльністю людини або стихійними лихами, відноситься до розряду сталих. Прикладом сталої екосистеми може бути заплава рівнинної річки — лука з численними озерцями. Щоліта тут із занесеного вітром насіння починають проростати численні деревця, чагарники й трав'янисті рослини, які загалом не властиві заплавному фітоценозу. Однак весняні паводки щоразу нищать не пристосовані до тривалого перебування у воді рослини, заповнюють озерця свіжою водою, очищаючи їх дно від мулу. Таким чином відбувається щорічне відновлення заплавної екосистеми, після чого вона повертається в початковий стан. Зарегулювання річки дамбою запобігає щорічним паводкам. У результаті корінна екосистема руйнується: лука заростає чагарниками та деревами, зникають вологолюбні рослини, на їх місці з'являються чужорідні види рослин, схильні до експансій (розширення території зростання) і спалахів чисельності. Озера спочатку заболочуються, а потім висихають, тобто відбуваються сукцесії. Через кілька десятиліть на місці колишньої заплави можна буде спостерігати зарості чагарників або рідколісся.

Типовими клімаксними екосистемами помірних широт є діброви, утворені віковими деревами. Вирубання таких дерев призводить до заповнення місць, на яких вони росли, підростом ліщини, берези, осики й сосни. У результаті світлий ліс з трав'янистою підстилкою перетворюється в густі зарості із зовсім іншим складом рослин і тварин.

Найбільш продуктивні біоценози. Екосистеми відрізняються за своєю продуктивністю. Насамперед це залежить від їх географічного розташування на Земній кулі. Найбільш продуктивними біомом суходолу є вологі тропічні ліси, а у Світовому океані — коралові рифи. Саме в цих екосистемах за одиницю часу найбільше виробляється й транспортується органічної речовини. Такий високий потенціал пояснюють близьким розташуванням до екватора — тут найбільша сонячна радіація та постійно висока температура, отже, біохімічні реакції протікають дуже швидко, а фотосинтез відбувається протягом усього року.

Біоценози можуть відрізнятися своєю продуктивністю й у межах одного біому. Очевидно, що багатоярусні зрілі екосистеми, до складу яких входить значна кількість видів організмів, що займають різноманітні екологічні ніші, будуть більш продуктивними, ніж одноярусні з бідним видовим складом. Однак найбільш продуктивними й багатими на видове різноманіття є угруповання організмів на межах двох біомів (зон широколистяного лісу й степи), ландшафтів (лісу й поля), середовищ проживання (морського й прісноводного). Це пов'язане з тим, що такі місця насе-

лені набагато густіше, ніж екосистеми одного екологічного типу. Тут трапляються як види, притаманні кожному з типів екосистем, так і організми, що живуть лише в таких суміжних місцях. Властивість підвищення видової різноманітності й продуктивності в суміжних просторах часто називають «ефектом узлісся», а такі місця — *екотонами* (від грец. *οικος* — житло, середовище й *τονος* — напруга). Вони мають специфічну структуру й надзвичайно важливі для збереження видового й біологічного різноманіття.

Одним з найбільших екотонів України є Азовське море. Ця водойма насправді є величезним лиманом р. Дон, і не випадково стародавні греки називали це море Мейотийським болотом.

Найбідніші екосистеми. Найбіднішими на Землі є полярні екосистеми, де температура найнижча, сонячна радіація найбільш слабка, а фотосинтез відбувається лише протягом двох-трьох місяців у році. Тут найнижча продуктивність органічної речовини та бідне видове різноманіття.

Різні за продуктивністю екосистеми трапляються в межах однієї природно-кліматичної зони. Найменш продуктивними є *агроценози* (від грец. *αγρος* — поле й *ценоз*) — штучні екосистеми, створені людиною в результаті застосування комплексу агротехнічних засобів обробки ґрунту, мінеральних добрив, різноманітних пестицидів. Зараз території сільськогосподарського призначення становлять 10 % поверхні Землі (іл. 55.3).



Рис. 55.3. Пшеничне поле — типовий агроценоз

Агроценози відрізняються від природних екосистем кількома ключовими обставинами. Сільгоспугіддя дають біологічну продуктивність лише в певні періоди року. Наприклад, поле ярої пшениці продуктивне 3–4 місяці на рік. У цей період тут не лише росте пшениця, а й поселяються комахи, птахи й гризуни. Решта часу — це голий ґрунт під паром, у якому все-таки зберігається життя. Для порівняння: такі самі ділянки степу є продуктивним протягом більшої частини року.

Наступна обставина — монокультури з низьким рівнем біологічного різноманіття. Крім ключової культури, на полях можуть траплятися як випадкові види, так і види, що здатні жити рослинами, які тут вирощують. Причому ці види людина розглядає як шкідників та веде з ними постійну боротьбу.

І найголовніше — агроценози не здатні до самовідновлення й саморегулювання. Їм постійно загрожує загибель у результаті масового розмноження шкідників чи різкого поширення хвороб, а тому вони потребують постійної підтримки людини.



Важливою особливістю будь-якого угруповання організмів є його тяжіння до стабільності й рівноваги з навколишнім середовищем. Проте постійні зміни середовища проживання, викликані змінами клімату, стихійними лихами та діяльністю людини, постійно спричиняють sukcesії — закономірні зміни біоценозів.

Екосистеми відрізняються своєю продуктивністю. **Найбільш продуктивними є тропічні екосистеми**, а також суміжні угруповання організмів в екотонах — перехідних зонах між різними екосистемами, ландшафтами або середовищами проживання, а **найменш продуктивними є агроценози** — землі сільськогосподарського призначення.



1. Чому один біоценоз може змінюватися на інший?
2. Чим вторинна sukcesія відрізняється від первинної?
3. Що є завершальною стадією будь-якої sukcesії?
4. У яких місцях Земної кулі розташовані найбільш продуктивні екосистеми?
5. Чому в екотонах утворюються найбільш продуктивні угруповання організмів?
6. Які властивості відрізняють агроценоз від природних екосистем?



- Чому ліси є більш продуктивними екосистемами, ніж степи?
- Чи можна вважати сучасну р. Дніпро усталеною екосистемою?

§ 56. Біосфера та біогеохімічні цикли

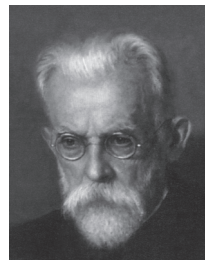
Терміни й поняття: *біосфера, жива речовина, кругообіг речовин.*

Біосфера — це жива оболонка Землі, сфера, населена живими організмами; її ще називають екосистемою вищого порядку. У своєму сучасному вигляді вона сформувалася за мільярди років у процесі еволюції. Саме в біосфері проявляється діяльність живих організмів і людства. Біосфера займає всю поверхню Земної кулі. До неї входить верхня частина *літосфери* (від грец. *літос* — камінь і сфера), уся *гідросфера* й нижня частина атмосфери — *тропосфера* (від грец. *тропе* — зміна). Межі біосфери визначають умови, придатні для життя. Верхня межа життя в атмосфері обмежена інтенсивною концентрацією ультрафіолетових променів; нижня, у літосфері — високою температурою (понад 100 °С). У крайніх межах атмосфери трапляються лише найбільш прості організми — бактерії. Спеціальні дослідження показали, що спори бактерій і деяких грибів заносяться на висоту 20 км, анаеробні бактерії разом з водою родовищ нафти знаходять на глибині понад 3 км.

Жива речовина. Найбільша концентрація живої маси в біосфері трапляється в зонах зіткнення різних геологічних шарів: літосфери й атмосфери, гідросфери й атмосфери, гідросфери й літосфери. Причому на поверхні суходолу й океану створюються найбільш сприятливі для життя умови: оптимальна температура, висока вологість, насиченість Оксигеном та іншими хімічними елементами.

Невипадково саме тут спостерігають найбільшу концентрацію *живої речовини*. Так називають усю сукупність тіл живих організмів, що містяться в біосфері. Масу живої речовини оцінюють десятками трильйонів тонн, що порівняно з масою земної кори становить не більше однієї мільйонної частки.

Незважаючи на свій скромний внесок у загальну масу Землі, жива речовина, за словами В. І. Вернадського, є однією «із найбільш могутніх геохі-



Володимир
Вернадський
(1863–1945)

мічних сил нашої планети», тому що багато змін земної кори обумовлені саме діяльністю цієї речовини. Вона має величезну вільну енергію, яку в кількісному відношенні можна порівняти з потоками гарячої лави, яка стікає по схилах вулканів.

Основу живої речовини становлять особливі органічні сполуки, серед яких — білки, ферменти й нуклеїнові кислоти.

Розподіл живої речовини по земній поверхні. Жива речовина розподілена в межах біосфери дуже нерівномірно, її маса від полюсів до екватора збільшується, збільшується й число біологічних видів.

У тундрі, де в основному ростуть мохи й лишайники, рослин не більше 500 видів, у хвойних, широколистяних лісах і степу їх число доходить до 2 тис., у субтропіках — їх уже більше 3 тис. Найбільша біомаса й різноманітність рослин у вологих тропічних лісах (іл. 56.1). Тут число видів сягає 8 тис. Очевидно, що й число видів і біомаса тварин, що живляться рослинами та одне одним, теж буде збільшуватися від полюсів до екватора пропорційно до маси й числа видів рослин.



Іл. 56.1. Вологі тропічні ліси — найбільш продуктивні екосистеми

ється виділенням та поглинанням енергії. Так само і в біосфері речовини й хімічні сполуки перетворюються одна на іншу: процеси синтезу чергуються з розпадом, причому цей процес відбувається у формі замкнених циклів і супроводжується перетвореннями енергії. Ці колообіги речовин або окремих атомів є основою біосфери і мають назву *біогеохімічні* (від грец. *біос* — життя, *геос* — Земля і хімія) цикли.

Принципова схема кругообігу речовини має такий вигляд (іл. 56.2). Зелені рослини, поглинаючи світлову енергію Сонця, з неорганічних речовин (вода, вуглекислий газ, мінеральні солі) синтезують органічні речовини — первинну продукцію, що слугує їжею для тварин, грибів, бактерій. Тварини перетворюють первинну продукцію на вторинну. Далі *санпротрофні* (від грец. *санпрос* — гнилий і *трофос* — їжа) бактерії, тварини й гриби, що живляться органічною речовиною померлих істот, руйнують первинну рослинну й вторинну тваринну продукцію знову до простих неорганічних сполук, коло замикається.

Так само розподілена жива речовина й у Світовому океані. Близьче до екватора на незначних глибинах, особливо на коралових рифах, спостерігають найвищу продуктивність і тут же зосереджена найвища різноманітність морських організмів.

Біогеохімічні цикли. Як відомо, у клітинах організму відбувається обмін речовин: одні хімічні сполуки розпадаються, інші, навпаки, утворюються, і все це супроводжу-

Кругообіг води. Вода — це наймасовіша і водночас одна із найбільш динамічних сполук, адже вона перебуває у постійному русі — переходить з одного фізичного стану в інший. Її кругообіг надзвичайно важливий для живого (іл. 1.9).

Вода, випаровуючись із поверхні Світового океану, прісноводних водойм, ґрунту й рослин, спочатку накопичується в атмосфері, а потім випадає у вигляді опадів.

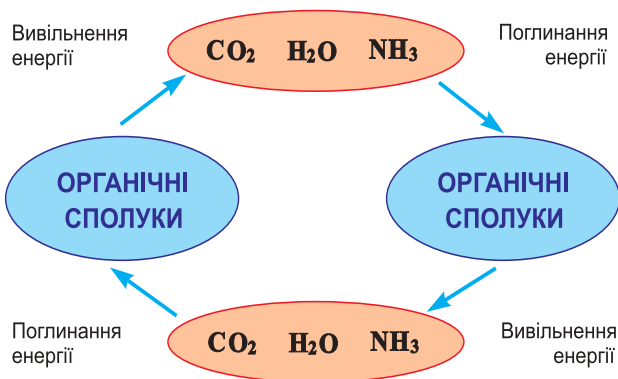
Власне це і є найпростіша схема кругообігу води. У результаті кількість води на Землі залишається постійною, а змінюються її властивості (із солоної вона стає прісною) і фізичний стан, який може бути газоподібним, рідким і твердим. У Світовий океан випадає 80 % опадів. Однак цінність для живого насамперед мають 20 % води, що припадають на суходіл, адже саме прісна вода підтримує основну масу живої речовини на планеті. Частина води, що випала на суходолі, збираючись струмочками, річечками й ріками, згодом потрапляє у Світовий океан. Водночас інша частина поповнює запаси ґрунтових вод. Із ґрунту воду беруть рослини, а потім випаровують її завдяки процесам транспірації.

Біогенна міграція атомів хімічних елементів — ще одна особливість хімічних процесів, що відбуваються в біосфері. Разом з колообігом речовини відбувається міграція хімічних елементів у біосфері, їх переміщення від одного виду організмів до іншого. Завдяки цьому механізму в біосфері підтримується постійна кількість хімічних елементів і найпростіших хімічних сполук — вони нікуди не зникають і нізвідки не беруться. У кругообігу речовин у біосфері беруть участь ті самі хімічні елементи, що входять до складу живих організмів.

Розглянемо міграцію атомів у біосфері на прикладі двох хімічних елементів, які масово трапляються в живих організмах: Оксигену й Карбону.

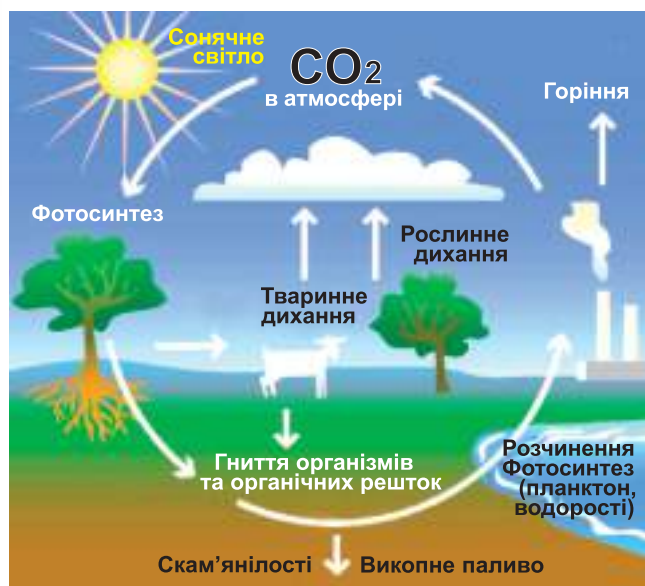
Вільний Оксиген земної атмосфери є продуктом процесу фотосинтезу зелених рослин, і його загальна кількість в атмосфері відображає баланс між продукуванням Оксигену рослинами й різноманітними процесами окиснення, у тому числі й диханням живих організмів.

Кисень — найбільш активний серед газів, які постійно містяться в атмосфері, тому обмін Оксигену середовища проживання з клітинами організмів відбувається дуже швидко. Вважають, що зараз настав такий час, коли вільний Оксиген в атмосфері є збалансованим, тобто кількість Оксигену, що виділяють рослини дорівнює кількості Оксигену, що поглинається під час окиснення.



Іл. 56.2. Принципова схема кругообігу речовини та енергії у біосфері

Найбільш рухливою формою Карбону в біосфері є вуглекислий газ (CO_2). Його постійним джерелом слугує окиснення органічних сполук у результаті пожеж, спалювання палива й головне — дихання живих організмів.



Іл. 56.3. Кругообіг Карбону в біосфері

Цей процес відбувався сотні мільйонів років тому, коли значна частина детриту не використовувалася ні консументами, ні редуцентами, а накопичувалася під різними мінеральними осадами. Перебуваючи мільйони років глибоко під землею, детрит під впливом високих температур і тиску перетворився на нафту, природний газ і вугілля (у який саме вид палива — залежало від низки обставин).

Біосфера й перетворення енергії. Біосфера — це відкрита система, у яку ззовні постійно вливається потік сонячної енергії, частина якої витрачається на створення й підтримку живої речовини, а частина — втрачається. Це співвідношення енергії, що надійшла, і тієї, що була втрачена, називають *енергетичним балансом Землі*. Розрахунки показують, що 42 % енергії Сонця відбивається Землею в космічний простір, а 58 % поглинається атмосферою й ґрунтом. Із цієї кількості Землею випромінюється більше 20 %, а 10 % витрачається на випаровування води з поверхні Світового океану.

Сонячна енергія, що потрапляє на Землю, акумулюється (від лат. *аккумуляціо* — нагромадження) зеленими рослинами у вигляді потенційної енергії хімічних зв'язків і надходить із синтезованою ними органічною речовиною в інші організми, де вона витрачається, переходячи в кінетичну, або накопичується у вигляді потенційної. Колосальна потужність сонячної енергії, що потрапляє на Землю, можна уявити на основі таких цифр. Рослини Земної кулі утворюють за рік близько 100 млрд т органічних речовин. При цьому вони поглинають близько $1,7 \cdot 10^8$ т вуглекислого газу, виділяють близько $11,5 \cdot 10^7$ т кисню й випаровують $1,6 \cdot 10^{13}$ т води.



Біосфера — жива оболонка Землі; вона є глобальною екологічною системою, частини якої так само залежать одна від одної, як компоненти одного біогеоценозу. **Ключовим поняттям у вченні про біосферу є поняття живої речовини** — сукупності усіх організмів, що живуть на планеті Земля.

Основу біосфери формують циклічні потоки речовини, що пов'язані із біогенними міграціями хімічних елементів і перетвореннями енергії.



1. Який науковий зміст вкладають у поняття біосфера? **2.** Де проходять межі біосфери та в яких місцях біосфери концентрується найбільша маса живої речовини? **3.** Опишіть колообіг води в природі. **4.** Що таке біогенна міграція атомів? **5.** Яким чином у Землі виявилось так багато запасів викопного палива?



- Чи відбуваються зміни в біосфері в наш час? Якщо так, то яким чином?

§ 57. Біосфера, її сучасний стан і збереження

Терміни й поняття: природні ресурси, парниковий ефект, ерозія ґрунту, біологічна різноманітність, реакліматизація, охорона природи.

Діяльність людини та зміни біосфери. За еволюційними мірками сучасна людина сформувалася зовсім недавно, не більш ніж 50 тис. років тому. Проте лише виду людина розумна та ще й за такий проміжок часу вдалося одержати таку владу над процесами, що відбуваються на Землі. У наш час діяльність людини стала силою планетарного масштабу, одним з вирішальних факторів змін, що відбуваються в біосфері. Людина так зуміла змінити середовище свого проживання й життя на планеті в цілому, що поставила під загрозу своє існування та існування біосфери в її нинішньому вигляді. Особливо негативні зміни відбулися за останні 100 років — у період науково-технічної революції. Це вже призвело до певних змін клімату, забруднення середовища проживання. Ще тисячі видів перебувають на межі вимирання.

Обмеженість природних ресурсів і потреби людини, які постійно зростають. Як і будь-який біологічний вид, людина не може жити без постійного поповнення речовиною й енергії, а також джерел, які постачають виробництво необхідними матеріалами. Цими основами людського існування є природні ресурси.

Дуже важливими для людини є абіотичні ресурси: випромінювання Сонця, що зігріває Землю і надає світлову енергію, необхідну для фотосинтезу; прісна вода; повітря; ґрунт; корисні копалини. З кожним роком люди використовують усе більше ресурсів та освоюють усе більшу частину планети. Сучасні технології відкривають нові сфери застосування металів та інших матеріалів.

Слід урахувати, що одні ресурси відносять до розряду оновлюваних, наприклад, сонячна радіація, енергія вітру й морських хвиль. Інші можна вичерпати лише теоретично (Оксиген атмосфери, прісна вода). Ще одна категорія ресурсів — газ, нафту, вугілля, металеві руди відносять до таких, що неодмінно будуть вичерпані.

Ресурси тваринного й рослинного світу називають біотичними. Це харчові ресурси людства, які вважають оновлюваними. Слід чітко знати, скільки ресурсів можна використати, щоб усе це потім повністю відновилося. Крім того, необхідно

контролювати, щоб не було не дозволеного законом видобутку корисних копалин, рибальства й полювання. І найголовніше, будь-яке вилучення — це руйнування природного середовища існування, а тому відновлення популяцій тварин і рослин після інтенсивного промислу, вирубки лісу, оранки, зарегулювання ріки тощо може виявитися процесом занадто тривалим.

Найбільш негативні впливи людини на біосферу.

Забруднення повітря. Основною причиною забруднення атмосфери є згорання палива та викиди важкої промисловості. У XIX ст. усі продукти згорання вугілля, що поступали в навколишнє середовище, повністю засвоювалися рослинністю. Зараз рослини всієї Землі із цим завданням не можуть впоратися, адже з кожним роком через вирубку лісів маса продуцентів зменшується, а промисловість зростає. Підраховано, що близько половини карбон(IV) оксиду, що утворюється під час згорання палива, залишається в атмосфері. Це заважає тепловому випромінюванню Землі і призводить до парникового ефекту — зростання середньої температури повітря на поверхні планети, що, у свою чергу, уже спричиняє танення льодовиків і сухість клімату.

Забруднення прісної води. Найбільше прісної води витрачають на зрошення, значну кількість використовує промисловість, а найменша її частина витрачається безпосередньо на задоволення фізіологічних потреб населення. З кожним роком необхідність у прісній воді зростає, до того ж вона стає все бруднішою. Це викликано тим, що в ріки скидають відходи виробництва, а з полів змиваються пестициди й мінеральні добрива. Оскільки зараз у цивілізованих країнах більшість річок зарегульовані греблями, то відходи й нечистоти, що потрапили у воду, накопичуються. Це призводить не лише до отруєння моллюсків, раків, риб, а й до бурхливого росту різноманітних бактерій, зокрема ціанобактерій, які згодом масово гинуть, отруюючи воду. Це робить її непридатною не лише для пиття, а й для проживання водних істот. Проблема прісної води актуальна також для України — це є один з найдефіцитніших природних ресурсів нашої країни.

Проблеми Світового океану. З річковим стоком, викидами морського транспорту й, особливо, через аварії танкерів, у море потрапляє величезна кількість нафтопродуктів, солей важких металів, пестицидів тощо. Забруднення багатьох морів досягло загрозливих для їхньої біоти масштабів, зокрема багато в чому критичною є ситуація в Північно-Західній частині Чорного й Азовському морів.

Деградація ґрунту. Родючий шар ґрунту формується сторіччями, тоді як зруйнувати його можна за декілька років. Причиною деградації ґрунтів є насамперед їх виснаження. Щороку у світі разом з урожаєм з ґрунту вилучаються десятки мільйонів тонн поживних речовин. Підраховано, якщо ґрунт не поповнювати сполуками Нітрогену, то запас родючості може бути вичерпаний вже за 50–100 років. Тому в землеробстві застосовують обов'язкове внесення в ґрунт органічних і мінеральних добрив. Але навіть за правильного дотримання агротехніки, лише 40–50 % внесених у ґрунт азотних добрив використовуються рослинами. Інша частина вивітрюється в атмосферу або вимивається із ґрунту, що призводить до забруднення водойм.

Ще одним фактором деградації ґрунтів є *ерозія* (від лат. *erosio* — роз’їдан-ня) — руйнування й знесення ґрунтового покриву потоками води або вітром. Разом з талими й дощовими водами з полів щорічно змиваються в ріки та моря мільйони тонн ґрунту. Якщо розмиву ніщо не перешкоджає, дрібні вимоїни перетворюються в рівчаки, а ті — в яри (іл. 57.1).

Зменшення біологічного різноманіття та його загрози. Біологічне різноманіття — це вся сукупність видів організмів, що живуть на якійсь певній частині території або в цілому на планеті. Виробнича діяльність людини й безпосереднє винищення багатьох видів тварин, які стали об’єктами полювання чи рибальства, призводять до зниження чисельності популяцій і вимиранню видів тварин і рослин.

Це загрожує негативними наслідками для біосфери. Кожний вид організмів займає певну екологічну нішу, має своє місце в екосистемі; його зникнення призводить до спрощення трофічної мережі, зменшує стабільність біоценозів.

За останні два століття на Землі зникло кілька сотень видів тварин, насамперед ссавців (більше 100 видів), а також птахів і рептилій. Під реальною загрозою існування — ще дві тисячі. Зараз стало цілком очевидним — в умовах, що склалися, чисельність багатьох цінних промислових видів ніколи не відновлять. За даними Всесвітнього фонду дикої природи з 1970 р. чисельність популяцій тварин зменшилась на 60 %, а тих, що живуть у прісній воді річок та озер, — на 82 %.

Доволі складна ситуація склалася в Україні. З кожним десятиріччям кількість видів тварин і рослин, яким загрожує зникнення, стає все більше. Якщо ще 70 років тому Азовське та Чорне моря вважали одними з найбагатших рибних регіонів світу, то зараз це зони кризового екологічного стану. На початку XXI ст. в басейні Дніпра риби стали виловлювати втричі менше, ніж її добували до зарегулювання й створення системи водоймищ. Найбільш дивним є те, що однією із причин створення шести рукотворних морів і було підвищення рибопродуктивності Дніпра.

Охорона природи. Це комплекс послідовно здійснюваних заходів, що включає пошук нових наукових рішень і розширення екологічних знань, метою яких є збереження стану живої природи. Для цього на державному рівні приймають закони, які повинні неухильно виконувати уряд, адміністративні органи та органи місцевого самоврядування. В Україні прийнята значна кількість законів у галузі охорони природи — «Закон про тваринний світ», «Кодекс законів про ліс», «Закон про полювання», «Закон про Червону книгу України» тощо.



Іл. 57.1. Ґрунтова ерозія

Збереженню тваринного й рослинного світу сприяє організація системи заповідників і заказників, які повинні утворювати екологічну мережу по всій території країни. Крім того, що заповідники опікують у незайманому вигляді популяції й угруповання організмів, вони служать базою для одомашнювання диких тварин, що мають цінні господарські властивості. В Україні саме до цієї категорії відносять біосферний заповідник «Асканія-Нова». Крім того, вони можуть слугувати центрами по розселенню тварин, що зникли в певній місцевості, або для збагачення фауни. Багато в чому завдяки природоохоронним заходам і реакліматизації (поверненню виду в місця, де він раніш існував), вдалося відновити популяції бобра європейського й оленя благородного, які до середини ХХ ст. в Україні практично зникли.

Насамперед потрібно негайно перейти до раціонального використання природних ресурсів, екологічно обґрунтованого використання надр, водних ресурсів, рослинного й тваринного світу. Необхідно зробити низку невідкладних кроків для збереження чистоти повітря й води, а для цього потрібно навчитися забезпечувати енергетичні потреби людства з оновлюваних джерел, не руйнуючи середовище існування. Таким джерелами може бути енергія вітрів, використання біологічного палива й штучний фотосинтез. Потрібно намагатися створити таке виробництво, у якому була б мінімальна кількість відходів, оскільки відходи у будь-якій їхній формі неминуче будуть забруднювати навколишнє середовище.



У наш час діяльність людини стала потужним екологічним фактором, що має рівень біосферного впливу. Викликані нею зміни за короткий період часу призвели до змін біосфери планетарного масштабу, наслідки яких через певний період неодмінно матимуть катастрофічний характер і призведуть до масового вимирання представників фауни й флори, руйнування сучасної цивілізації та поставлять під сумнів можливість виживання людини як біологічного виду.



1. Чому для людини такою важливою є питання обмеженості природних ресурсів? **2.** Які ресурси відновлюються, а які — ні? **3.** Які існують особливо «гарячі» точки взаємин людини й природи. **4.** Що таке охорона природи? **5.** Які екологічні закони прийняті в Україні? **6.** Що таке біологічне різноманіття та для чого потрібно його охороняти?



- Що потрібно зробити для того, щоб виробництво було безвідходним?

Проект 2

Тема. Виявлення рівня антропогенного впливу в екосистемах своєї місцевості.

Інструктивна картка. Антропогенне навантаження на екологічні системи призводить до негативних їх змін. Насамперед ідеться про зменшення видового різноманіття, адже багато організмів змін взагалі не витримують, хоча в більшості випадків відбувається різке зменшення чисельності популяцій. Зазвичай в екології ступінь антропогенного впливу на екосистему визначають за наявністю в них вразливих видів (види-індикатори). Якщо в певній місцевості такі види ще можна знайти, то доходять висновку, що дане середовище не таке вже й погане

Проект А. Установлення ступеня антропогенного впливу на екосистеми міського парку, садиби або околиці села. Добре відомо, що одними з найбільш цінних видів-індикаторів є лишайники, які зовсім не витримують забрудненого повітря. Тому, якщо в парку, садибі чи на околицях села на деревах чи камінні ростуть лишайники — це хороша ознака. Якщо лишай-

ників багато, вони різноманітні за розмірами, формою і забарвленням, то ви знайшли просто чудове екологічно чисте місце.

Проект Б. Установлення рівня антропогенного навантаження у водоймі чи річці. Чудовими видами-індикаторами водойм слугують різноманітні молюски: черевоногі, такі як катушка рогоподібна чи ставковик великий, що живуть у заростях водної рослинності, або двостулкові: беззубки, перлівниці, що живуть на дні. Якщо в досліджуваній водоймі молюсків узагалі немає, то антропогенний вплив на екосистему цієї водойми доволі значний. Якщо вдалося знайти хоча б два види, то все не так погано. Якщо молюсків більше, ніж п'ять, то, зважаючи на сучасні екологічні умови, ви натрапили на річку чи озеро з доволі чистою водою.

Оформлення результатів дослідження. Зробіть таблицю для кожної водойми, парку чи певної ділянки лісу за поданою схемою. Дайте якісну характеристику дослідженій екосистемі за кількістю знайдених видів (типів колоній), та кількісну характеристику — за кількістю знайдених особин молюсків або колоній лишайників.

Вид молюска або тип лишайника		Кількість особин молюсків у водоймі або лишайників на різних ділянках лісу			
№ виду	Опис виду	Перша ділянка	Друга ділянка	Третя ділянка	...
1					
2					
3					
4					
...					
Загальна кількість видів та особин					

Тестові завдання до теми 8

8.1. Група екологічних факторів, до якої відносять діяльність людини

- А** людські **Б** біотичні **В** абіотичні **Г** антропогенні

8.2. Фактор, який визначатиме стан популяції

- А** дія якого найбільша
Б дія якого найслабша
В дія якого найефективніша
Г дія якого перебуває на межі витривалості виду

8.3. Група, до якої відносять організми, що плавають у товщі Світового океану

- А** планктон **Б** нектон **В** бентос **Г** нейстон

8.4. Здатність організму відчувати час — це

- А** біологічна ритміка **Б** біологічна періодичність
В біологічний годинник **Г** внутрішній годинник

8.5. Синонім до поняття хвилі життя

- А** біологічні ритми **Б** коливання чисельності виду
В чисельності популяцій **Г** пульсації ареалу виду

8.6. Головними складовими біогеоценозу є

- А** популяції **Б** абіотичні фактори
В біоценоз і біотоп **Г** сукцесії

8.7. Площа, на якій може існувати сім'я із 7 левів, що живляться травоядними антилопами, якщо продуктивність придатної для їжі трави в савані становить 160 кг/га, а маса одного лева в середньому — близько 80 кг

- А** 250 га **Б** 350 га **В** 500 га **Г** 700 га

8.8. Назва процесу розвитку біоценозу

- А** екологічний розвиток **Б** сукцесія
В еволюція **Г** екологічна трансформація

8.9. Екосистема з найменшою продуктивністю

- А** сосновий ліс **Б** діброва **В** степ **Г** пшеничне поле

8.10. Назва в біології ізольованого поселення організмів одного виду

- А** екосистема **Б** популяція
В біоценоз **Г** сукцесія

8.11. Консументами називають істоти

- А** які живляться іншими істотами **Б** які розкладають мертву органічну речовину
В що живляться рослинами **Г** що продукують органічну речовину

8.12. Біоти формує

- А** рослинність певної місцевості **Б** одноклітинні істоти, гриби й рослини
В абіотичні фактори середовища **Г** рослинний покрив

8.13. Організми, які перебувають на першому рівні ланцюгу виїдання

- А** паразити **Б** рослини
В рослиноїди **Г** бактерії

8.14. Найбільша маса живого в біосфері міститься

- А** на дні океанів і морів
Б у товщі Світового океану
В на поверхні суходолу й світового океану
Г у найнижчих шарах атмосфери

8.15. Увідповідність види живих істот і типи міжвидових взаємодій, що виникають між ними

- | | |
|---------------------------------|-------------------------|
| 1 інфузорії та копитні | А мутуалізм |
| 2 аскарида й людина | Б паразитизм |
| 3 акула й риба-прилипала | В коменсалізм |
| 4 яструб і горобець | Г хижак — жертва |
| | Д конкуренція |

8.16. Увідповідність терміни та їх визначення

- | | |
|---------------------|---|
| 1 біосфера | А екосистема найвищого рівня |
| 2 біоценоз | Б сукупність популяцій різних видів, що взаємодіють між собою і з неживою природою |
| 3 екосистема | В сукупність популяцій різних видів, що населяють місцевість з однорідними умовами існування |
| 4 біотоп | Г елементарна екосистема |
| | Д однорідна за абіотичними факторами ділянка суходолу |

Тема 9. БІОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ

§ 58. Одомашнення та селекція

Терміни й поняття: одомашнення, селекція, штучний відбір, порода, сорт, інбридинг, гетерозис.

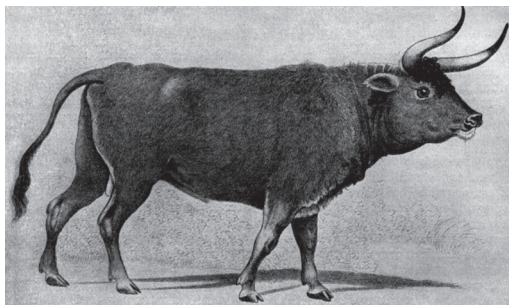
Одомашнення тварин. Ще в стародавні часи в період первіснообщинного ладу людина навчилася приручати диких тварин та вирощувати дикорослі рослини, надаючи їм бажаних властивостей. Цей процес, коли протягом тисяч поколінь дика тварина чи дикоросла рослина перетворюються на культурну, називають одомашненням. Механізм одомашнення полягає в несвідомому штучному доборі, коли людина залишає для розмноження особини з бажаними властивостями. Згодом тварини втрачають зовнішні риси й властивості диких предків, а, натомість, набувають якостей, вигідних для людини. Вважають, що саме поява домашніх тварин та культурних рослин привели до появи людських поселень, які згодом стали перетворюватися на міста, й це стало основою сучасної цивілізації.

Найбільш відомі одомашненні тварини. Людина по-справжньому одомашнила трохи більш ніж 20 видів тварин. Головним чином це ссавці, більшість яких була приручена дуже давно — 6–10 тис. років тому. Мабуть, найбільш знаковими свійськими тваринами є велика рогата худоба, до якої належать кілька видів парнокопитних родини Бикові — це, насамперед, бик свійський, самку якого називають коровою (вони живуть на всіх материках, крім Антарктиди), а також тропічні тварини: бик кошлатий, буйвол азійський, балійська худоба, гаял. Свійськими ссавцями, яких розводять як джерело м'яса, шкіри і шерсті, є вівця, коза, лама, свиня. Свійського коня, осла й північного оленя більше використовують як транспортні засоби; собаку — як помічника в полюванні та охороні житла; кішку — як «тварину-компаньйона».

Зараз відомі дикі предки майже всіх одомашнених ссавців, а деякі з них навіть уже зникли. Йдеться про тура, що є предком бика свійського, й тарпана, який є дикою формою коня свійського (іл. 58.1).

Кілька століть тому тур і тарпан жили на території України. Суперечки щодо дикого предка не вшухають лише щодо собаки, адже чітко доведено, що її безпосереднім предком не були ані вовк, ані шакал, хоча ці тварини зовні та за поведінкою на неї дуже схожі. Можливо, в цьому випадку, як зі свійським биком та конем, дикий предок вже просто вимер.

Найбільш відомими птахами, що були одомашнені людиною, є звичайна свійська качка, предком якої є крижень, та свійська гуска, що походить від гуски сірої, а також домашня курка, дикою попе-



Іл. 58.1. Тур — предок бика свійського

редницею якої є банківський півень (іл. 58.2). Домашні кури — це не лише найбільш поширена свійська тварина, а й найчисленніший представник класу Птахи. Вважають, що курей почали одомашнювати дуже давно — 8–10 тис. років тому в Китаї.



Іл. 58.2. Мешканець тропічних лісів — банківський півень

Свійських тварин серед інших класів і типів майже немає. Винятком є лише бджола медоносна — комаха, яку людина розводить заради збирання меду й воску ще з незапам'ятних часів.

Поява культурних рослин. Видів культурних рослин значно більше, ніж тварин і це не дивно, адже їх вирощують не лише як харчові ресурси, а й для отримання кормів для свійських тварин, ліків, промислової сировини та естетичної насолоди (деревні, кущові та квіткові сорти).

Такі відомі рослини, як пшениця, рис, ячмінь, жито, яблуна, гарбуз, огірок і багато

інших, без яких неможливо уявити життя сучасної людини, людина ввела в культуру давно — 4–12 тис. років тому, хоча з деякими з них (соняшник, кукурудза, картопля, томати) європейці познайомилися лише кілька сотень років тому.

Селекція. Це особлива наука про виведення нових форм організмів із цінними для людини властивостями. Науковою основою селекції є генетика — наука про спадковість і мінливість організмів. Завданнями *селекції* (від лат. *селекціо* — добір) тварин є виведення нових порід або вдосконалення тих, що вже існують; селекції рослин — нових сортів; селекції мікроорганізмів — нових *штамів* (від нім. *stamm* — стовбур). Усі породи, сорти й штами мають важливу особливість — збереження усіх цінних ознак майже без змін з покоління в покоління.

Основою будь-якого селекційного процесу є методичний штучний добір, який передбачає вибір для схрещувань лише особин, що наділені певними, потрібними людині властивостями й ознаками. Індивідуальний добір використовують для виведення порід свійських тварин, у яких плодючість низька (кількість потомків може бути не більше одного). Масовий добір використовують для організмів з численним потомством зазвичай для виведення сортів рослин.

Масовий відбір проходить у такий спосіб. Спочатку дослідник ставить перед собою завдання вивести, наприклад, сорт пшениці, який був би не лише високопродуктивним, а й стійким до грибкових захворювань. Для селекції вибирають вихідний матеріал. Ним можуть бути різні високопродуктивні сорти, які, однак не є стійкими до патогенних грибків. Кожний із цих сортів висаджують на окремій ділянці й заражають грибками. Зерно з поодиноких рослин, які залишились не ураженими, збирають і наступного року знову висівають. Виростають уже більш стійкі рослини, адже грибки вражають уже лише близько половини особин. Зерно, одержане

не від цих рослин, висівають на третій рік. Це покоління є вже доволі стійким — близько 90 % рослин є *резистентним* (від англ. *resistance* — супротив, протидія) до грибків (іл. 58.3).

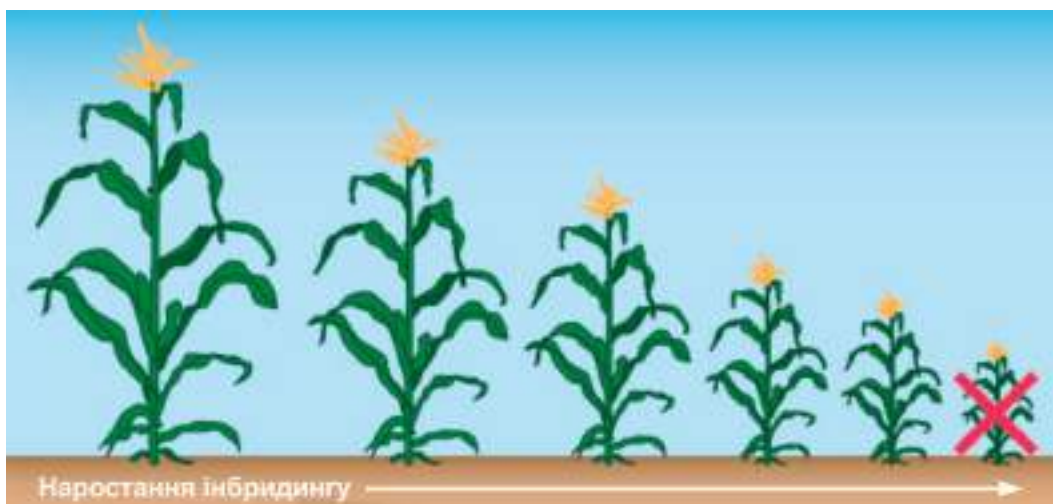
Залишається з'ясувати, який з відібраних у процесі селекції на стійкість до шкідливих грибків сортів зберіг високу продуктивність і продовжити з ним роботу з метою одержання нового сорту рослин. Очевидно, що виведення нового сорту займає не три-п'ять, а десятки років.

Інбридинг. Відомо, що всі особини, які належать до певної породи чи сорту, беруть початок від однієї чи кількох батьківських пар, а тому одразу чи згодом стають родичами того чи іншого ступеня спорідненості.

У результаті розведення сортів і порід, що відбувається статевим шляхом, це не що інше як схрещування близькоспоріднених особин — *інбридинг* (від англ. *inbreeding*: *in* — в, усередині, *breeding* — розведення) (іл. 58.4).



Іл. 58.3. Чорна сажка на колоску пшениці



Іл. 58.4. Результати інбридингу в кукурудзі чітко відображаються у зменшенні її продуктивності

Унаслідок інбридингу потомство з кожним поколінням буде невблаганно вроджуватися і поступово втрачати не лише цінні для людини властивості, а й знижуватиме свою життєздатність і плодючість. Якщо інбридинг відбувається в людини, то це призводить до накопичення у нащадків аномалій розвитку, психічних та розумових розладів, спадкових хвороб. У чому причина негативних наслідків інбридингу? З'ясовано, що за близькоспоріднених схрещувань шкідливі рецесивні летальні та напівлетальні алелі, що зазвичай перебувають у стані гетерозиготи й тому не мають шкідливого впливу, переходять у гомозиготний стан, що неминуче

приведе до їх прояву в фенотипі та негативних наслідків. Саме тому, щоб протидіяти інбридингу в селекції використовують ще й *аутбридинг* (від англ. *inbreeding: out* — з, *breeding*) — схрещування між генетично віддаленими особинами.

Гібридизація, гетерозис і поліплоїдія в селекції. Окремим випадком аутбридингу є гібридизація різних видів або віддалених форм одного виду. Це дозволяє збільшити генетичне різноманіття і запобігти вищепленню летальних генів у вигляді гомозигот.

Крім того, під час гібридизації часто виникає ефект гібридної сили, або *гетерозис* (від грец. *гетерозис* — зміна, перетворення) (іл. 58.5) — гібридне потомство



Іл. 58.5. Гетерозисна кукурудза (в центрі) та вихідні батьківські форми



Іл. 58.6. Курча бройлера



Іл. 58.7. Культурна поліплоїдна (ліворуч) і дика диплоїдна (праворуч) форми моркви

виявляється набагато життєздатнішим, ніж батьківські форми — у нього буде вища продуктивність, плідність і стійкість до хвороб. Гетерозисні гібриди — це не сорти, оскільки вже потомство другого гібридного покоління виявляється значно менш життєздатними й продуктивним, ніж вихідні батьківські форми.

Чим викликаний гетерозис? Вважають, що в разі схрещування генетично віддалених форм у гетерозиготних комбінаціях пригнічується негативний ефект від напівлетальних та летальних рецесивних генів, носієм яких тією чи іншою мірою є всі організми.

У сучасній селекції ефект гетерозису широко використовують не лише для виведення високопродуктивних гібридів рослин, а й тварин. Цей спосіб схрещувань широко застосовують у птахівництві (іл. 58.6). Саме гетерозис є генетичною основою одержання птахів м'ясних порід — *бройлерів* (від англ. *broil* — смажити на вогні), а також підвищення яйценосності курей.

Одним з важливих шляхів селекції рослин є поліплоїдизація геному, тобто збільшення числа хромосомних наборів.

Великий за розміром генетичний апарат поліплоїдів формує велике ядро. Звідси — більші за розмірами клітини й розміри самої рослини, її квіток, насіння та плодів. Невипадково майже всі сучасні сорти культурних рослин є поліплоїдами (іл. 58.7).

Наприклад, тверда пшениця, з борошна якої виготовляють високоякісні макаронні вироби, має чотири набори хромосом, тоді як у м'якої пшениці, яка є значно врожайнішою, їх шість.

Поліплоїдія вигідна ще й тим, що в одному геномі можна створити кілька копій структурних генів і в такий спосіб підвищити дію генів, що визначають синтез цінних речовин: білків (у пшениці), полісахаридів (крохмалю у картоплі), олії (у соняшника).



Наслідком одомашнення і селекції тварин і рослин є створення порід тварин і сортів рослин з бажаними для людини властивостями.

Науковою основою селекції є генетика, методи якої (інбредні й аутбредні схрещування, гібридизація та штучно викликана поліплоїдія) вчені-селекціонери використовують у своїй практичній роботі.



1. Назвіть види одомашнених тварин і культурних рослин. Коли почалося їх одомашнення? **2.** Що є науковою основою селекції? **3.** Чому процес розведення тварин однієї породи неминуче пов'язаний з інбридингом? **4.** Для чого в селекції використовують гібридизацію? **5.** Що означає термін «гібридна сила»? **6.** Чому більшість сучасних сортів рослин є поліплоїдами?



- Чи може селекція вирішити питання голоду в світі? Відповідь обґрунтуйте.

§ 59. Біотехнології. Клітинна інженерія та клонування

Терміни й поняття: біотехнологія, генетична (генна) інженерія, клітинна інженерія, химерні організми, гібридизація клітин, клонування

Біотехнологія та перспективи людства. За визнанням багатьох авторитетних учених, ХХІ ст. повинно стати століттям біотехнології та генетики. Це викликано тим, що застосування біологічних властивостей і процесів у промисловості є більш перспективними, ніж просто використання традиційних способів виробництва, що базуються на технологіях, розроблених за законами й правилами фізики та хімії. Зазвичай у наш час під терміном «біотехнологія» розуміють різноманітні лабораторні маніпуляції з генетичним апаратом, які спричиняють появу нових клітин, з яких виростають організми з потрібними властивостями. Однак не потрібно думати, що біотехнологія — дітище лише сучасної науки. Термін «біотехнологія» запропонував угорський інженер Карл Ерек ще в 1917 р., коли описував процес виробництва свинини. Отже, це значно ширше поняття, ніж генетична інженерія. Правильним буде вважати, що медицина, сільське господарство та харчова промисловість і навіть біологічна зброя — це не що інше, як різноманітні біотехнології. Отже, біотехнологія — це галузь знань, спрямована на використання живих організмів для розв'язання важливих практичних завдань, що постали перед людством. Ця наука використовує знання генетики, екології, молекулярної біології, біохімії, ембріології, клітинної біології, а також прикладних дисциплін — хімічної, фізичної та інформаційної технологій, робототехніки.

Напрями біотехнології. Біологічні процеси завжди використовувалися людиною в практичних та промислових потребах. І це не лише одомашнення, вирощу-

вання чи розведення рослин і тварин, а й виробництво харчових продуктів. Адже випікання хліба, виготовлення кисломолочних продуктів, квасу чи пива, консервація м'яса чи виготовлення ковбаси — це справжні біотехнології, які людство опанувало вже тисячі років тому (іл. 59.1).



Іл. 59.1. Випікання хліба (а), виготовлення квасу (б) та консервація м'яса (в) — дуже давні біотехнології

Більш сучасними напрямками біотехнологій є отримання різних форм біопалива та створення штучного фотосинтезу з метою використання енергії Сонця в потребах людини. Дуже важливим напрямом завжди були медицина й охорона здоров'я — це виготовлення найрізноманітніших ліків, профілактика захворювань, створення вакцин проти нових хвороб та препаратів, що запобігали б алергіям, тощо. Величезні запити на нові біотехнологічні розробки існують від екологів, адже для очищення брудної води використовують бактерії, їжею яким може слугувати нафта, пестициди та інші забруднювачі середовища.

Особливості сучасних біотехнологій. Найсучасніші біотехнології мають певні ознаки, що відрізняють їх від традиційних. Голова відмінність та, що зараз під час створення нових технологій використовують штучно створені організми з новими біологічними властивостями, які ніколи не існували в природі. Наприклад, створення сортів пшениці з генами бактерій, що дозволяють культурним рослинам бути резистентними до певних комах-шкідників, патогенних грибків або до дії гербіцидів (отрутохімікатів, які знищують бур'яни); створення бактерій з генами, що синтезують людський інсулін. Це можуть бути організми, що складаються з клітин зовсім різних видів. За допомогою яких методів отримують таких дивовижних істот?

Існують два основні методи: клітинна інженерія — різноманітні дії з клітинами, які мають на меті одержання гібридних, химерних та клонових організмів: генетична, або гenna, інженерія — різноманітні прийоми та методи, що дозволяють виводити певні гени з генетичного апарату одних організмів й уводити їх в інші.

Химерні організми. Одним з найбільш відомих напрямів клітинної інженерії є створення біологічних химер. У давньогрецькому міфі Химера (від грец. *хімера* — молода коза) — істота з левиною головою, козячим тулубом і хвостом дракона.

Зрозуміло, такого монстра породила людська фантазія, однак у біології прижилося таке поняття, як *біологічна химера*, або *химерний організм*.

Цей термін застосовують до організмів, що складаються з генетично різнорідних клітин, або, науковою мовою, — із соматичних клітин організмів, що беруть

свій початок від різних зигот (іл. 59.2). Незважаючи на «жахливу» назву, найчастіше химери — це добре відомі всім організми: дика яблуня, на яку прищеплена гілка певного сорту, й прекрасна троянда, що квітне на корені шипшини. Химерою є яблуня, у крону якої прищеплена гілка груші.

Крім таких «садових» химер, сучасна наука використовує химери, які отримують у лабораторних умовах.

Для цього за допомогою спеціальних маніпуляцій здійснюють гібридизацію клітин, тобто зливають дві клітини в одну. Це можуть бути як клітини одного виду, так і клітини зовсім різних видів, наприклад, людини і миші. Зрозуміло, що такі гібридні клітини практично нежиттєздатні.

Навіщо ж потрібні лабораторні химери? Часто їх використовують для створення нових декоративних рослин.

Крім того, за їх допомогою вивчають клітинні процеси, зокрема роботу генетичного апарату. Саме вони допомагають вивчати генетичні закономірності сумісності тканин під час трансплантації органів. Клітинна інженерія важлива й для вчених, які вивчають причини виникнення та механізм розвитку ракових пухлин.

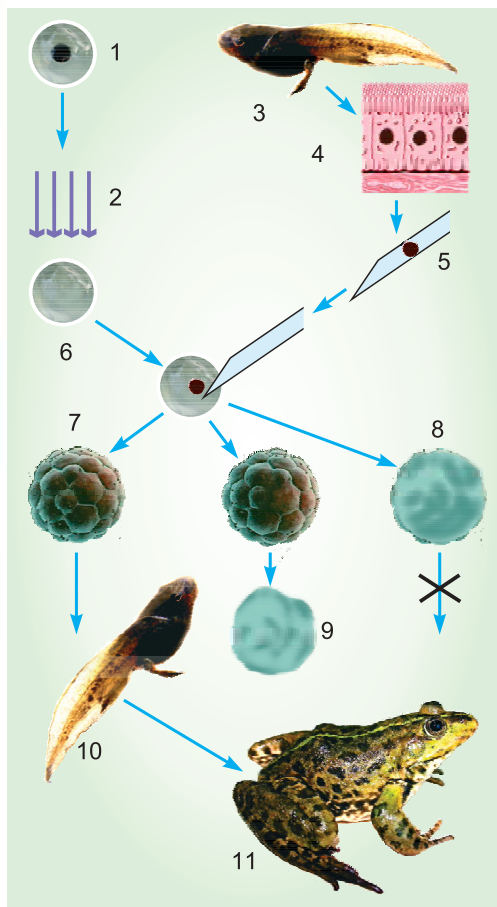
Штучне клонування. Ще одним з напрямів клітинної інженерії є штучне клонування. Цим терміном позначають процес вирощування із соматичних клітин у лабораторних умовах низки генетично тотожних організмів — *клону*. Результату досягають різними шляхами, однак обов'язково завдяки мікрохірургічній техніці. За допомогою мікроскальпеля вдається легко поділити ембріон ссавця на кілька частин у стадії перших поділів дробіння, а потім з кожної частини виростити організм. Цей процес насправді є ніщо інше як штучне створення низки монозиготних близнюків. Оскільки близнюки, що походять від однієї зиготи є генетично тотожними, то їх цілком правильно називають клоном. Слід зазначити, що ембріони ссавців добре зберігаються за умови наднизьких температур.

Перше штучне клонування серед хребетних тварин було здійснене ще в 50-х роках ХХ ст. і мало дещо інший вигляд. З метою отримання клону особин з клітин епітелію кишечника пуголовка жаби озерної вилучали ядра, які потім підсаджували до яйцеклітин, з яких попередньо видаляли ядра. Якщо операція проходила вдало, яйцеклітини починали дробитися й з них розвивалися пуголовки, які в деяких випадках доростали до дорослого стану. Варто зазначити, що більшість таких «гібридних» особин мали значні вади розвитку й досить низьку життєздатність (іл. 59.3).

Здавалося б, подібні маніпуляції з клітинами амфібій, що нині стали звичайними в добре оснащених лабораторіях, можна проводити у значних масштабах, зокрема на ссавцях і людині. Однак більшість подібних спроб дотепер залишаються



Іл. 59.2. Строкаті кімнатні фіалки — справжні химерні організми, бо складаються з генетично різних клітин



Іл. 59.3. Клонування зелених жаб:

1 — незапліднене яйце; 2 — ультрафіолетове опромінювання, за допомогою якого знищують ядро; 3 — пуголовок, у якого беруть клітини кишкового тракту; 4 — клітини кишкового тракту; 5 — мікроін'єкція з ядром клітини кишкового тракту; 6 — яйце, до якого переносять ядро; 7 — бластула; 8 — випадок, коли розвиток не відбувається; 9 — ненормальний розвиток ембріона; 10 — пуголовок, що розвивається з нормальної бластули; 11 — жаба

імовірно, виявилися б виродками, які б узагалі довго не прожили (що до речі й трапилося з вівцею Доллі, яка прожила лише 6,5 років).



Біотехнології — це галузь людських знань, що спрямована на використання живих організмів для розв'язання важливих практичних завдань, що стоять перед людством, зокрема збільшення продовольства й зменшення нестачі енергії та мінеральних ресурсів, розробки нових ліків і методів лікування, поліпшення якості навколишнього середовища.

Сучасні біотехнології базуються на досягненнях генетичної й клітинної інженерії та мають

марними. Наприклад, у ссавців пересадження ядра епітеліальної клітини в яйцеклітину з наступним розвитком зародка та його успішним народженням виявилися складними процесами, адже генетичний апарат ссавців складніший, ніж в амфібій, а головне — розвиток ембріону ссавців відбувається всередині іншого (материнського) організму.

Однак вважають, що й у справі клонування ссавців досягнуто певних успіхів. Найбільш відомим випадком одержання клонів ссавця з ядер соматичної тканини стала вівця Доллі (1966 р., Велика Британія). В експерименті було задіяно 277 яйцеклітин, до яких були пересаджені ядра епітелію, вилучені з вим'я самок овець. У такий спосіб було отримано 29 ембріонів, один з яких вижив і став дорослою вівцею.

Перші успіхи породили привабливі перспективи. Здавалося, що в такий спосіб можна одержати клон геніального вченого, художника, музиканта і таким чином створити низку геніїв рівня Леонардо да Вінчі, «накарбувати» Рафаелів або Шаляпіних. Але, на жаль, сьогодні такий шлях вирішення проблеми безсмертя виявляється нереальним, а багато вчених вважають, що він принципово неможливий, адже в соматичних клітинах за період їхнього життя накопичується чимало мутацій. Навіть якби сурогатні матері й виносили дітей з клітин геніїв людства, такі нащадки не просто були б мало схожими на своїх геніальних батьків, а, най-

за мету створення в лабораторних умовах організмів з досі невідомими, однак цінними для людини властивостями.



1. Що таке біотехнологія і які існують напрями її застосування? 2. Чим відрізняються сучасні біотехнології від традиційних? 3. Які організми в біології називають химерами? 4. Що таке клонування? 5. Чому завдяки клонуванню неможливо досягти безсмертя людини?



• Чи правильно вважати такі терміни, як «генетична інженерія» і «генна інженерія» повністю тотожними?

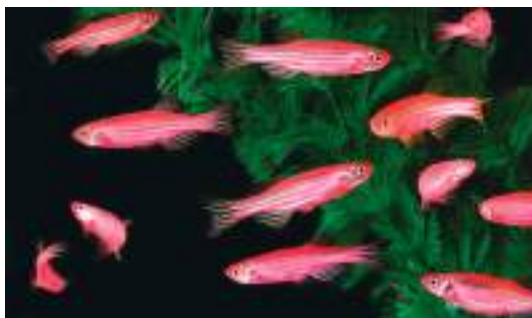
§ 60. Генетична інженерія і трансгенні організми

Терміни й поняття: генетично модифіковані організми (ГМО), трансгенні організми.

Генна інженерія. Генно-модифіковані й трансгенні організми. Одним з найбільш перспективних і сучасних напрямів біотехнології вважають генну інженерію — маніпуляції з генетичним апаратом і певними генами, що дає змогу за допомогою молекулярно-біологічних методів штучно конструювати нові генотипові комбінації або навіть утворювати нові геноми. Ключовим процесом генної інженерії є введення до генетичного апарату одного організму генів або ділянок ДНК іншого, інколи зовсім неспорідненого організму.

Генна інженерія уможливила створення організмів з новими, раніше не властивими їм якостями, які виявляються дуже цінними для людини. Відомо, що мільйони хворих на цукровий діабет людей потребують щоденних ін'єкцій інсуліну — гормону білкової природи. До того як у процес виробництва інсуліну втрутилася генна інженерія, гормон одержували з підшлункових залоз свиней, великої рогатої худоби й китів. Свинячий інсулін відрізняється від людського однією амінокислотою, інсулін великої рогатої худоби — трьома, а інсулін китів — ще більшою кількістю амінокислотних заміщень. Тому зрозуміло, що інсулін від цих тварин не міг повністю замінити людський. Але як його одержати? Відповідь на це запитання дала генна інженерія. До генетичного апарату певних видів бактерій був уведений ген інсуліну людини, який у них справно працює, унаслідок чого в клітинах бактерій накопичується людський інсулін.

Генетично модифіковані й трансгенні організми. Найбільш молодим напрямом сучасної генетичної інженерії є одержання трансгенних організмів, тобто живих істот, які містять *трансгени* (від лат. *транс* — через і ген) — гени бактерій, грибів, рослин або тварин, чужорідні для цього виду організмів. Це може бути, наприклад, акваріумна рибка (іл. 60.1), генетичний апарат якої містить гени від коралів чи медуз, зав-



Іл. 60.1. До генетичного апарату акваріумних рибок даніо-реріо підсаджено гени, які зумовлюють флуоресцентне забарвлення

дяки яким вона здатна світитися. Організми, генетичний апарат яких змінений завдяки генно-інженерним маніпуляціям, отримали назву *генетично модифікованих організмів* (ГМО).

Зазвичай на практиці поняття трансгенний та генетично модифікований організм є синонімами. Більш того, коректнішою вважають термін трансгенний організм, однак на практиці частіше можна чути про ГМО.

Надзвичайна цінність методів генної інженерії полягає в тому, що її методи допомагають здійснити давніші мрії селекціонерів: додати організму такі ознаки, які не можна перенести шляхом схрещування з близькоспорідними видами й зробити процес селекції майже миттєвим.

За одне покоління можна наділити рослину чи тварину необхідними властивостями, на що за звичайної селекції шляхом штучного добору підуть десятиліття.

Генна інженерія народилася в 1972 р. разом з першими трансгенними організмами у Стенфордському університеті (США), коли американський біохімік Пол Берг уперше об'єднав у пробірці фрагменти ДНК фага лямбда, кишкової палички та мавпячого вірусу. Отриману рекомбінантну ДНК було введено в бактерію, що стала першим трансгенним організмом. Перші препарати людського інсуліну, отримані з трансгенних бактерій, надійшли у продаж вже у 70-ті роки ХХ ст. й з того часу активно використовуються в усьому світі.

Завдяки трансгенним бактеріям, дешево, швидко й у значній кількості одержують інтерферон, імуноглобуліни, різні гормони, незамінні амінокислоти й інші біологічні активні речовини.

Далекі від біології люди часто сприймають слово «модифікований» як неодмінну вказівку на те, що продукт одержаний методом генної інженерії. Наприклад, так трактують термін «модифікований крохмаль». Нагадаємо: крохмаль — це хімічна речовина, вуглевод. Модифікація крохмалю — це хімічний процес поділу довгої молекули крохмалю на коротші відрізки, унаслідок чого одержана суміш полісахаридів має високу здатність утримувати вологу й застосовується як згущувач. Модифікований крохмаль не має ані найменшого стосунку до генетично модифікованих організмів, оскільки не є організмом і не має генів.

Методи одержання трансгенних організмів у лабораторіях. Зазвичай для перенесення генів використовують віруси, фаги або плазміди. Вони мають природну здатність атакувати клітини, проникати усередину і вбудовувати свою генетичну інформацію у клітинну ДНК. Ці генетичні основи, що використовують для перенесення генів, називають векторами перенесення генетичної інформації.

Спочатку в плазміді бактерії вбудовується необхідний ген. Для цього використовують особливі ферменти — рестриктази, здатні розпізнавати ДНК і розщеплювати її в ділянках з відповідною послідовністю нуклеотидів. Відомо понад 500 видів рестриктаз, і кожна специфічно розщеплює ДНК — ріже її, як ножиці, у конкретному місці, а потім вирізує необхідні фрагменти. Частина й розриви ниток ДНК склеюють за допомогою іншого ферменту — лігази. Таким чином, використовуючи «ножиці»-рестриктази і «клей»-лігазу, з однієї ДНК «вирізають», а в іншу ДНК «вклеюють» необхідні гени. Далі трансгенні бактерії культивують разом з клітинами

рослини. У результаті того, що плазмиди проникають до клітин рослин, фрагменти чужорідної ДНК вбудовуються в ДНК рослин. У результаті виникають трансгенні клітини, з яких у лабораторних умовах вирощують цілі рослини.

Трансгенні рослини. Перші трансгенні рослини у 1983 р. виростили вчені Інституту рослинництва в Кельні (Німеччина). У 1996 р. компанія «Монсанта» (м. Сент-Луїс, США) одночасно випустила на ринок перші генетично модифіковані сільськогосподарські культури: трансгенну сою і бавовну, стійку до комах. Відтоді лише в цій компанії одержано понад 45 тис. ліній трансгенних рослин, у тому числі: яблуні, сливи, виноград, томати, капуста, баклажани, огірки, кукурудза, пшениця, соя, рис, жито, тютюн тощо.

Генетично модифіковані рослини теж можуть виробляти лікарські речовини. Однак більшість генних модифікацій у рослин спрямовані на розвиток стійкості до сільськогосподарських шкідників або вірусів, виживання в разі обробки полів гербіцидами, підвищення смакових і технічних якостей. Звичайно, поліпшення якості харчової продукції досягають не лише за допомогою генетичних змін, а й іншими, традиційними способами. Наприклад, вирощують рослини, застосовуючи велику кількість хімічних добрив, рослинних гормонів, обробляють плоди спеціальними речовинами, які уможливають їх тривале зберігання. У продукти додають хімічні речовини: консерванти, ароматизатори, покращувачі смаку. Генетичний склад вихідного організму не змінюється, але до генетично модифікованих організмів подібні методи поліпшення якості продукції не мають жодного стосунку.

Зараз трансгенні рослини вирощують на площі, що становить близько 12 % усіх орних земель. Перше місце з вирощування трансгенних рослин посідають США, Канада, Бразилія, Аргентина, Індія.

Особливості трансгенної картоплі. Одним з найвідоміших прикладів трансгенної рослини є сорти картоплі, стійкі до різноманітних патогенів і шкідників. Особливу популярність отримали різні сорти картоплі, стійкі до колорадського жука. До геному одного із сортів було вмонтовано ген *хітинази* — ферменту, що розчиняє хітин, який було виділено з певного виду ґрунтових бактерій. Така картопля починає синтезувати невластивий їй фермент хітиназу й накопичувати його в листках і стеблах. Паразитичні гриби, клітинні стінки яких, як ви, напевно, пам'ятаєте, складаються з хітину, і комахи, що мають хітиновий покрив, не можуть жититися зеленою масою такої картоплі, оскільки хітиназа їх ушкоджує. Для людського організму хітиназа безпечна, адже в людському організмі абсолютно відсутній хітин.

Існують ще й інші способи отримання стійкої до колорадського жука картоплі. До геному картоплі вводять ген певного виду ґрунтових бацил, що кодує особливий білок *протоксин* (від грец. *про* — попереду і *токсікон* — отрута), якій стає отрутою для комах лише в кишечнику. Для теплокровних тварин і людини протоксин — небезпечний. Трансгенна картопля не потребує обприскування різноманітними отрутами, а отже, є екологічно безпечнішою, ніж звичайна, оброблена пестицидами.

Застереження під час застосування трансгенних організмів. Генетичні модифікації бактерій, рослин і тварин мають величезне значення для всіх сфер

людського життя — від сільського господарства до виробництва біопалива й охорони здоров'я. Однак існують проблеми безпеки, які не варто залишати поза увагою, впроваджуючи нові сорти генетично модифікованих організмів. Наприклад, «пересадження» рослинам гена стійкості до гербіцидів може спровокувати те, що поле, засаджене такими рослинами, почнуть обприскувати більшими дозами цих гербіцидів, ніж потрібно за технологіями. Унаслідок цього частина отрути може потрапити у воду, на сусідні лани та навіть у їжу. Неприпустимими є генетичні модифікації, за яких рослини зможуть синтезувати небезпечні для людини токсини.

Крім того, у результаті генетичних модифікацій у рослинах починають синтезуватися невластиві їм білки. Це може викликати алергії. Саме з такою небезпекою пов'язана необхідність маркування про вміст у їжі ГМО.

Однак слід пам'ятати, що шкода, яку можуть заподіяти нові генетично модифіковані сорти, — це найчастіше шкода опосередкована. Страхи, що трансгени можуть мігрувати з генетично модифікованих організмів і вбудовуватися у геном людини, безпідставні.

Усі трансгенні сорти рослин перед їх широким застосуванням проходять ретельну перевірку на безпечність для людини й навколишнього середовища. Саме це зумовлює надзвичайно високу вартість розробки й надання висновку про випуск на ринок нових трансгенних рослин-продуктів (від 50 до 200 млн доларів). Як не парадоксально, але трансгенні рослини генетично більш вивчені, ніж сорти, які одержують методами звичайної селекції.



Сучасна біотехнологія дає змогу втручатися в генетичний апарат і конструювати нові комбінації генів і навіть нові геноми. Саме в такий спосіб одержують генетично модифіковані, або трансгенні, організми.

Трансгенні організми широко застосовують у фармакології, сільському господарстві й промисловості.



1. Що таке генетично модифікований, або трансгенний організм? Наведіть приклади таких організмів. **2.** Як здійснюють перенесення генів під час створення трансгенних організмів? **3.** У чому полягають переваги трансгенних культурних рослин над звичайними?



• Запропонуйте свої варіанти генетичних модифікацій і трансгенних організмів. Обґрунтуйте їх практичну доцільність.

§ 61. Сучасні біотехнології в медицині

Терміни й поняття: біомедичні технології, генна терапія, стовбурові клітини, клітинна терапія, ембріотехнології, екстракорпоральне запліднення.

Біотехнології та медицина. Цілком очевидно, що науковими засадами сучасної медицини є передусім біологічні знання. Йдеться не лише про відомості, що були отримані під час вивчення людини як біологічного об'єкта і які стосуються особливостей його біохімічного складу, фізіологічних процесів чи генетичних вад, досягнень мікробіології, паразитології чи вірусології, а й про результати досліджень зоологів, ботаніків та екологів. Однак найбільш сучасними і, можливо, украй важливими є різноманітні технології, що базуються на досягненнях клітинної та генетич-

ної інженерії. Вони спрямовані на створення раніше невідомих біологічних продуктів, що здатні давати зовсім нові ефекти під час лікування важких або невиліковних хвороб: жіноче безпліддя, онкологічні захворювання, СНІД, ураження центральної нервової системи, травми хребта, подолання наслідків діабету, інфарктів чи алергій.

Особливе значення набуває *генетична діагностика* — напрям, що базується на програмі «Геном людини». Тепер завдяки методиці *секвенування* (біохімічні методи встановлення послідовності, наприклад, аденіну, гуаніну, цитозину в ДНК) можна чітко встановити, чи має людина гени, які зумовлюють виникнення спадкової хвороби (іл. 61.1).

Генна інженерія і створення нових ліків. Як уже зазначалося, саме в результаті генно-інженерних технологій у промислових масштабах був одержаний людський інсулін.

За допомогою генно-інженерних процедур можна не лише збільшити виробництво антибіотиків, а й розробити нові, до яких у хвороботворних бактерій ще не відбулося звикання.

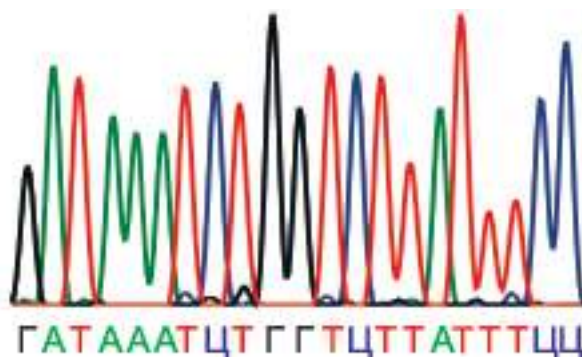
Ще одним перспективним напрямом сучасної фармакології є виготовлення у промислових масштабах такої речовини, як інтерферон.

Пригадайте: цю речовину виробляють клітини людини для протидії вірусам. Деякі оптимісти вважають, що це може стати чудодійним засобом проти безлічі вірусних захворювань і навіть раку.

Дуже цікавим є створення трансгенних культурних рослин, що несуть гени білків, характерних для патогенних бактерій і вірусів. Для чого це потрібно? З'ясували, що споживання сирих плодів та овочів, які несуть такі гени, здійснює вакцинацію організму. Це чітко доведено в досліді з лабораторними мишами. Якщо ввести ген токсину, який виробляє холерний вібрион, до геному картоплі, а потім бульбою трансгенної картоплі годувати мишей, то в їх крові з'являться антитіла до збудників холери. Вважають, що в недалекому майбутньому так звані їстівні вакцини будуть широко застосовувати у боротьбі з багатьма хворобами.

Генна терапія. Донедавна діагноз «спадкове захворювання» був вироком для хворого: генетичні хвороби не лікували, полегшуючи лише симптоми захворювання. Прикладом такого лікування може бути терапія фенілкетонурії. Не усуваючи причини хвороби, тобто дефекту генів, стан хворих коригували за допомогою дієти.

Одним з новітніх напрямів сучасної медичної генетики є *генна терапія* — сукупність методів генної інженерії та медицини, спрямованих на лікування патологій генетичного апарату (іл. 61.2).



Іл. 61.1. Метод секвенування — швидке встановлення послідовності нуклеотидів на певних ділянках ДНК

Суть генної терапії полягає в тому, що в деякі клітини хворого вводять ті гени, які в нього уражені. Можна сказати, що це — хірургія генів.



Іл. 61.2. Методи генної терапії — корекція роботи мутантних генів

вбудовуватись у генетичний апарат людини і залишатися там протягом життя клітини. У генотерапії використовують віруси, які в результаті генно-інженерних операцій втратили здатність утворювати пухлини, але несуть у собі вбудовані гени — такі, як уражені мутаціями у хворого.

Одним із прикладів лікування спадкових хвороб методом генної терапії є лікування спадкової патології — важкого комбінованого імунодефіциту (не плутати з ВІЛ!). Це вроджене захворювання викликають мутації генів, у результаті чого у хворого практично повністю відсутній імунітет. Перші спроби застосування генної терапії в лікуванні цього захворювання відносять до 1990 р.. У 1993 р. уперше успішно проведена генна терапія хворого на важкий комбінований імунодефіцит. Після лікування білі кров'яні клітини виконували свої функції протягом чотирьох років, тобто чотири роки працював імунітет. Після цього знадобилося повторне лікування. У наші дні кожна третя дитина у світі, що страждає на важкий комбінований імунодефіцит, лікується за допомогою генної терапії.

Сьогодні у світі апробовано й затверджено вже близько 200 генотерапевтичних протоколів лікування.

Стовбурові клітини та їх використання в медицині. З'ясовано, що в кожному багатоклітинному організмі є особливі клітини, які, на перший погляд, не мають визначених функцій. Але це зовсім не так — з них утворюються різноманітні клітини, з яких і формуються органи тіла. Вони отримали назву *стовбурові клітини* (клони нових клітин започатковуються з них неначе гілки зі стовбура) (іл. 61.3). Саме зі стовбурових клітин, що містяться в червоному кістковому мозку людини, утворюються еритроцити чи лейкоцити; зі стовбурових клітин сім'яників формуються сперматозоїди.



Іл. 61.3. Кровотворні стовбурові клітини в кровоносній судині ембріона людини

Слід зазначити, що різні групи стовбурових клітин мають неоднакову здатність до утворення клітин тіла. Так, навіть окремі клітини зародка людини на етапі перших клітинних поділів можуть дати новий організм. Такою самою здатністю володіють клітини гідри чи планарії. Саме такі стовбурові клітини називають *тоти-*

потентними (від лат. *totus* — увесь, *potentia* — можливість). Однак вже на стадії бластули клітини зародків людини втрачають властивість тотипотентності, перетворюючись у *плюропотентні* (від лат. *pluralis* — множинний і потенція).

Такі клітини ще зберігають здатність розвиватися тим чи іншим шляхом. З них можуть формуватися різні клітини, тканини й органи, але новий організм з них утворитися вже не може. Нечисленні плюропотентні клітини зберігаються і в дорослому організмі людини. Саме з них постійно утворюються клітини, необхідні для відновлення організму. Однак більшість клітин дорослого організму, як зберегли здатність до поділів, відносять до *уніпотентних* (від лат. *unicus* — єдиний свого роду і потенція), оскільки вони здатні розвиватися в клітині лише одного типу. До цієї групи відносять, наприклад, клітини, з яких утворюються сперматозоїди.

Стовбурові клітини, на відміну від інших клітин організму людини, можуть ділитися нескінченно довго. При цьому одна з дочірніх клітин залишається стовбуровою, а друга диференціюється, перетворюючись у функціонуючу клітину, наприклад лімфоцит або еритроцит. За рахунок цього, зокрема, і відбувається постійне відновлення клітинного складу крові. Однак, як нині з'ясували, їх функції в організмі значно ширші, ніж формування формених елементів крові. Зі стовбурових клітин може утворюватися кожна з близько 350 типів клітин організму людини.

Стовбурові клітини у тканинах людського ембріона трапляються у співвідношенні одна на 10 тис. звичайних клітин, а в літньої людини віку 60–80 р. — 1 на 9 млн. Саме тому в людей похилого віку так повільно відбуваються відбудовні процеси.

У наш час використання стовбурових клітин або їх продуктів у медицині, що має назву клітинна терапія, вважають перспективним способом подолання наслідків багатьох дуже важких хвороб: злоякісних новоутворень, порушень функції імунної системи, патологій обміну речовин тощо. Роль цих клітин полягає не в власне лікуванні, а у відновленні функцій кісткового мозку, крові та імунної системи пацієнта після проведення лікування.

Оптимісти-дослідники навіть вважають, що зі стовбурових клітин згодом можна буде створювати тканини та навіть вирощувати цілі органи для трансплантації замість донорських органів. Головна перевага цього підходу полягає в тому, що ці органи можна виростити з клітин самого пацієнта, і після пересадки їх не відторгатиме імунна система.

Однак масове застосування стовбурових клітин викликає й певні побоювання. Річ у тім, що за такого роду терапії в організм людини вводять тисячі клітин здатних до нескінченного числа поділів, а саме такою властивістю характеризуються ракові клітини. Тому виникає побоювання, що введення стовбурових клітин не лише омолоджує організм або стимулює імунітет, а й може призвести до виникнення онкологічних захворювань. Крім того, одержання стовбурових клітин пов'язане з використанням людських органів. Усе це разом узяття накладає серйозні морально-етичні, а в багатьох країнах і юридичні обмеження на маніпуляції зі стовбуровими клітинами.

Екстракорпоральне запліднення. Особливим напрямом біотехнологій, у тому числі й медичних, є ембріотехнології, зокрема екстракорпоральне (від лат. *extra* — ззовні і *corpus* — тіло) запліднення, яке використовують для запобігання жіночому безпліддю. Зараз ця процедура вже стала доволі вживаною в медичній практиці, хоча перші вдалі спроби були здійснені лише в 1980-х роках. Для проведення екстракорпорального запліднення слід зробити кілька маніпуляцій. Спочатку отримують здорові, готові до запліднення яйцеклітини й сперматозоїди.

Потім проводять запліднення у пробірці, дають утворитися ембріонам, які підсаджують до слизової оболонки матки. До слушної нагоди ембріони можуть заморозити у рідкому Нітрогені за температури $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$, адже в такому стані вони не втрачають життєздатності.



Сучасні біомедичні технології базуються на розробці нових методів **генетичної та клітинної інженерії** й мають на меті створення принципово нових продуктів, за допомогою яких можна подолати раніш невиліковні хвороби.

Конкретними напрямками сучасних біомедицинських технологій є **створення нових ліків та біопрепаратів, генетична та клітинна терапія, ембріотехнології**.



1. У чому полягає особливість сучасних біомедичних технологій? **2.** Як за допомогою генної інженерії отримують біологічні препарати? **3.** Що таке генна терапія? **4.** Які клітини називають стовбуровими? **5.** Чи є у людини тотипотентні клітини? **6.** У чому полягає суть ембріотехнології?



• Чи можливо в принципі за допомогою біомедичних технологій вилікувати будь-яке захворювання?

Тестові завдання до теми 9

9.1. Назва процесу вирощування диких рослин з потрібними людині властивостями

А окультурення **Б** одомашнення **В** селекція **Г** виведення сорту

9.2. Тварина, яка була диким предком бика свійського

А тур **Б** буйвол азійський **В** балійська худоба **Г** гаял

9.3. Свійська тварина, дикий предок якої до цього часу не встановлений

А кішка **Б** кінь **В** собака **Г** курка

9.4. Одомашнена тварина, диким предком якої є тарпан

А кінь **Б** осел **В** лама **Г** козел

9.5. У результаті селекції мікроорганізмів отримують

А породи **Б** сорти **В** чисті лінії **Г** штами

9.6. Клонування — це

А виведення нових сортів чи порід
Б отримання генетично тотожних особин
В виділення генетично чистої лінії
Г отримання генетично модифікованих організмів

9.7. Гетерозис — це

А близькоспоріднені схрещування **Б** збільшення числа геномів
В гібридна сила **Г** виродження

9.8. Ознака сучасних біотехнологій, які відрізняють їх від традиційних

- А** створення штучних організмів з новими властивостями
- Б** базування на методах селекції
- В** високоефективність
- Г** стосуються медичних засобів і методів лікування

9.9. Трансгенним називають організм, який

- А** у своєму генетичному апараті несе мутації
- Б** отриманий шляхом клонування
- В** походить від біологічної химери
- Г** насичений чужорідними генами

9.10. Основою будь-якого селекційного процесу є

- А** штучний добір
- Б** мутаційний процес
- В** інбридинг
- Г** аутбридинг

9.11. Біологічна химера — це

- А** гібрид між віддаленими видами
- Б** особина, що складається з генетично різних клітин
- В** декоративна порода тварин
- Г** особина з вродженими вадами розвитку

9.12. Діяльність людини, яка є біотехнології

- А** прокладання автомобільних шляхів
- Б** опалення помешкань у зимовий період
- В** видобуток кам'яного вугілля
- Г** виготовлення рослинної олії

9.13. Метод отримання генетично модифікованих організмів

- А** клітинна інженерія
- Б** хімічний і фізичний мутагенез
- В** селекція
- Г** генетична інженерія

9.14. Хвороба, наслідки якої можна подолати завдяки успіхам генної інженерії

- А** дизентерія
- Б** цукровий діабет
- В** СНІД
- Г** шизофренія

9.15. Метод коректування генетичних хвороб, який називають хірургією генів

- А** генна інженерія
- Б** генна терапія
- В** метод точкових мутацій
- Г** метод індукованих мутацій

9.16. Назва технології використання стовбурових клітин у медицині

- А** клітинна хірургія
- Б** клітинна терапія
- В** мікрохірургія клітин
- Г** клітинна інженерія

9.17. Функція стовбурових клітин в організмі людини

- А** акумуляція у собі мутацій
- Б** формування зв'язків між клітинами
- В** утворення основних тканин
- Г** утворення клітин різних типів

9.18. Вектором переносу генетичної інформації в генетичній інженерії можуть використовувати

- А** кишкову паличку
- Б** плазмід
- В** Y-хромосому
- Г** антиген

УЗАГАЛЬНЕННЯ

§ 62. Спільні властивості живих систем

Терміни й поняття: самооновлення; саморегуляція; самовідтворення; подразливість

Весь матеріальний світ підпорядкований законам фізики й хімії. Не є винятком і живі істоти, адже вони побудовані з хімічних елементів, з яких утворюються молекули, що реагують між собою за законами хімії. Основою будь-якого життя є збереження та перетворення форм енергії. Ці процеси, у свою чергу, відповідають фізичному закону збереження та перетворення енергії. Проте живі істоти мають цілу низку своїх особливих властивостей, які дозволяють чітко відрізнити живий організм від неживого тіла й доводять єдність життя на Землі.

Властивості живих систем.

1. Єдність хімічного складу. *Усі живі істоти складаються з тих самих хімічних елементів, що й тіла неживої природи, утворюючи, однак, свої особливі біомолекули.* Живі організми містять близько 80 елементів періодичної системи Д. Менделєєва. Причому, по-справжньому біологічно значущими є близько 30 хімічних елементів, які, в залежності від їх кількісної наявності в клітині, називають макро- чи мікроелементами. Найбільш масовими хімічними елементами є Оксиген (68 % маси клітини), Карбон (17 %), Гідроген (10 %) і Нітроген (3 %). Саме з цих елементів синтезуються органічні сполуки клітини, а саме: білки, нуклеїнові кислоти, вуглеводи та ліпіди (іл. 60.1). Ці речовини, які називають біомолекулами, утворюються лише в клітинах живих організмів.

2. Клітинна будова. *Усі живі організми складаються з клітин.* Уже в середині XIX ст. було доведено: живі організми побудовані з клітин; будь-яка клітина походить від іншої клітини; зародження нового багатоклітинного організму відбувається шляхом злиття спеціальних статевих клітин; ріст і розвиток є результатом поділу клітин. Ці положення є цілком актуальними і для сучасної науки.

3. Живлення. *Усі живі організми живляться, тобто поглинають енергію й речовину з навколишнього середовища.* Будь-який організм для підтримання власного стану, росту та розмноження потребує енергії й речовини, які він отримує лише з навколишнього середовища. Як вам відомо, рослини використовують енергію Сонця, а прості неорганічні речовини, що необхідні для їх життя, надходять з повітря та ґрунту. Органічні речовини рослини синтезують самостійно. Тварини, гриби й більшість мікроорганізмів отримують не лише енергію, а й органічні речовини з їжею, яка входить до складу живих організмів або залишилася від померлих. Вони не здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних.

4. Обмін речовин та енергії. *Для всіх живих істот властивий обмін речовин — сукупність керованих хімічних реакцій, унаслідок яких організм одержує і перерозподіляє енергію, синтезує необхідні для життєдіяльності речовини.* Слід зазначити, що речовини, утворені організмом, рано чи пізно руйнуються, і тому в ньому постійно відбувається самооновлення. Це призводить до стабільності його внутрішнього стану, що досягається завдяки роботі окремих органів, які регулюють процеси в організмі. За рахунок цього живі тіла пристосовуються до змін у навко-

лишньому середовищі. Здатність живих істот регулювати внутрішній стан та віносини з навколишнім середовищем називають *саморегуляцією*, яка теж є важливою ознакою живого.

Обмін речовин у живих організмах відбувається за допомогою синтезу органічних речовин (*асиміляції*) та їх розпаду (*дисиміляції*), що в результаті призводить до утворення простих неорганічних сполук. Наприклад, рослини з вуглекислого газу та води за допомогою сонячної енергії синтезують вуглеводи (глюкозу, сахарозу, крохмаль, целюлозу), які використовують як джерело енергії, запасальні речовини й будівельний матеріал клітини (іл. 60.2).

Саме завдяки тому, що в живому організмі постійно відбувається обмін речовин та енергії, забезпечується постійність хімічного складу та будови всіх його частин, стає функціонування організму, реакцію на зміни умов навколишнього середовища.

5. Розмноження. Живі організми розмножуються, тобто здатні до самовідтворення. Жоден організм, навіть найдосконаліший, не здатний жити вічно. Тому єдиний спосіб підтримування життя на Землі — розмноження.

Розмноження забезпечує безперервність життя та завжди супроводжується збільшенням кількості особин. Одноклітинні організми відтворюються лише нестатевим шляхом, а багатоклітинні — статевим за допомогою спеціальних клітин — гамет. Проте в більш примітивних багатоклітинних істот зберігається й нестатеве розмноження.

6. Індивідуальний розвиток. Усім живим істотам властивий індивідуальний розвиток: вони народжуються, дозрівають і вмирають. Навіть амеба одразу після поділу має менші розміри, ніж материнська особина, тому їй потрібно «подо-рослішати» — підрости.

Організми, що складаються з багатьох клітин, зазвичай починають свій життєвий шлях від однієї клітини — *зиготи* і, розвиваючись, перетворюються на здатний до розмноження організм, який складається з тисяч, мільйонів і навіть мільярдів клітин. У процесі росту й розвитку в організмі неминуче трапляються помилки обміну речовин, «ламаються» молекули й клітинні структури — відбувається старіння, що зрештою спричинює природну смерть.

7. Спадковість, мінливість. Від живої істоти народжуються лише подібні істоти, проте у природі немає абсолютно однакових живих організмів.

Найважливішою рисою живого є передавання у спадок наступним поколінням ознак, властивих не лише певному виду, а й конкретним батьківським особинам. Цю властивість живих істот називають *спадковістю*, а здатність потомків набувати нових ознак — *мінливістю*. Матеріальним носієм спадковості є молекула ДНК, що становить генетичний апарат клітини.

Генетично ідентичними організмами є однойцеві близнюки. У ранньому віці їх ледве розрізняє навіть мати, але близнюки ростуть, розвиваються, дорослішають, згодом старіють, і протягом усього життя дедалі більше відрізняються одне від одного. Адже в кожного з них власна доля і власна історія стосунків з навколишнім світом, що позначається на зовнішності. Отже, навіть близнюки або клон особин, що виник у результаті вегетативного розмноження та мають ті самі спадкові риси, зовні відрізняються.

8. Здатність до еволюції. *Усі живі істоти виникли внаслідок тривалого історичного розвитку — еволюції.* Також у процесі еволюції сформувалася й сучасна біосфера, а також її складові частини — екосистеми.

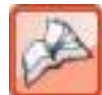
9. Рух і подразливість. *Усі організми без винятку здатні так чи інакше реагувати на виклики й подразники середовища.* Частіше за все це переміщення тіла або його окремих частин у просторі. Однак форма руху чи спосіб реакції на подразники у різних живих організмів неоднаковий (іл. 60.3).

Здатність організмів реагувати на зовнішні зміни називають *подразливістю*. Вона проявляється не лише зовнішніми реакціями, а насамперед на рівні перебігу хімічних реакцій у клітинах. Тварини реагують на подразник негайно, що пояснюють наявністю в них нервової системи і здатності до активного руху, а в рослин подібна відповідь на подразнення може тривати кілька днів.



Живі істоти мають низку спільних властивостей, які доводять єдність життя на Землі. Певні властивості є спільними для тіл живої та неживої природи, інші — специфічні лише для живого й дають змогу зрозуміти, що таке життя.

До ознак, що властиві лише живим організмам, слід віднести: **хімічний склад** на підставі складних біомолекул; **живлення**; **обмін речовин**, що забезпечує самовідновлення та саморегуляцію; **клітинну будову**; **самовідтворення**, яке супроводжується збільшенням числа особин; **ріст та індивідуальний розвиток**; **спадковість**; **мінливість**; **історичний розвиток**, **реакції на подразники**.



1. Назвіть спільні властивості, притаманні неживій природі та живим організмам.
2. У чому полягають особливості будови живих істот і які процеси є специфічними саме для живих істот?
3. Що доводить єдність життя на Землі?
4. Оберіть будь-який об'єкт живої природи та на його прикладі спробуйте описати щонайбільше ознак живого.



- Деякі науковці вважають, що виникнення і підтримання життя пов'язане з порушенням закону збереження і перетворення енергії. Доведіть, що цього не може бути в принципі.
- Яким ще відомим законам фізики підпорядковані живі істоти? Проілюструйте це конкретними прикладами.

Додаткова література та інтернет-сторінки для поглиблення і розширення знань

1. Гершензон С. М. Основы современной генетики. — К. : Наук. думка, 1979. — 270 с.
2. Дарвин Ч. Происхождение видов путём естественного отбора : книга для учителей. — М.: Просвещение, 1986. — 382 с.
3. Одум Е. Экология. — М. : Просвещение, 1968. — 168 с.
4. Парамонов А. А. Дарвинизм. — М. : Просвещение, 1978. — 336 с.
5. Межжерін С. В., Межжеріна Я. О., Коршевнюк Т. В. Біологія : підруч. для 10 кл. загальноосвіт. навч. закладів. — К. : Школяр, 2013. — 360 с
6. Межжерін С. В., Межжеріна Я. О. Біологія : підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закладів. — Харків : Сиція, 2012. — 336 с
7. Мотузний В. О. Біологія : навч. посіб. для учнів 10–11 кл. загальноосвіт. навч. закладів. — К.: Вища школа, 2007. — 752 с.
8. Соболев В. І. Біологія. Довідник + тести. Повний повторювальний курс, підготовка до зовнішнього незалежного оцінювання — Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2010. — 796 с.
9. Барна І. В. Біологія : Довідник школяра та абітурієнта. — Тернопіль : Підручники і посібники, 2016. — 768 с.
10. <http://biology.org.ua/> — Український біологічний сайт.
11. <http://modernbiology.ru/ticher.htm> — Сайт для вчителів та учнів.
12. <https://uk.wikipedia.org/wiki/> — Вікіпедія — вільна енциклопедія.

КОРОТКИЙ СЛОВНИК БІОЛОГІЧНИХ ТЕРМІНІВ

А

Абіогенез — загальна назва гіпотез про виникнення життя з неживої матерії.

Автотрофні організми (автотрофи) — живі істоти, здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних з використанням світлової енергії (фотосинтезики) або енергії певних хімічних реакцій (хемосинтезики).

Агроценоз — збіднене видами угруповання рослин, тварин, грибів і мікроорганізмів, створене людиною для одержання сільськогосподарської продукції

Адаптація — виникнення пристосувань у живих систем (організмів, екосистем тощо) у відповідь на зміни, які відбуваються в їхньому зовнішньому чи внутрішньому середовищах.

Аеробні організми (аероби) — живі істоти, здатні до життя, розвитку та розмноження виключно за наявності в середовищі існування кисню (O_2), який вони використовують як окиснювач у процесах метаболізму.

Акросома — особлива органела на кінці головки сперматозоїда, утворена з елементів комплексу Гольджі, яка забезпечує проникнення сперматозоїда в яйцеклітину.

Алельні гени — різні варіанти певного гена, які займають подібне положення (локусу) у гомологічних хромосомах та визначають різні варіанти певної ознаки.

Алель — один із можливих структурних станів гена.

Амінокислоти — органічні сполуки, які одночасно містять у своєму складі аміно- ($-NH_2$) та карбоксильну ($-COOH$) групи.

Аналізуюче схрещування — схрещування між особинами, які мають рецесивний та домінуючий варіанти певної ознаки, з метою встановлення генотипу особини з домінуючою ознакою.

Анаеробні організми (анаероби) — живі істоти, здатні до життя, розвитку та розмноження за відсутності в середовищі існування кисню (O_2).

Антеридії — чоловічі статеві органи рослин.

Антикодон — триплет нуклеотидів, розташований на верхівці молекули тРНК; визначає амінокислоту, яку транспортує дана молекула тРНК і візнає комплементарну йому ділянку з трьох нуклеотидів (кодон) молекули іРНК.

Антропогенні фактори середовища — екологічні чинники, зумовлені діяльністю людини.

Ареал — частина біосфери, яку населяють особини певного виду чи систематичної групи.

Ароморфоз — еволюційне перетворення, яке підвищує рівень організації організму в цілому і сприяє пристосуванню до різноманітних умов існування.

Архегонії — жіночі статеві органи більшості вищих рослин (за винятком покритонасінних).

Асиміляція — одна зі сторін обміну речовин; сукупність процесів поглинання з довкілля, засвоєння і накопичення хімічних речовин, які слугують для синтезу сполук, необхідних клітині чи організму в цілому.

Атавізми — прояв ознак в окремих представників певного виду, притаманних їхнім предкам.

АТФ (аденозинтрифосфатна кислота) — нуклеотид, який складається із залишків нітратної основи (аденіну), вуглеводу (моносахариду рибози) та трьох молекул ортофосфатної кислоти; запасує енергію у вигляді високоенергетичних (макроергічних) хімічних зв'язків, які виникають між залишками ортофосфатної кислоти, є універсальним накопичувачем та переносником енергії в біологічних системах.

Аутбридинг — див. неспоріднене схрещування.

Аутосоми — всі хромосоми каріотипу, крім статевих.

Б

Бактеріофаги (фаги) — віруси, що паразитують у клітинах прокаріотних організмів,

Бентос — сукупність організмів, які мешкають на поверхні та у товщі дна водойм.

Білки — складні високомолекулярні природні органічні речовини, що складаються з амінокислот, сполучених пептидними зв'язками.

Біогенез — загальна назва гіпотез про життя як особливу форму матерії, яке відтворює саме себе та не може виникнути з неживих елементів.

Біогеоценоз — ділянка місцевості з однорідними умовами існування, населена взаємопов'язаними популяціями різних видів, які об'єднані між собою, та з фізичним середовищем життя, кругообігом речовин й потоком енергії; основу біогеоценозу становлять фотосинтезуючі організми — фітоценоз.

Біологічний годинник — здатність організмів реагувати на плин часу, яка зумовлена внутрішніми біологічними ритмами (певною періодичністю фізико-хімічних процесів, що відбуваються в клітинах).

Біом — сукупність різних видів і їхнього середовища життя (тобто подібних біогеоценозів) у межах певної ландшафтно-географічної зони.

Біомаса — маса особин популяції, що припадає на одиницю її площі або об'єму.

Біопродуктивність — біомаса, що створюється у певному біоценозі за одиницю часу; первинна продуктивність — біомаса, створена за одиницю часу автотрофними організмами; вторинна продуктивність — біомаса, створена за одиницю часу гетеротрофними організмами.

Біорізноманіття — різноманітність живих систем на різних рівнях організації; розрізняють біорізноманітність органічних речовин, генів, організмів (внутрішньовидове біорізноманіття), видів (міжвидове біорізноманіття), екосистем тощо.

Біосфера — частина геологічних оболонок земної кулі (атмосфери, гідросфери, літосфери), заселена живими організмами; єдина глобальна екосистема нашої планети.

Біота — сукупність різних біомів у певному біогеографічному підрозділі.

Біотехнологія — сукупність промислових методів, які застосовують у виробництві різних речовин з використанням організмів та біологічних процесів чи явищ.

Біотичні зв'язки — будь-які взаємодії між різними організмами, що впливають на їхню життєдіяльність.

Біотоп — певна ділянка біосфери з однорідними умовами існування, яку займає біоценоз.

Біоценоз — угруповання популяції організмів різних видів, які населяють певну ділянку біосфери з однорідними умовами існування (біотоп) і тісно взаємодіють між собою.

Бластула — одна зі стадій розвитку зародка багатоклітинних тваринних організмів, якою завершується процес дроблення заплідненої яйцеклітини

Близнюки — всі нащадки, що народились одночасно від однієї матері або вилупились з однієї яйцекладки: однойцеві близнюки — організми, що розвинулись із різних бластомерів однієї зиготи; різнойцеві близнюки — близнюки, що виникли із різних зигот.

В

Вакуолі — одномембранні органели; залежно від функцій розрізняють скоротливі, травні та вакуолі рослинних клітин, заповнені клітинним соком.

Віддалена гібридизація — схрещування особин, які належать до різних видів чи родів.

Вид — сукупність популяцій особин, подібних між собою за будовою, функціями, положенням у біогеоценозі (екологічна ніша), які населяють певну частину біосфери (ареал), вільно схрещуються між собою в природі, дають плідних нащадків і не гібридизуються з іншими видами.

Видоутворення — еволюційний процес виникнення нових видів.

Віруси — внутрішньоклітинні паразити, що не мають клітинної будови та становлять окреме царство Віра; прості віруси мають лише білкову оболонку; складні віруси, крім білкової, додатково оточені ліпопротеїновою поверхневою мембраною.

Воски — органічні речовини рослинного або тваринного походження, утворена з багатомолекулярних жирних кислот і вищих одноатомних спиртів.

Вуглеводи — органічні сполуки із загальною формулою $C_n(H_2O)_m$; деякі похідні вуглеводів можуть також містити Нітроген, Сульфур, Фосфор тощо..

Г

Гамети (статеві клітини) — клітини, що беруть участь у копуляції та мають порівняно із соматичними клітинами даного організму половинний набір хромосом.

Гаметогенез — процес утворення статевих клітин (гамет), який проходить послідовні стадії розмноження, росту, дозрівання та формування.

Гаметофіт — статеве покоління рослин, у яких відбувається чергування поколінь.

Гаплоїдний набір хромосом — хромосомний набір ядра, у якому всі хромосоми відрізняються між собою (умовно позначається $1n$, де n — кількість хромосом).

Гастрюла — стадія зародкового розвитку багатоклітинних тваринних організмів, наступна після бластули; зародок на стадії гаст-рули скла-

дається з двох чи трьох так званих зародкових листків і має порожнину.

Ген — ділянка молекули нуклеїнової кислоти, що містить інформацію про первинну структуру молекул поліпептиду, білка, певного типу РНК або взаємодіє з регуляторним білком; є елементарним носієм спадкової інформації.

Генеалогічний метод генетичних досліджень — установлення характеру успадкування ознак за допомогою вивчення родоводів організмів.

Генеративні клітини — клітини, призначені для статевого чи нестатевого розмноження (наприклад, гамети).

Генетика — наука про закономірності спадковості та мінливості організмів.

Генетична інженерія — галузь генетики та біохімії, яка розробляє методи перебудови геномів організмів шляхом вилучення або введення окремих генів чи їхніх груп; штучного синтезу генів тощо.

Генетичний код — властива всім живим організмам єдина система запису спадкової інформації в молекулах нуклеїнових кислот у вигляді певної послідовності нуклеотидів, яка визначає порядок уведення амінокислот до поліпептидного ланцюга під час його синтезу.

Геном — сукупність послідовностей молекул ДНК гаплоїдного набору хромосом організму певного виду.

Генотип — сукупність генетичної інформації, задоволеної в генах клітини або організму в цілому.

Генофонд — сукупність усіх генів та їхніх алелів особин певної популяції, групи популяцій або виду.

Гермафродитизм — явище, коли жіночі та чоловічі статеві клітини утворюються в одному організмі.

Гетерозигота — диплоїдна або поліплоїдна клітина (особина), гомологічні хромосоми якої вміщують різні алелі певного гена.

Гетерозис — явище, за якого перше покоління гібридів, одержаних шляхом неспорідненого схрещування, має підвищені життєздатність та продуктивність порівняно з батьками.

Гетеротрофи — організми, які споживають органічні сполуки, створені іншими істотами, але нездатні синтезувати їх з неорганічних речовин.

Гіалоплазма — безбарвна напіврідка основа цитоплазми.

Гібриди — нащадки від схрещування батьків, які відрізняються між собою набором спадкової інформації.

Гібридологічний метод у генетиці полягає в схрещуванні (гібридизації) організмів, які відрізняються за певними варіантами однієї чи кількох ознак.

Гібридологічний аналіз — дослідження характеру успадкування варіантів ознак за допомогою системи схрещувань.

Гідрофільність — здатність деяких речовин змочуватися водою.

Гідрофобність — здатність деяких речовин не змочуватися та відштовхувати воду.

Глікоген (тваринний крохмаль) — полісахарид $(C_6H_{10}O_5)_x$; полімер, що складається із залиш-

ків глюкози; резервна речовина; основна форма її зберігання у клітинах тварин, більшості грибів, багатьох бактерій та архей.

Гліколіз — друга безкиснева стадія розкладання глюкози, внаслідок чого вона перетворюється на піруват.

Глюкоза (виноградний цукор) — моносахарид ($C_6H_{12}O_6$); білі кристали, солодкі на смак, легко розчиняються у воді.

Гомеостаз — здатність біологічних систем різних рівнів організації зберігати відносну сталість складу та властивостей внутрішнього середовища за змін, що відбуваються у навколишньому середовищі.

Гомозигота — диплоїдна або поліплоїдна клітина (особина), гомологічні хромосоми якої вміщують однакові алелі певного гена.

Гомології — подібність загального плану будови органів різних видів, зумовлена їхнім спільним походженням, хоча внаслідок адаптації до тих чи інших умов існування такі органи зовні можуть значно різнитися між собою.

Гомологічні хромосоми — хромосоми однієї пари, які мають однакові розміри, будову та набір генів

Грана — розміщені один на одному тилакоїди.

Д

Дальтонізм — спадкове порушення кольорового зору людини, яке проявляється у нездатності розрізняти деякі кольори; передається зчеплено зі статтю.

Дарвінізм — гіпотеза Ч. Дарвіна, згідно з якою еволюція організмів відбувається на підставі спадкової мінливості під дією боротьби за існування, наслідком якої є природний добір.

Денатурація — процес порушення (під дією певних чинників: температури, хімічних сполук) природної структури (вторинної, третинної або четвертинної) білка, нуклеїнових кислот та деяких інших біополімерів; буває повною чи частковою, оборотною та необоротною.

Дивергенція — явище розходження ознак у нащадків спільного предка як наслідок пристосувань особин предкового виду до різних умов довкілля.

Дизруптивний добір — добір, який спрямовує мінливість у двох, рідше кількох різних напрямках, однак не сприяє середнім ступеням прояву варіантів ознак.

Диплоїдний набір хромосом (умовно позначається $2n$, де n — кількість хромосом у гаплоїдному наборі) — хромосомний набір ядра, у якому є по дві гомологічні хромосоми, що належать до кожної пари.

Дисиміляція — одна зі сторін обміну речовин; сукупність процесів, які призводять до розкладання в організмі складних хімічних сполук до простіших.

ДНК (дезоксирибонуклеїнова кислота) — нуклеїнова кислота; біополімер, мономерами якого є залишки нуклеотидів: аденіну (А), гуаніну (Г), тиміну (Т) та цитозину (Ц). Складається з двох спіральних закручених ланцюгів. Міститься в клітинах усіх організмів, а також у деяких вірусах. ДНК забезпечує кодування, зберігання та передачу спадкової інформації дочірнім клітинам під час поділу материнської.

Добові ритми — зміни інтенсивності фізіологічних процесів живих організмів, поведінки тварин тощо в різні пори доби.

Домінантні види — види, популяції яких у даному біоценозі найчисленніші.

Домінування — явище пригнічення прояву одного алеля іншим.

Дрейф генів — неспрямована зміна частот трапляння певних алелів у популяції під впливом випадкових причин.

Другий закон Менделя (закон розщеплення) — за моногібридного схрещування гібридів першого покоління між собою серед їхніх нащадків спостерігають розщеплення за фенотипом у співвідношенні 3 : 1 і за генотипом — у співвідношенні 1 : 2 : 1.

Е

Еволюційне вчення — біологічна наука про чинники (фактори), механізми, загальні закономірності та наслідки еволюції.

Еволюція — необоротний процес історичних змін живих систем.

Екологія — біологічна наука про взаємозв'язки живих організмів та їх угруповань між собою та довкіллям, про структуру та функціонування надорганізмових біологічних систем.

Екологічна ніша — притаманне кожному видові унікальне положення в біогеоценозах, яке є наслідком його взаємодії із сукупністю екологічних факторів.

Екологічна піраміда — графічне відображення трофічної структури ланцюга живлення: екологічна піраміда біомаси відображає кількісні закономірності передачі біомаси від одного трофічного рівня ланцюга живлення до іншого; екологічна піраміда енергії відображає кількісні закономірності передачі енергії від одного трофічного рівня ланцюга живлення до іншого; екологічна піраміда чисел відображає співвідношення кількості особин між різними трофічними рівнями ланцюга живлення.

Екологічні фактори — всі компоненти довкілля, які впливають на живі організми та їх угруповання: абіотичні екологічні фактори — складові неживої природи; антропогенні (антропоічні) екологічні фактори — різні форми господарської діяльності людини; біотичні екологічні фактори — різні форми взаємозв'язків між особинами в популяціях і між популяціями в угрупованнях.

Екосистема — сукупність популяцій різних видів, які взаємодіють між собою та з фізичним середовищем існування таким чином, що виникає потік енергії та кругообіг речовин.

Ектодерма — зовнішній зародковий листок багатоклітинних тварин.

Елементарні фактори еволюції — згідно із синтетичною гіпотезою, це фактори еволюції, що діють у популяціях: хвилі життя, ізоляція, дрейф генів.

Ембріон (зародок) — стадія онтогенезу, що розвивається всередині яйця, насінини чи материнського організму.

Ембріональний (зародковий) період онтогенезу — час, протягом якого новий організм (ембріон) розвивається всередині материнського організму або яйця, насінини тощо; завершується народженням (вилупленням, проростанням).

Ендемік — вид чи інша систематична група з обмеженим ареалом.

Ендоплазматична сітка — система порожнин у вигляді мікроскопічних каналців і вакуоль, що сполучаються між собою й оточені мембраною; незерниста (агранулярна) ендоплазматична сітка позбавлена рибосом, на ній синтезуються вуглеводи та ліпіди; зерниста (гранулярна) ендоплазматична сітка містить на мембранах рибосоми, за участі яких відбувається синтез білка.

Ендопаразити — паразити, що мешкають усередині організму хазяїна.

Ендосперм — тканина насіння, що містить поживні речовини для розвитку зародка.

Еукаріоти — організми (рослини, гриби, тварини), клітини яких мають ядро; становлять окреме надцарство живої природи.

Ж

Жива речовина — вся сукупність тіл живих організмів в біосфері, незалежно від їх систематичної належності.

Жири — група органічних сполук, що складаються з багатоатомних жирних кислот та багатоатомних спиртів; нерозчинні у воді.

Життєвий цикл — сукупність усіх фаз розвитку чи різних за будовою та проявами життєдіяльності поколінь організмів певного виду; відбувається між однаковими фазами розвитку двох чи більше послідовних поколінь: простий життєвий цикл завершується між двома поколіннями, які не відрізняються одне від одного; складний життєвий цикл відбувається з чергуванням різних за способом розмноження поколінь.

З

Закон гомологічних рядів спадкової мінливості — споріднені види та роди характеризуються подібними рядами спадкової мінливості так правильно, що вивчення ряду форм у межах одного виду чи роду дає можливість передбачити появу форм з подібним поєднанням ознак у межах близьких видів чи родів.

Закон одноманітності гібридів першого покоління (закон домінування) — у гібридів першого покоління у фенотипі проявляються винятково домінантні варіанти ознак.

Закон розщеплення ознак — під час схрещування гібридів першого покоління між собою серед їхніх нащадків спостерігають явище розщеплення варіантів ознак: у фенотипі 1/4 особин проявляється рецесивний, а в 3/4 — домінантний варіанти певної ознаки.

Закон чистоти гамет — у гібридного (гетерозиготного) диплоїдного організму кожна гамета містить лише один алейний ген з певної їхньої сукупності.

Запліднення — процес злиття двох гамет з утворенням зиготи: внутрішнє запліднення тварин відбувається в жіночих статевих органах; зовнішнє запліднення тварин відбувається поза статевими шляхами жіночої статевої системи.

Запилення — процес перенесення пилки з тичинки на приймочку маточки.

Зародок — див. **ембріон**.

Зигота — запліднена яйцеклітина.

Зчеплене успадкування — успадкування ознак, закодованих у генах однієї хромосоми.

І

Ідіоадаптація — зміна будови організму, яка має характер пристосування до певних умов і не змінює його рівень організації.

Ізоляція — унеможливлення схрещувань між особинами одного виду в природі; за географічної ізоляції різні популяції роз'єднані непрохідним для них географічним бар'єром; за екологічної — всередині популяції виникають певні форми (раси) з різними вимогами до умов довкілля, що унеможлиблює схрещування між ними.

Інбридинг — див. **споріднене схрещування**.

Інтерфаза — період між двома послідовними поділами клітини або від її останнього поділу до загибелі. Під час інтерфази відбуваються процеси росту, подвоєння ДНК, синтезу білків, АТФ та інших органічних сполук, розмноження мітохондрій і пластид.

К

Камедь — складний полісахарид; прозора смолиста речовина бурштинового кольору, яка виступає у деяких рослин на поверхню кори за її пошкодження.

Каріотип — специфічний для кожного виду організмів набір хромосом ядра; характеризується певною кількістю хромосом та особливостями їхньої будови.

Клітина — структурно-функціональна одиниця всіх живих організмів, для якої характерний власний метаболізм та здатність до самовідтворення.

Клітинна мембрана — структурний матеріал клітини, з якого побудована більшість органел; складається із двох шарів ліпідів, містить білки й вуглеводи.

Клітинна оболонка (стінка) — ущільнена надмембранна структура рослин (здебільшого складається із целюлози), грибів (з хітину та інших полісахаридів) та прокаріотів (у бактерій — переважно з муреїну, ціанобактерій — із целюлози).

Клітинне дихання — сукупність біохімічних реакцій живих організмів, що протікають у клітинах, у ході яких відбувається окиснення вуглеводів, ліпідів та амінокислот.

Клітинний центр — органела, що складається з двох центріолей, які розташовані в ущільненій дільці цитоплазми; бере участь в утворенні веретена поділу.

Клітинний цикл — період життя клітини від початку одного поділу до іншого або від початку останнього поділу до загибелі; складається з власне поділу та перерви між двома поділами (інтерфази).

Клітковина (целюлоза) — полісахарид ($C_6H_{10}O_5$), мономерами якого є залишки глюкози; волокниста речовина, стійка до дії води; головна складова оболонки рослинних клітин.

Клон — сукупність клітин або особин, які виникли від спільного предка нестатевим шляхом.

Кодомінування — явище, коли обидва алелі певного гена повністю проявляються у фенотипах гібридних особин.

Кодон — триплет нуклеотидів; одиниця генетичного коду в молекулі нуклеїнової кислоти, яка несе інформацію про певну амінокислоту. Послідовність кодонів у гені визначає послідовність включення амінокислотних залишків у синтезовану молекулу білка.

Комбінативна мінливість — спадкова мінливість, спричинена рекомбінаціями аельних генів.

Коменсалізм — тип взаємозв'язків різних видів, за якого один з них (коменсал) використовує їжу чи житло іншого (хазяїна), не завдаючи йому помітної шкоди.

Комплекс Гольджі — органела еукаріотної клітини; складається з укритих мембранами плоских цистерн, пухирців і каналців; накопичує, перетворює та виділяє різні речовини; бере участь в утворенні лізосом, клітинних стінок, скоротливих вакуоль та інших структур.

Комплементарність — відповідність послідовностей нуклеотидів у двох ланцюгах молекули ДНК або між нуклеотидами молекул ДНК та РНК, яка на ній синтезується; зумовлена особливостями хімічної будови відповідних нуклеотидів.

Консументи — гетеротрофні організми, які споживають інші організми або їх рештки.

Кон'югація хромосом — зближення й утворення спільної структури під час профазі-I мейозу.

Кофактор — небілкova частина складного ферменту. Кофакторами можуть бути неорганічні катіони або аніони, а також органічні речовини (коферменти), наприклад, похідні вітамінів.

Кофермент — кофактор органічної природи.

Кросинговер (перехрест хромосом) — обмін певними ділянками між гомологічними хромосомами під час кон'югації останніх у профазі першого поділу мейозу.

Крохмаль — рослинний високомолекулярний полісахарид ($C_6H_{10}O_5$); мономером — залишки глюкози; складається із амілози та амілопектину, мономером яких є глюкоза; нагромаджується у плодах, зерні, коренях і бульбах рослин як запасна форма вуглеводів.

Л

Ламаркізм — система еволюційних поглядів Ж.-Б. Ламарка про те, що в основі еволюції лежать виникнення спадкових пристосувальних змін під впливом умов довкілля та внутрішнє прагнення живих організмів до самовдосконалення (ускладнення).

Ланцюги живлення — послідовності, в яких організми одного виду, їх рештки або продукти життєдіяльності слугують об'єктом живлення для організмів іншого виду.

Лейкопласти — безбарвні пластиди різноманітної форми, в яких запасається крохмаль.

Летальний аель — аель, який, проявляючись у фенотипі, призводить до загибелі організму.

Лізосоми — оточені мембраною органели; містять ферменти, здатні розщеплювати різноманітні органічні сполуки, забезпечувати процеси внутрішньоклітинного травлення або перетравлювати групи клітин.

Ліпіди — різні за хімічною природою органічні речовини (жирні кислоти, воски, фосфоліпіди, стероїди та інші), які входять до складу живих організмів; нерозчинні у воді.

Локус — певна ділянка гомологічних хромосом, де розташовані алелі відповідного гена.

М

Макроеволюція — еволюційні процеси, що призводять до виникнення надвидових таксонів (рід, родина і т. д. аж до царства).

Мезодерма — середній зародковий листок більшості багатоклітинних тварин.

Мейоз — спосіб поділу еукаріотних клітин, унаслідок якого хромосомний набір зменшується вдвічі; мейоз відбувається шляхом двох послідовних поділів, інтерфаза між якими вкорочена або відсутня. Мейоз забезпечує сталість числа хромосом тих видів організмів, яким притаманне статеве розмноження.

Метаболізм (обмін речовин) — сукупність процесів надходження речовин із зовнішнього середовища, їхнього перетворення в організмі чи окремії клітині та видалення у довкілля продуктів життєдіяльності.

Методи біологічних досліджень — способи отримання знань про біологічні об'єкти.

Мікроеволюція — сукупність еволюційних процесів, які відбуваються у популяціях і завершуються видоутворенням.

Мінливість — здатність організмів набувати нових спадкових або неспадкових станів ознак протягом життя або історичного розвитку виду.

Мітоз — основний спосіб поділу еукаріотних клітин; супроводжується утворенням особливого апарату, який забезпечує точну передачу спадкової інформації від материнської клітини дочірнім; складається з чотирьох послідовних етапів (фаз): профазі, метафазі, анафазі й телофазі.

Мітохондрії — двомембранні органели еукаріотних клітин різноманітної форми; в них відбувається синтез АТФ.

Моделювання — метод дослідження та демонстрації структур, функцій, процесів за допомогою їхнього спрощеного відтворення (імітації).

Моніторинг — постійне стеження за перебігом певних процесів в окремих екосистемах, біосфері в цілому чи за станом інших біологічних об'єктів

Мутагени — фактори довкілля різної природи (фізичні, хімічні, біологічні), здатні спричинити мутації.

Мутації — стійкі зміни генів (точкові мутації), будови хромосом (хромосомні мутації) або кількості хромосом (геномні мутації), які виникають раптово.

Н

Нейрула — ембріон хордових на етапі нейруляції.

Нейстон — організми, які мешкають на межі водного та наземно-повітряного середовищ, населяючи поверхневу плівку води.

Нектон — організми, здатні до активного пересування в товщі води незалежно від напрямків течій.

Неповне домінування — явище, за якого домінантні алелі лише частково переважають над рецесивними.

Непрямий розвиток, або метаморфоз — тип постембріонального розвитку тварин, за якого

новонароджена особина (личинка) істотно відрізняється за будовою від дорослої.

Неспоріднене схрещування (аутбридинг) — гібридизація організмів, які не мають спільних предків протягом останніх шести поколінь; його наслідком є зростання гетерозиготності нащадків.

Нестатеві клітини — див. соматичні клітини.

Ноосфера — новий стан біосфери, за якого розумова діяльність людини стає визначальним чинником її розвитку.

Норма реакції — межі модифікаційної мінливості, які визначаються генотипом організму.

Нуклеїнові кислоти — біополімери, які складаються з мономерів (нуклеотидів); до них належать дезоксирибонуклеїнові (ДНК) та рибонуклеїнові (РНК) кислоти.

Нуклеотиди — мономерні нуклеїнових кислот, що складаються з нітрогенуісної основи, п'ятиатомного цукру та залишку орто-фосфатної кислоти.

О

Окисне фосфорилування — один з найважливіших компонентів клітинного дихання, що призводить до отримання енергії у вигляді АТФ.

Онтогенез (індивідуальний розвиток) — розвиток багатоклітинних організмів, що починається від однієї клітини (зиготи, спори тощо) чи багатоклітинного зачатка (за вегетативного розмноження) та закінчується смертю.

Оогенез — процес формування яйцеклітин.

Органели — постійні компоненти клітини певної будови, які забезпечують певні процеси життєдіяльності.

П

Паразит — вид, який тривалий час використовує організм іншого виду (хазяїна) як джерело живлення та середовище життя.

Паразитизм — тип взаємозв'язків між різними видами, за яких один з них (паразит) відносно тривалий час використовує іншого (хазяїна) як джерело живлення та середовище життя.

Партеногенез — розвиток організму з незаплідненої яйцеклітини.

Перший закон Менделя (закон одноманіття гібридів першого покоління) — за моногібридного схрещування гомозиготних особин, які відрізняються за однією парою станів ознаки, все потомство у першому поколінні одноманітне як за фенотипом, так і за генотипом.

Піноцитоз — процес поглинання рідин клітинами живих організмів.

Плазматична мембрана (плазмолема) — біологічна мембрана, що оточує цитоплазму.

Планктон — істоти: рослини — фіто-планктон чи тварини — зоопланктон, що мешкають у товщі води та нездатні протистояти течіям.

Пластиди — органиели клітин рослин і деяких одноклітинних тварин, укріті двома мембранами. Залежно від умісту пігментів поділяються на лейкопласти, хлоропласти та хромопласти.

Пластичний обмін — сукупність реакцій, які забезпечують ріст клітин та організму в цілому й оновлення їхнього хімічного складу; процеси біохімічного синтезу необхідних біологічним системам сполук.

Подвійне запліднення квіткових рослин — одночасне злиття одного спермія з яйцеклітиною, а другого — із центральною диплоїдною клітиною у зародковому мішку.

Поліплоїдний набір хромосом — хромосомний набір ядра, у якому кожна хромосома представлена трьома чи більшим числом гомологів.

Популяційні хвилі (хвилі життя) — періодичні коливання чисельності особин у популяції.

Популяція — сукупність особин виду, які тривалий час мешкають у певній частині його ареалу, частково чи повністю ізольовано від інших подібних сукупностей цього самого виду.

Порода — штучно створена внаслідок селекції популяція тварин з корисними для людини властивостями.

Постембріональний (післязародковий) період онтогенезу — період від народження (вилуплення, проростання) до набуття здатності до розмноження.

Правило екологічної піраміди — на кожному попередньому трофічному рівні ланцюга живлення кількість біомаси та енергії, що запасуються організмами за одиницю часу, значно більша (зазвичай у 10 разів), ніж на наступних.

Природний добір — рушійний фактор еволюції; процес тривалого вибіркового виживання й розмноження організмів, наслідком якого є вдосконалення адаптацій і видоутворення завдяки накопиченню та інтеграції корисних ознак.

Пріони — модифіковані білкові молекули, звичні для організму, які зазнають змін унаслідок порушення синтезу білків через мутації відповідних генів; спричиняють смертельно небезпечні захворювання людини й тварин.

Продуценти — популяції автотрофних організмів, здатних синтезувати органічні сполуки з неорганічних.

Прокаріоти — надцарство, до якого належать одноклітинні організми (бактерії, ціанобактерії), клітини яких не мають ядра та більшості інших органел; багато видів здатні утворювати колонії.

Прямий розвиток — тип постембріонального розвитку тварин, коли новонароджена особина за будовою загалом нагадує дорослу.

Р

Регенерація — процеси відновлення втрачених або ушкоджених частин, а також відтворення цілісного організму з певної його частини (репаративна регенерація); поновлення клітинного складу різних тканин та органів (фізіологічна регенерація).

Редуценти — популяції гетеротрофних організмів, які живляться органічною речовиною решток організмів чи продуктів їхньої життєдіяльності, розкладаючи її до неорганічних сполук.

Рекомбінація — нові поєднання алелів різних генів у гаметах гібридних особин, які відрізняються від таких поєднань у гаметах батьків.

Релікти — рослини й тварини, що входять до складу рослинного покриву або тваринного світу даної країни чи області як пережитки флори й фауни минулих геологічних епох.

Ренатурація — процеси відновлення природної структури певних біополімерів (білків, нуклеїнових кислот тощо), порушеної внаслідок денатурації.

Репарація — процес виправлення ушкоджень ДНК, зумовлених дією різних хімічних і фізичних факторів.

Рецесивний алель — алель, який кодує стан ознаки, що не проявляється у фенотипі гетерозиготних за цим геном особин (умовно позначається малою літерою латинського алфавіту — a, b, c, тощо).

Решітка Пеннета — двовірна таблиця, яку використовують для передбачення результатів певного схрещування. Для побудови решітки Пеннета у клітинках по горизонталі відкладають усі можливі типи гамет одного із батьківських організмів, а по вертикалі — другого. На перетині записують відповідні комбінації цих гамет, що відображають потенційні типи зигот, які можуть виникнути із однаковою імовірністю. Таким методом можна оцінити співвідношення генотипових і фенотипових класів у потомстві, за умови, що генотипи батьківських особин у схрещуванні відомі.

Рибосоми — немембранні оргanelи у вигляді сферичних тілець, до складу яких входять рРНК і білки; складаються з двох часток різного розміру (субодниць) і забезпечують біосинтез білків у клітині.

Рівні організації живої матерії — ієрархічно суупідрядні рівні організації (молекулярний, клітинний, організмий, популяційно-видовий, біогеоценотичний, біосферний) біосистем, що відображають рівні їх ускладнення.

Ріст — сукупність процесів, які забезпечують збільшення маси, розмірів, об'єму живих організмів.

РНК (рибонуклеїнові кислоти) — нуклеїнові кислоти, до складу нуклеотидів яких входять залишки нітратних основ (аденіну, гуаніну, цитозину, урацилу), рибози та ортофосфатної кислоти. Зазвичай вони складаються з одного ланцюга нуклеотидів. Розрізняють транспортні (тРНК), інформаційні, або матричні (іРНК, або мРНК), та рибосомні (рРНК) рибонуклеїнові кислоти. Входять до складу багатьох вірусних частинок.

Розщеплення ознак — прояв обох варіантів ознаки (рецесивного та доміантного) у фенотипах нащадків гібридної особини.

Розмноження — властивість організмів до відтворення собі подібних, що забезпечує неперервність і спадковість життя. Притаманна всім живим істотам.

Рудименти — органи або структури, недорозвинені чи спрощені у певних видів порівняно з подібними утворами предкових форм унаслідок втрати своїх функцій протягом філогенезу.

С

Самозародження життя — спонтанне виникнення живих організмів з речовин неживої природи.

Сапротрофи — організми, що живляться органічними рештками.

Сахароза ($C_{12}H_{22}O_{11}$) — дисахарид; білий, без запаху, кристалічний порошок із солодким смаком.

Сезонні ритми — біологічні адаптивні ритми організмів, які пов'язані із річними циклами змін кліматичних умов, що зумовлені обертанням Землі навколо Сонця.

Селекція — наука про теоретичні основи та методи створення нових і поліпшення вже існуючих сортів рослин, порід тварин та штамів мікроорганізмів.

Симбіоз — форми тісного співіснування різних видів.

Синтетична теорія еволюції — комплекс уявлень про еволюційний процес, що склався в 20–50-х роках ХХ ст. унаслідок поєднання поглядів про мутації як єдине джерело спадкової мінливості, популяцію як основу одиницю еволюції та дарвінівських уявлень про боротьбу за існування і природний добір.

Система органічного світу — класифікація усіх живих істот з урахуванням їхньої спорідненості не лише за комплексом морфологічних, фізіологічних, біохімічних та молекулярно-генетичних ознак, а й з урахуванням філогенетичної спорідненості організмів.

Смертність — число особин популяції, які гинуть за одиницю часу внаслідок старіння та елімінації.

Смерть — припинення життєдіяльності організму.

Соматичні (нестатеві) клітини — клітини, що виконують вегетативні функції та у більшості багато-клітинних організмів мають диплоїдний набір хромосом.

Сорт — штучно створена внаслідок селекції популяція рослин з корисними для людини властивостями.

Спадковість — властивість живих організмів передавати з покоління в покоління спадкові ознаки, збереження й відтворення у нащадків основних ознак зовнішньої та внутрішньої будови, фізико-хімічних особливостей і життєвих функцій батьків.

Сперматогенез — процес формування сперматозоїдів (спермій).

Сперматозоїд — чоловіча гамета, яка рухається за допомогою жгутика.

Спермій — позбавлений жгутика нерухомий сперматозоїд.

Спора — зазвичай одноклітинна репродуктивна структура, пристосована для поширення і виживання в неактивному стані за несприятливих умов протягом довгого періоду часу.

Споріднене схрещування (інбридинг) — схрещування організмів, що мають безпосередніх спільних предків протягом останніх шести поколінь; його наслідком є зростання частки гомозигот.

Спорофіт — нестатеве покоління (переважно диплоїдне) видів рослин, у яких відбувається чергування поколінь.

Стабілізуючий добір підтримує сталість певного фенотипу, найбільш відповідного до навколишнього середовища, і відкидає будь-які зміни як менш адаптаційні, тим самим звужуючи норму реакції. Проявляється у постійних умовах довкілля.

Старіння — процес поступового руйнування і втрати важливих функцій організму або його частин, зокрема здатності до розмноження і регенерації.

Статева структура популяції — співвідношення особин різних статей у певній популяції

Статеве дозрівання — процес досягнення організмом анатомічного та фізіологічного розвитку, який робить його здатним до розмноження.

Статевий процес (копуляція, запліднення) — поєднання е клітини, з якої розвиватиметься новий організм, генетичного матеріалу двох батьківських особин у формі утворення спільного ядра.

Статеві клітини — див. **гамети**.

Статеві хромосоми — пара хромосом, за якими хромосомні набори соматичних клітин чоловічих і жіночих особин того самого виду різняться між собою (позначаються X, Y, 0). Ці хромосоми визначають стать організму: у жінки — XX, у чоловіка — XY.

Сукцесії — спрямовані послідовні зміни угруповань організмів, які призводять до перетворення самого біогеоценозу.

Т

Тилакоїди — внутрішні структури хлоропластів у вигляді плоских вакуоль або мішечків.

Транскрипція (біол.) — етап синтезу білка, під час якого на молекулі ДНК синтезується молекула іРНК.

Трансляція (біол.) — етап синтезу білка, під час якого послідовність нуклеотидів у молекулі іРНК (яка слугує матрицею) перекладається у послідовність амінокислотних залишків синтезованої молекули білка.

Третій закон Менделя (закон розщеплення) — за ди- або полігібридного схрещування розщеплення за кожною ознакою відбувається незалежно від інших.

Тропізми — спрямовані ростові рухи органів рослин у відповідь на дію подразника.

Трофічні зв'язки — форма біотичних зв'язків, за якої організми одного виду безпосередньо або продукти їх життєдіяльності є об'єктом живлення для особин іншого.

Трофічний рівень — місце популяції певного виду у ланцюзі живлення.

Тургор — напружений стан клітинної стінки, зумовлений тиском на неї цитоплазми зсередини клітини.

Ф

Фагоцитоз — процес активного захоплення твердих об'єктів деякими клітинами тварин.

Фактори еволюції — фактори, які спричиняють необоротні адаптивні зміни організмів, популяцій і видів протягом існування біосфери.

Фенотип — сукупність всіх ознак і властивостей організму, що формується внаслідок взаємодії генотипу з факторами довкілля.

Ферменти — органічні каталізатори білкової природи, які утворюються в живих організмах та здатні в мільйони разів прискорювати перебіг хімічних реакцій в організмі.

Філогенез — історичний розвиток певної систематичної групи, тобто послідовний ряд її предкових форм.

Філогенетична (природна) **систематика** базується на таких принципах: усі сучасні види є нащадками вивчених форм і це забезпечує безперервність життя; видоутворення відбуваєть-

ся переважно шляхом дивергенції і кожна систематична група є монофілетичною; кожний тип (відділ) має притаманний лише йому загальний план будови, який докорінно відрізняється від інших; як існуючі, так і вимерлі види входять в єдину класифікацію живого, тобто систематичне положення виду не залежить від часу його існування.

Філогенія — біологічна наука про шляхи історичного розвитку (філогенезу) певних систематичних груп.

Фітоценологія — біологічна наука про рослинні угруповання.

Формальна (штучна) систематика — систематика, в якій для побудови системи живих організмів основним критерієм є ступінь подібності об'єктів.

Фотоперіодизм — реакція організмів на зміни тривалості світлового дня.

Фотосинтез — синтез рослинами, деякими прокаріотами та одноклітинними тваринами органічних речовин з неорганічних завдяки перетворенню світлової енергії в енергію хімічних зв'язків синтезованих сполук.

Фототрофи — автотрофні організми, які для процесів синтезу органічних сполук з неорганічних використовують енергію світла.

Фруктоза (фруктовий цукор) — моносахарид (C₆H₁₂O₆), що міститься в солодких плодах; безбарвні кристали солодкого смаку; розчинна у воді.

Х

Хемосинтез — процеси утворення органічних речовин з неорганічних хемотрофами за рахунок енергії, яка звільняється внаслідок окиснення певних неорганічних сполук.

Хемотрофи — види автотрофних прокаріотів, які для синтезу органічних речовин використовують енергію, що звільняється внаслідок хімічних реакцій.

Хижачтво — тип відносин між біологічними популяціями, за яких хижак живиться іншими організмами.

Хлоропласти — пластиди, зазвичай забарвлені в зелений колір завдяки наявності пігментів — хлорофілів; у них відбувається фотосинтез.

Хлорофіли — група пігментів зеленого кольору, які містять Магній; за їх допомогою фотосинтезуючі організми вловлюють енергію світла та здійснюють процеси фотосинтезу.

Хроматида — структурний елемент хромосоми, який формується в інтерфазі внаслідок подвоєння.

Хроматин — ниткоподібні утвори, що є комплексами з ядерних білків та нуклеїнових кислот (нуклеопротеїдів); з них складаються хромосоми.

Хромопласти — пластиди, забарвлені в різні кольори (жовтий, червоний тощо) завдяки наявності відповідних пігментів.

Хромосоми — внутрішньоядерні структури, здатні до самоподвоєння; до їхнього складу входять молекули ДНК та ядерні білки гістони.

Ц

Цикл трикарбонових кислот (цикл Кребса) — центральна частина загального шляху ката-

Ш

болізму; циклічний біохімічний процес аеробних організмів, у ході якого відбувається перетворення дво- і тривуглецевих сполук, що утворюються як проміжні продукти в живих організмах під час розпаду вуглеводів, жирів і білків до CO_2 . При цьому звільнення водень прямує у ланцюг тканинного дихання, де надалі окиснюється до води, беручи безпосередню участь у синтезі універсального джерела енергії — АТФ.

Цитоскелет — система мікротрубочок і мікрониток (мікрофіламентів) білкової природи, яка слугує опорою клітини та бере участь у її русі; елементи цитоскелета забезпечують закріплення органів у певному положенні та їхнє переміщення по клітині.

Ч

Чергування поколінь — явище, коли у життєвому циклі чергуються два або більше різних за будовою, способом життя та розмноження поколінь.

Чисельність популяції — число особин, які входять до складу популяції.

Чисті лінії — генотипно однорідні нащадки, отримані від однієї особини шляхом самозакріплення, гомозиготні за більшістю генів.

Джерела ілюстративного матеріалу

<https://uk.wikipedia.org/>; <http://sep-vb2021.blogspot.com/>; http://dxline.info/img/new_ail/enzyme.jpg; http://www.29palms.ru/photo/blog/photo_day/110515/resized/025_Blog_Pavla_Aksenova_Pingviny_Foto; http://www.icr.org/i/wide/salamander_meal_wide.jpg; <http://www.zo.utexas.edu/faculty/sjasper/images/f3.10.jpg>; <http://travel-world.pp.ua>; http://farm5.static.flickr.com/4130/4840412198_1d18d5bd43_b.jpg; <http://bilingualbiology11a.blogspot.co.uk>; <http://www.youtube.com>; <http://www.zaluk.org.ua>; <http://intranet.tdmu.edu.ua>; http://ib.bioninja.com.au/_Media/chloroplast-structure_med.jpeg; <https://i.ytimg.com/vi/BZPvVVTljZpg/maxresdefault.jpg>; http://cellstructure.pbworks.com/f/big_cytoskeletoncover.jpg; http://www.professeur-nouay.net/micro/cellule2/img/cell_wall.jpg; <http://massbaywildlife.com/files/bigstock/2015/12/Field-Mouse-Watching-In-Camera-88737518.jpg>; http://nevseoboi.com.ua/uploads/posts/2010-12/1293805801_besthdwallpaperspack116_10.jpg; <http://keywordteam.net>; <https://women-journal.com/wp-content/uploads/2013/03/deti-bliznecy>; http://worldofschool.org/public/page_images/754/2; https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fc/Jeanne_Calment_1895; https://www.mun.ca/biology/scarr/Karyotype_Hsu_1956; http://vedicpalimistry.org/files/chikatilo_left; http://sitrn.hms.harvard.edu/wp-content/uploads/2015/08/GEM_corn; <http://microbiologyonline.org/file/large/db2efb0b6ed44d4a305a37c27f2e8876.jpeg>; <http://unews.utah.edu/wp-content/uploads/2016/03/Pigeons.jpg>; <https://echino.files.wordpress.com/2012/07/strati-superp-91.jpg>; https://farm2.staticflickr.com/1108/1472277507_cd7468efe4_b.jpg; http://w3.marietta.edu/~biol/tol/images/coelacanth_1920.jpg; <http://www.visuelweb.dk/ojeDondie.jpg>; <http://konspekta.net/studopediaorg/baza/190800349627.files/image005.png>; https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/Litoria_ewingii_tadpole.jpg; http://kakt.info/uploads/posts/2015-12/1449701971_molochay.jpg; https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b9/Echinocactus_grusonii.JPG; <http://vidpovid.net.ua/wp-content/uploads/xpseqa1n.jpg>; <https://metrouk2.files.wordpress.com/2013/05/smiling-fish.jpg>; http://www.donsmaps.com/images29/heidelbergimg_1590.jpg; <https://barehumanity.files.wordpress.com/2014/01/evolution.gif>; <http://static.panoramio.com/photos/large/104590695.jpg>; http://farm9.staticflickr.com/8023/7137824845_d79c832cca_b.jpg; <http://www.virology.wisc.edu/virusworld/images/tmv-yellow.jpg>; http://www.pasteurbrewing.com/wp-content/uploads/anthrax_spores.jpg; <http://plantphys.info/organismal/lehtml/images/halobacterium.jpg>; <http://botit.botany.wisc.edu/Resources/Botany/Chlorophyta/Chlamydomonas/Chlamydomonas.jpg>; <http://www.desang.net/wp-content/uploads/2015/05/Seaweed-2.jpg>; <http://pro-natura.ro/wp-content/uploads/2014/05/Pedicularis-Lycopodium-clavatum-828x1030.jpg>; <http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/imgjul07/StentorGroup-M.jpg>; http://images.animalpicturesociety.com/images/45/spongilla_lacustris.jpg; http://macroclub.ru/gallery/data/517/IMG_93131.jpg; http://iset-pi.ge/images/easyblog_images/111/GenderDsbalance.jpg; <http://media.hamptonroads.com/cache/files/images/blogs/217221.jpg>; <http://www.bund-neckar-alb.de/typo3temp/pics/a7768bbf47.jpg>; <https://pp.vk.me/c6201n.523/v6201n.523692/9ee4/Olw-SUzOhkw.jpg>; http://theplate.nationalgeographic.com/files/2016/03/NationalGeographic_1962933.jpg; http://da100let.dn.ua/wp-content/uploads/2009/10/img_071n.53.jpg; <http://www.psychologysummaries.com>

Randy Moor, W. Dennis Clark, Kingsley R. Stern, Botany, Wm. C. Brown Communication, Inc., 1995.

Seeley R., Stephens T., Tate P. Anatomy and physiology 6th edition. McGraw-Hill; 2003.

Saladin, Kenneth S. Albert. Human Anatomy / Kenneth S., Saladin. — 1 st ed. McGraw-Hill / Higher ed., 2005.

Gerard J. Tortora, Bryan Derricson. Introduction to the Human Body. 7th edition. John Wiley & Sons; 2007.

Фотографії: Сергій Межжерін, Віктор Хіловський, Мартін Харвей (Martin Harvey).

ЗМІСТ

ВСТУП	4
§ 1. Біологія як система наук. Рівні організації біологічних систем. Методи біологічних досліджень	4
Тема 1. ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИНИ ТА БІОЛОГІЧНІ МОЛЕКУЛИ	9
§ 2. Хімічні елементи, які входять до складу живих організмів. Вода та інші неорганічні речовини клітини	9
§ 3. Прості органічні речовини клітини. Ліпіди — органічні сполуки, що не розчиняються у воді	13
§ 4. Біологічні макромолекули — біополімери. Вуглеводи	18
§ 5. Амінокислоти і білки	22
§ 6. Різноманіття білків. Ферменти — біологічні каталізатори	27
§ 7. Нуклеїнові кислоти та нуклеотиди	31
§ 8. Будова ДНК	35
<i>Лабораторне дослідження № 1</i>	39
<i>Практична робота № 1</i>	40
<i>Тестові завдання до теми 1</i>	40
Тема 2. СТРУКТУРА КЛІТИНИ	42
§ 9. Мікроскопія та інші методи дослідження клітин	42
§ 10. Будова клітини. Клітинна мембрана та клітинна оболонка	45
§ 11. Цитоплазма та її основні складові	50
§ 12. Двомембранні органели. Цитоскелет	54
§ 13. Клітинне ядро, його будова та функції. Хромосоми та каріотип	59
§ 14. Різноманітність типів будови клітини. Клітинна теорія	63
<i>Лабораторна робота</i>	67
<i>Тестові завдання до теми 2</i>	68
Тема 3. ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ КЛІТИНИ	69
§ 15. Метаболізм (обмін речовин і трансформація енергії) — одна з головних ознак живого	69
§ 16. Енергетичний обмін, або розпад величезних молекул до найдрібніших сполук	73
§ 17. Третій етап енергетичного обміну — клітинне дихання	75
§ 18. Фотосинтез — утворення органічних сполук за допомогою енергії сонячного світла	77
§ 19. Особливості метаболізму прокариотних організмів: бродіння і хемосинтез	81
<i>Тестові завдання до теми 3</i>	84
Тема 4. ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СПАДКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ	86
§ 20. Спадкова інформація, гени та геном	86
§ 21. Матричний синтез: реплікація, транскрипція, трансляція	89
§ 22. Клітинний цикл: інтерфаза і мітоз	94
§ 23. Мейоз, або редукційний поділ клітин. Рекомбінація	99
§ 24. Статеві клітини та їх утворення	103
§ 25. Розмноження. Статевий процес і запліднення	108
§ 26. Індивідуальний розвиток, або онтогенез. Ембріональний розвиток тварин і рослин	113
§ 27. Розвиток організму після народження	117
§ 28. Життєві цикли та їх різноманіття	122
<i>Лабораторне дослідження № 2</i>	126
<i>Практична робота № 2</i>	127
<i>Тестові завдання до теми 4</i>	127

Тема 5. ЗАКОНОМІРНОСТІ УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК	129
§ 29. Генетика та її методи	129
§ 30. Генетична термінологія та символіка	133
§ 31. Досліди Грегора Менделя. Перший і другий закони Менделя	136
§ 32. Решітка Пеннета. Третій закон Менделя	138
§ 33. Взємодії генів	141
§ 34. Хромосомна теорія спадковості. Зчеплене успадкування. Кросинговер	146
§ 35. Стать з точки зору генетики. Успадкування ознак, зчеплених зі статтю	150
§ 36. Мінливість організмів	153
§ 37. Теорія мутацій. Види мутацій і причини їх виникнення	157
§ 38. Генетика людини й медична генетика	162
<i>Лабораторне дослідження № 3</i>	167
<i>Практична робота № 2</i>	168
<i>Проект 1</i>	169
<i>Тестові завдання до теми 5</i>	169
Тема 6. ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ	171
§ 39. Світоглядні та наукові погляди на походження та історичний розвиток життя	171
§ 40. Виникнення еволюційної теорії. Теорії Ж. Б. Ламарка та Ч. Дарвіна	175
§ 41. Докази реальності еволюції	178
§ 42. Синтетична теорія еволюції. Фактори еволюції	184
§ 43. Мікроеволюція. Вид і видоутворення	188
§ 44. Макроеволюція та її закономірності	193
§ 45. Еволюція і походження людини	199
<i>Тестові завдання до теми 6</i>	204
Тема 7. БІОРИЗНОМАНІТТЯ	206
§ 46. Система органічного світу	206
§ 47. Віруси: межа між живим і неживим	209
§ 48. Прокаріотні організми: бактерії та археї	214
§ 49. Головні групи еукаріотних організмів	218
<i>Практична робота № 4</i>	223
<i>Тестові завдання до теми 7</i>	224
Тема 8. НАДОРГАНІЗМОВІ БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ	225
§ 50. Екологія — наука про довкілля	225
§ 51. Екологічні фактори та їх дія на живі організми	228
§ 52. Популяція та її властивості. Біологічні адаптивні ритми	231
§ 53. Екологічна система	235
§ 54. Потоки речовини та енергії. Ланцюги живлення й трофічні рівні	239
§ 55. Динаміка та продуктивність екосистем	242
§ 56. Біосфера та біогеохімічні цикли	247
§ 57. Біосфера, її сучасний стан і збереження	251
<i>Проект 2</i>	254
<i>Тестові завдання до теми 8</i>	255
Тема 9. БІОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ	257
§ 58. Одомашнення та селекція	257
§ 59. Біотехнології. Клітинна інженерія та клонування	261
§ 60. Генетична інженерія і трансгенні організми	265
§ 61. Сучасні біотехнології в медицині	268
<i>Тестові завдання до теми 9</i>	272
УЗАГАЛЬНЕННЯ	274
§ 62. Спільні властивості живих систем	274
Додаткова література та інтернет-сторінки для поглиблення і розширення знань	276
Короткий словник біологічних термінів	277

Навчальне видання

МЕЖЖЕРІН Сергій Віталійович
МЕЖЖЕРІНА Ярослава Олександрівна

БІОЛОГІЯ

**Підручник для 9 класу
загальноосвітніх навчальних закладів**

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Головний редактор *Ярослав Гринчишин*
Редактор *Віктор Хіхловський*
Літературне редагування: *Людмила Олійник, Оксана Давидова*
Дизайнер обкладинки *Віталій Нехай*

Виготовлено згідно із СОУ 22.2-02477019-07:2012
Формат 70×100/16. 23,33 ум. др. арк., 22,30 обл.-вид. арк. Тираж 10212. Замовлення № 11-17
Видавець і виготовлювач Редакція газети «Підручники і посібники»
46000, м. Тернопіль, вул. Поліська, 6а. Тел.: (0352) 43-15-15; 43-10-21.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 4678 від 21.01.2014 р.

Надруковано з готових файлів на ПрАТ «Львівська книжкова фабрика «Атлас»
79005, м. Львів, вул. Зелена, 20
тел. (0352) 276-45-80
atlas_book_2@ukr.net

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 1110 від 08. 11.2002 р.