видавництво Генеза

БІОЛОГІЯ

9

Л.І. ОСТАПЧЕНКО, П.Г. БАЛАН,
В.П. ПОЛІЩУК

БІОЛОГІЯ

Підручник для 9 класу закладів загальної середньої освіти

2-ге видання, перероблене

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України

Київ
«Генеза»
2022

ДОРОГІ ДЕВ'ЯТИКЛАСНИЦІ ТА ДЕВ'ЯТИКЛАСНИКИ!

Протягом попередніх років навчання ви ознайомилися з різноманітним світом організмів: бактерій, рослин, грибів, тварин. Ви також докладно вивчали будову та процеси життєдіяльності людини як біосоціальної істоти.

У 9-му класі ви ознайомитеся з досягненнями біологічних наук, які вивчають хімічний склад організмів, будову та функціонування клітин і тканин, особливості індивідуального розвитку організмів, закономірності спадковості та мінливості. Ви дізнаєтеся про загальні закономірності, притаманні різним представникам живої природи, та різні рівні організації живої матерії; узагальните знання, набуті упродовж попередніх років навчання.

Ми впевнені, що набуті знання допоможуть вам краще зорієнтуватися у складному, різноманітному й надзвичайно цікавому світі живих істот, які нас оточують, зрозуміти їхні взаємозв'язки із середовищем мешкання. Сподіваємося, ви збагнете надзвичайну потребу оберігати навколишнє природне середовище та поліпшувати його стан, охороняти та раціонально використовувати природні ресурси. Вам буде цікаво дізнатися про сучасні досягнення біотехнології, генної та клітинної інженерії, адже від їхнього розвитку залежить вирішення таких нагальних проблем людства, як забезпечення продовольством, розроблення нових лікарських препаратів, здійснення заходів з охорони навколишнього природного середовища, збільшення тривалості життя людини.

Крім основного матеріалу, підручник містить і додатковий, певним чином виокремлений у тексті. Це цікаві та корисні відомості з різних галузей біології.

Включені в текст підручника наскрізні змістові лінії: ***«Громадянська відповідальність»***, ***«Здоров'я і безпека»***, ***«Екологічна безпека і сталий розвиток»*** і ***«Підприємливість і фінансова грамотність»***, мають своє навчальне навантаження, спрямоване на формування відповідних ключових компетентностей.

Важливою складовою уроку біології є лабораторні дослідження, лабораторні та практичні роботи. Вони допоможуть вам самостійно засвоїти потрібні знання, сформувати спеціальні та практичні вміння. Формуванню навичок самостійної роботи, умінь пошуку потрібної інформації в додаткових джерелах слугуватимуть навчальні проєкти.

Отже, успіху вам у пізнанні складного та цікавого світу організмів! Сподіваємося, що знання, які ви здобудете, вивчаючи біологію, стануть вам у пригоді в подальшому житті.

Автори

ВСТУП

У вступі ви дізнаєтесь про:

- основні методи досліджень у біології;
- рівні організації живої матерії.

§1. БІОЛОГІЯ – КОМПЛЕКСНА НАУКА ПРО ЖИВУ ПРИРОДУ. РІВНІ ОРГАНІЗАЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Пригадайте, що таке біологічні системи. Які ознаки притаманні рослинам, грибам, бактеріям і тваринам? За допомогою яких методів досліджують одноклітинні та багатоклітинні організми? Що таке популяція, екосистема, колообіг речовин?

Біологія – комплексна наука про живу природу. Ви вже знаєте, що біологія досліджує різні прояви життя. Як самостійна природнича наука біологія зародилася до нашої ери (*пригадайте*, які вчені стояли біля її витоків). Вважають, що вперше термін «біологія» навів у своїй праці видатний шведський учений **Карл Лінней** (1707–1778) ще 1736 року (*пригадайте* внесок цього вченого у розвиток біології). Але стале його застосування пов'язують з працями німецького ученого **Г. Р. Тревірануса** та французького **Ж.-Б. Ламарка**, які вийшли з друку 1802 року (мал. 1.1).

Мал. 1.1. 1. **Жан-Батіст Ламарк** *(1744–1829)*. 2. **Готфрід Рейнхольд Тревіранус** *(1766–1837)*

Протягом попередніх років навчання у школі ви ознайомилися з основами таких біологічних наук, як ботаніка, мікологія, зоологія, анатомія й фізіологія людини та ін. Цього навчального року ви дізнаєтеся про досягнення інших біологічних наук: біохімії, цитології, вірусології, біології індивідуального розвитку, генетики, екології, еволюційного вчення тощо. Дані цих і багатьох інших біологічних наук дають змогу вивчати закономірності, властиві всім біологічним системам.

Біологія має тісні зв'язки з іншими природничими та гуманітарними науками (мал. 1.2). *Пригадаймо*: ***природничими*** називають науки, які вивчають об'єкти, процеси та явища як живої, так і неживої природи. Крім біології, до природничих наук відносять фізику, хімію, географію, геологію тощо. Гуманітарні науки, натомість, досліджують

людину, як суспільну істоту, та її діяльність. Прикладами гуманітарних наук є історія, філософія, педагогіка, філологія, мистецтвознавство тощо (*завдання*: самостійно за допомогою літературних та інтернет-джерел доповніть перелік як природничих, так і гуманітарних наук та схарактеризуйте їх).

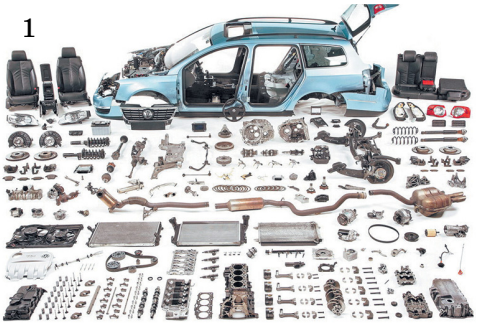
Науки, що виникли в результаті взаємодії біології з іншими науками	
Біохімія	наука про хімічний склад організмів і хімічні процеси, які в них відбуваються; виникла унаслідок взаємодії біології з хімією
Біофізика	наука про фізичні процеси, які перебігають у біологічних системах різного рівня організації та про вплив на біологічні об'єкти різних фізичних чинників; виникла внаслідок взаємодії біології з фізикою
Біогеографія	наука про поширення організмів; результат взаємодії біології з географією
Соціоекологія	вивчає закономірності взаємодії людського суспільства та навколишнього природного середовища; виникла внаслідок взаємодії екології з гуманітарними науками
Антропологія	наука про походження та еволюцію людини як особливого біосоціального виду; виникла внаслідок взаємодії біології людини з гуманітарними науками
Медицина	наука про здоров'я людини та його збереження, запобігання захворюванням, самі захворювання, методи їхньої діагностики та лікування; використовує дані біологічних наук про людину (анатомії, фізіології, генетики людини тощо)
Космічна біологія	вивчає особливості функціонування живих істот в умовах космічних апаратів; сформувалася завдяки успіхам різних природничих наук (фізики, математики, кібернетики, хімії та інших)
Біоніка	досліджує особливості будови та життєдіяльності організмів з метою створення різних технічних систем і приладів
Радіобіологія	наука про вплив різних видів іонізуючого випромінювання на живі системи різних рівнів

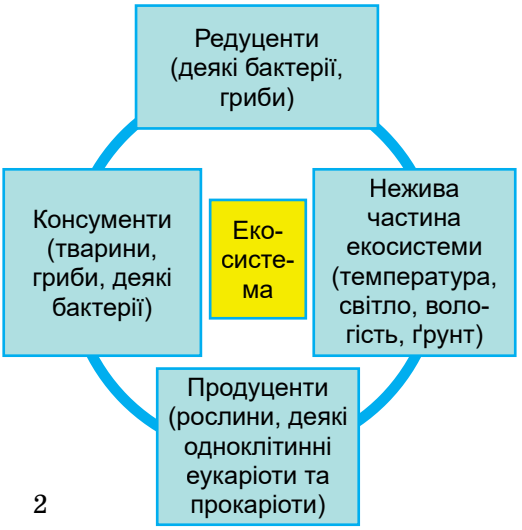
Мал. 1.2. Приклади біологічних наук, які виникли в результаті взаємодії біології з іншими науками. ***Завдання.*** *Використовуючи різні джерела інформації, доповніть схему*

Отже, *сучасна біологія* – це система наук про життя на різних рівнях його організації; її головні завдання – пізнання суті життя та дослідження біологічних систем різного рівня організації.

Поняття про біологічні системи. *Пригадаймо*: ***системою*** (від давньогрец. *система* – ціле, складене з частин) називають сукупність

1





2

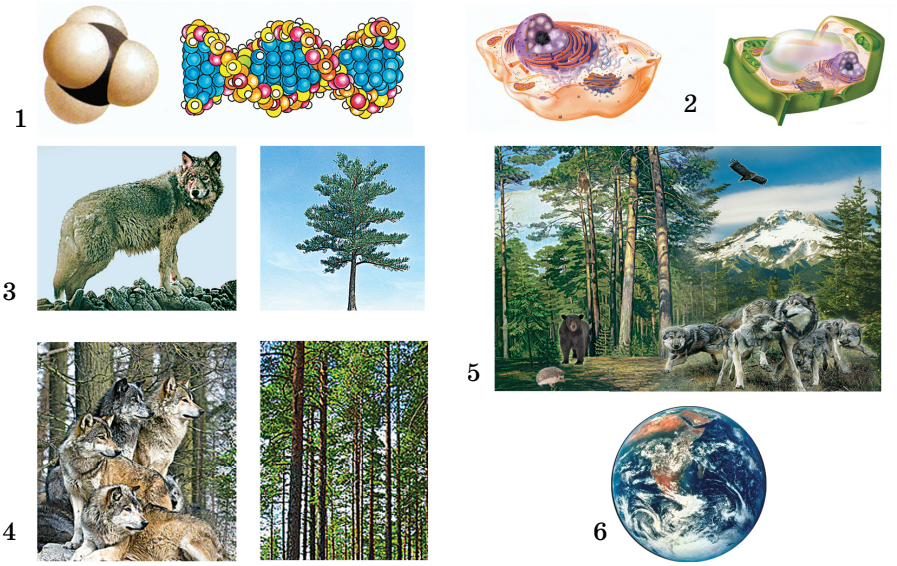
Мал. 1.3. Поняття емерджентність можна проілюструвати на прикладі автомобіля *(1)*. Він складається з багатьох деталей, кожна з яких характеризується своїми властивостями та призначенням. Але тільки цілісному автомобілю притаманні такі властивості, як певна швидкість, кількість витраченого палива за певний відтинок часу, зручність керування тощо. ***Завдання:*** *проілюструйте поняття емерджентність на прикладі екосистеми (2); для цього проаналізуйте властивості її структурних компонентів*

взаємопов'язаних елементів, які утворюють певну цілісність. ***Біологічні системи***, як й інші типи систем, складаються з окремих компонентів, що виконують у них певні функції. Прикладом простих біологічних систем є віруси: до їхнього складу входять білкові молекули (вони утворюють оболонку вірусної частинки) та молекули, які кодують спадкову інформацію. Прикладом біологічної системи високого рівня організації є біосфера: її компонентами слугують окремі екосистеми нашої планети.

Крім цілісності, важливою властивістю є ***емерджентність*** (від англ. *emergence* – виникнення нового): властивості системи не є простою сумою властивостей її компонентів. Іншими словами – завдяки взаємодії окремих елементів, з яких складається система, в неї виникають властивості, відсутні в її окремих компонентах (мал. 1.3).

Рівні організації живої матерії. Жива матерія може перебувати на різних рівнях організації, що поступово сформувалися у процесі еволюції: молекулярному, клітинному, організмовому, популяційно-видовому, екосистемному й біосферному. Усі рівні організації живої матерії взаємопов'язані між собою: нижчі рівні організації живої матерії входять до складу вищих. Відповідно й біологічні системи, які сформувалися на нижчих рівнях, є компонентами біологічних систем вищого рівня (мал. 1.4).

- На **молекулярному рівні** відбуваються біохімічні процеси й перетворення енергії в біологічних системах, а також зберігається, змінюється і реалізується спадкова інформація. На молекулярному рівні існують, наприклад, віруси.
- Для **клітинного рівня** характерно те, що клітина – це біологічна система, здатна до самостійного функціонування та самовідтворення.



Мал. 1.4. Рівні організації живої матерії: 1 – молекулярний; 2 – клітинний (клітини складаються з молекул); 3 – організмовий (багатоклітинні організми складаються з клітин); 4 – популяційно-видовий (популяції складаються з окремих особин, а види – з популяцій); 5 – екосистемний (екосистеми складаються з різних видів організмів та неживої природи); 6 – біосферний (біосфера – сукупність усіх екосистем планети)

У кожній клітині як одноклітинних, так і багатоклітинних організмів відбувається обмін речовин і перетворення енергії, зберігається та реалізується спадкова інформація. Клітини здатні до розмноження.

- **Організмовий рівень.** У багатоклітинних організмів під час індивідуального розвитку клітини спеціалізуються за будовою та виконуваними функціями, часто формуючи *тканини* (у вищих рослин і більшості багатоклітинних тварин). З тканин формуються *органи*. Різні органи взаємодіють між собою в процесі обміну речовин та перетворення енергії, формуючи *системи органів*. Цим забезпечується функціонування цілісного організму як інтегрованої біологічної системи (в одноклітинних організмів організмовий рівень організації збігається з клітинним).
- **Популяційно-видовий рівень.** Усі організми належать до певних *біологічних видів*. Організми одного виду мають спільні особливості будови та процесів життєдіяльності, подібні екологічні вимоги до середовища життя. Вони здатні залишати плодючих нащадків. Сукупність особин одного виду, що тривалий час існує більш або менш відокремлено від інших подібних угруповань цього виду, утворює *популяцію*.
- **Екосистемний рівень.** Популяції різних видів, які населяють спільну територію, взаємодіють між собою та із чинниками неживої природи, входять до складу надвидових біологічних систем – *екосистем*. Для екосистемного рівня характерні постійні потоки енергії між популяціями різних видів, а також постійний обмін речовиною між живою та неживою частинами екосистем, тобто *колообіг речовин*.

Біосферний рівень. Усі екосистеми нашої планети разом утворюють *біосферу* – частину оболонок Землі, населених організмами. Біосфера становить єдину глобальну екосистему нашої планети.

У процесі еволюції відбувалося ускладнення різних рівнів організації життя, а відповідно – й біологічних систем, які сформувалися на цих рівнях.

Біологія – провідна наука XXI сторіччя. Ми всі розуміємо, що без сучасних досягнень біології неможливий прогрес аграрних наук, охорони здоров'я, біотехнології тощо.

Біологія нині відіграє надзвичайно важливу роль в існуванні людського суспільства. Результати біологічних досліджень потрібні для:

- збереження здоров'я людини, а також лікування та профілактики захворювань свійських тварин;
- забезпечення людини продовольством;
- збереження та поліпшення стану навколишнього природного середовища й раціонального використання природних ресурсів.

За участі вчених-біологів досягнуто значного прогресу у своєчасному діагностуванні різноманітних захворювань людини, свійських тварин і культурних рослин, їхній профілактиці та лікуванні, створенні високоефективних ліків. Сучасні дослідження в галузі молекулярної біології та генетики дали змогу розшифрувати склад генетичної інформації багатьох організмів і визначити, де у молекулах ДНК розташовані ті чи інші гени, а також з'ясувати їхні функції. Це дозволяє виявляти дефектні гени, які спричиняють спадкові захворювання, та замінювати їх на нормальні копії. Завдяки досягненням у галузі біотехнології створено сучасні методики, які дають змогу використовувати різні види мікроорганізмів для очищення навколишнього середовища від забруднення, створювати потрібні людині продукти (ліки, продукти харчування тощо).

Ключові терміни і поняття: **біологія, біологічні системи, рівні організації живої матерії.**

Перевірте здобуті знання

1. Коли виник термін «біологія»? 2. Що таке біологічна система? Наведіть приклади біологічних систем, що перебувають на різних рівнях організації живої матерії. 3. Які ви знаєте рівні організації живої матерії? Що для них характерно? 4. Яке значення біології для існування людського суспільства?

Поміркуйте. Чим можна пояснити різноманітність рівнів організації живої матерії?

Обговоріть у групах. Використовуючи різноманітні джерела інформації, схарактеризуйте основні етапи розвитку біології.

§2. ОСНОВНІ МЕТОДИ БІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Пригадайте, за допомогою яких методів досліджують одноклітинні та багатоклітинні організми. Яка будова та правила роботи зі світловим (оптичним) мікроскопом.

Живу матерію на різних рівнях організації досліджують різними методами. Головні з них – порівняльно-описовий, експериментальний, моніторинг і моделювання.

Порівняльно-описовий метод започаткував видатний давньогрецький учений Аристотель. Ним користуються і тепер, описуючи нові для науки види організмів, процеси чи явища. Наприклад, замало просто описати новий вид організмів. Щоб довести унікальність цього виду, його потрібно порівняти з іншими, подібними до нього видами, про які у науці було відомо раніше. Те саме стосується і описання інших об'єктів, процесів чи явищ. Важливо, що порівнювати об'єкти дослідження можна лише в межах певного рівня організації (наприклад, певну молекулу порівнювати з іншими молекулами, клітини – з іншими клітинами тощо).

Експериментальний метод полягає в тому, що дослідники активно втручаються в будову об'єктів досліджень, перебіг різних процесів, явищ і спостерігають наслідки такого втручання. Експерименти бувають польові та лабораторні.

Польові експерименти здійснюють у природних умовах: наприклад, на експериментальних ділянках вивчають дію певних речовин на ріст рослин, випробовують заходи боротьби зі шкідниками, досліджують вплив господарської діяльності людини на природні екосистеми тощо.

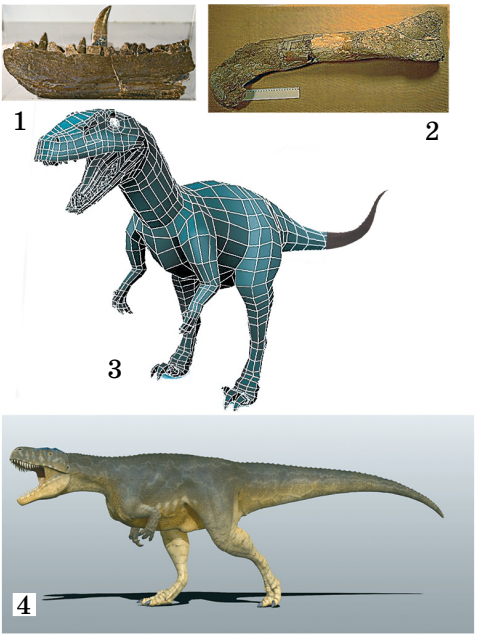
Лабораторні експерименти проводять у спеціально обладнаних приміщеннях (*лабораторіях*). У таких дослідженнях часто використовують піддослідні організми, яких учені штучно розводять та утримують.

Завдання Оберіть дві рослини одного виду та приблизно однакових розмірів. Одну рослину поливайте лише відстояною водою, іншу – з додаванням мінеральних добрив (додавати у воду в мінеральні добрива слід згідно з рекомендаціями, які додають до таких добрив). Періодично раз на тиждень вимірюйте висоту рослин і відзначайте їхній стан. Результати досліджень записуйте у зошит. Наприкінці досліду (наприклад, через місяць) зробіть підсумковий висновок, у якому поясніть отримані результати.

Моніторинг – постійне стеження за перебігом певних процесів в окремих популяціях, екосистемах, біосфері в цілому чи за станом певних біологічних об'єктів. Моніторинг дає змогу визначати стан певних об'єктів, популяцій, екосистеми та біосфери в цілому, прогнозувати можливі негативні зміни, аналізувати їхні наслідки і своєчасно розробляти заходи щодо їхньої охорони. Наприклад, здійснюючи моніторинг умісту карбон(IV) оксиду (вуглекислого газу) в атмосфері, можна припустити, як це впливатиме на зміни клімату нашої планети.

Завдання Під керівництвом учительки/вчителя протягом року проведіть моніторинг за змінами видового складу птахів вашої місцевості. З`ясуйте, які види першими відлітають у вирій, які – згодом; зверніть увагу, які види залишаються зимувати, хто з них чисельно переважає. Навесні визначте, які мігруючі види птахів прилітають першими, а які – згодом. Наприкінці досліджень зробіть висновки й запишіть їх у зошит.

Моделювання – метод дослідження та демонстрування структур, функцій, процесів за допомогою їхньої спрощеної імітації. Моделювання є обов'язковим етапом багатьох наукових досліджень, оскільки дає змогу вивчати об'єкти та процеси, які неможливо безпосередньо спо-



Мал. 2.1. 1 – фрагмент нижньої щелепи хижого динозавра мегалозавра, який пересувався на задніх кінцівках (жили в середині юрського періоду (181–169 млн років тому); частини скелетів знайдено в Англії, Франції та Португалії); 2 – стегнова кістка мегалозавра; 3 – один з етапів створення тривимірної моделі мегалозавра; 4 – відтворений вигляд мегалозавра

стерігати чи відтворювати експериментально. За допомого моделювання вчені прогнозують можливі наслідки різних процесів або явищ, створюють певні ідеальні об'єкти чи явища й порівнюють з ними реальні. Результати, отримані за допомогою згаданих методів, обробляють, використовуючи математично-статистичний аналіз.

Про важливість моделювання можуть свідчити такі факти. Під час проведення палеонтологічних досліджень учені часто виявляють лише окремі кістки (або навіть фрагменти кісток) тварин, які мешкали в колишні геологічні епохи. Використовуючи сучасні комп'ютерні технології, учені можуть створювати повні 3D моделі таких істот, які дають змогу отримати уявлення про будову цих тварин (мал. 2.1). Така модель є прикладом *статичної моделі*, яка, на відміну від *динамічної*, не дає можливості досліджувати процеси, що відбуваються в біологічних системах, і прогнозувати їхні наслідки. Прикладом динамічних моделей є акваріум, який імітує водну екосистему, та математичні моделі.

Завдання У школі знайдіть приклади статичних (наприклад, моделі будови квітки, організму тварини або людини) та динамічних (як-от акваріум) моделей. Зробіть висновки, яку інформацію можна отримати, вивчаючи обрані вами моделі. Висновки запишіть у зошит.

Цікаво знати

Фахівці здатні створювати моделі біологічних систем різного рівня організації: від молекулярного до біосферного. Моделювання структури білкових молекул використовують у фармакології (наприклад, під час створення лікарських препаратів), медицині (виявлення такої структури білкових молекул, яка здатна спричинити захворювання людини), біотехнології (як-от створення ефективних ферментів для забезпечення біотехнологічних процесів) тощо. На клітинному рівні проводять моделювання як будови окремих видів клітин, так і процесів обміну речовин, які в них відбуваються або можуть відбуватись. На організмовому рівні дослідники здатні моделювати будову як окремих органів, так і систем органів та процесів, які в них відбуваються, а також хімічну будову організмів (за допомогою вчительки/вчителя поясніть, яке це має наукове та практичне значення).

Математичне моделювання в біології – сукупність математичних методів аналізу складних кількісних взаємозв'язків і закономірностей у біологічних системах (мал. 2.2). Його здійснюють за допомогою комп'ютерної техніки, яка дає змогу зберігати величезні обсяги інформації і швидко їх обробляти з використанням спеціальних програм. За допомогою математичного моделювання, наприклад, можна вивчати взаємозв'язки організмів у екосистемах (як-от, залежність чисельності популяції рослиноїдної тварини від чисельності популяції хижака, залежність змін чисельності популяцій від кліматичних змін чи впливу діяльності людини).

ЕТАПИ СТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Послідовно висувають робочу гіпотезу та формулюють запитання, відповіді на які повинна дати створювана модель

↓

Розробляють відповідний математичний апарат; за його допомогою отримують певні дані

↓

Порівнюють одержані дані з результатами спостережень та експериментів, перевіряючи правильність моделі

Мал. 2.2. Етапи створення математичної моделі

Статистичний метод. Маса зібраних фактів, не оброблених статистично, всебічно не проаналізованих, не дає змоги виявити всю інформацію, яка в цих фактах міститься, встановити певні закономірності. Математичне оброблення потрібне для визначення ступеня достовірності отриманих результатів і правильного їхнього узагальнення. Застосування математично-статистичних методів сприяло перетворенню біології з описової науки на точну, яка базується на чіткому математичному аналізі одержаних даних.

Статистично достовірну закономірність у біології можна вважати ***правилом*** або ***науковим законом***.

Біологічні закони **– закономірності, що зазвичай не мають винятків і можуть тлумачитись лише певним чином.**

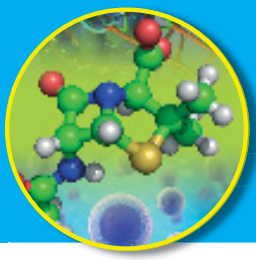
Завдання Пригадайте закони, які ви вивчали з інших предметів.

Ключові терміни і поняття: **моніторинг, описовий та експериментальний методи, моделювання, біологічні закони.**

Перевірте здобуті знання

1. Які ви знаєте методи досліджень у біології? 2. Чому під час описання нових для науки видів організмів учені обов'язково застосовують порівняльно-описовий метод? 3. Чому сучасні біологічні дослідження не можуть обходитись без застосування методу моделювання?

Поміркуйте. Які винаходи людства сприяли розвитку біології?



ТЕМА 1. ХІМІЧНИЙ СКЛАД КЛІТИНИ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- молекулярний рівень організації живої матерії;
- будову, властивості та функції основних груп органічних сполук: ліпідів, вуглеводів, білків, нуклеїнових кислот, біологічно активних речовин;
- роль органічних сполук у забезпеченні життєдіяльності організмів.

§3. ВОДА ТА ЇЇ ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ. ІНШІ НЕОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ

Пригадайте, що спільного між живою та неживою природою. Який хімічний зв'язок називають ковалентним?

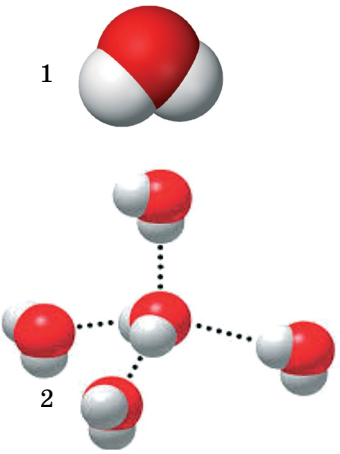
Науку, що вивчає хімічний склад організмів, будову, властивості та роль виявлених у них сполук, шляхи їхнього виникнення та перетворення, називають *біологічною хімією*, або *біохімією*.

Важливий внесок у становлення та подальший розвиток біохімії зробили українські вчені **О. Я. Данилевський, О. В. Палладін, Я. О. Парнас** та інші.

Одне з головних завдань біохімії – з'ясування механізмів регуляції життєдіяльності клітин та організму в цілому, які забезпечують єдність процесів обміну речовин і перетворення енергії в організмі.

Серед усіх хімічних сполук виняткова роль у забезпеченні процесів життєдіяльності організмів належить воді. **Вода** утворює основу внутрішнього середовища організмів. У водному середовищі відбуваються процеси обміну речовин і перетворення енергії. Вода бере безпосередню участь у реакціях розщеплення органічних сполук. Уміст води в організмах становить близько 60–70 %, а в деяких випадках – до 98 % (як-от, у медуз). Цитоплазма більшості клітин містить приблизно 80 % води.

Структура, властивості та функції води. Воді притаманні унікальні хімічні й фізичні властивості. Ви знаєте, що молекула води (H_2O) складається з двох атомів Гідрогену, сполучених з атомом Оксигену ***ковалентними зв'язками*** (мал. 3.1, 1). На полюсах молекули води є позитивний і негативний заряди, тобто вона *полярна*. Завдяки цьому дві сусідні молекули води зазвичай взаємно притягуються за рахунок сил електростатичної взаємодії між негативним зарядом атома Оксигену однієї молекули та позитивним зарядом атома Гідрогену іншої. При цьому виникає ***водневий зв'язок*** (мал. 3.1, 2), який у 15–20 разів слабший за ковалентний. Коли вода перебуває в рідкому стані, її молекули безперервно рухаються, і водневі зв'язки постійно то розриваються, то виникають знову. Доклад-



Мал. 3.1. 1. Молекула води складається з атома Оксигену та двох атомів Гідрогену (масштабна модель). 2. Схема утворення водневих зв'язків між молекулами води (позначені крапками)

ніше про водневий зв'язок ви незабаром дізнаєтеся на уроках хімії.

Частина молекул води формує водну оболонку навколо деяких сполук (наприклад, білків), запобігаючи їхній взаємодії. Таку воду називають ***зв'язаною***, або ***структурованою*** (4–5 % загальної кількості води в організмах). Решта води (95–96 %) має назву ***вільної***: вона не пов'язана з іншими сполуками.

- ***Залежно від температури середовища вода здатна змінювати свій стан***. За зниження температури вода з рідкого стану може переходити у твердий, а за підвищення – у газуватий.
- ***Молекулам води притаманна здатність до іонізації***, коли вони розщеплюються на йони Гідрогену та гідроксид-іону. При цьому між молекулами води та йонами встановлюється динамічна рівновага:

$$H_2O \leftrightarrows H^+ + OH^-$$

- ***Вода визначає фізичні властивості клітин*** – їхній об'єм і внутрішньоклітинний тиск (*тургор*). Порівняно з іншими рідинами, у неї відносно високі температури кипіння, плавлення та випаровування, що зумовлене взаємодією між сусідніми молекулами води.
- ***Вода – універсальний розчинник***. Тому всі речовини поділяють на такі, що добре розчиняються у воді (*гідрофільні*, або полярні), та нерозчинні (*гідрофобні*, або неполярні). До гідрофільних сполук належить багато кристалічних солей, наприклад кухонна сіль (NaCl), а також глюкоза, фруктоза тощо. Вони часто містять полярні (частково заряджені) групи, здатні взаємодіяти з молекулами води. Гідрофобні речовини (майже всі ліпіди, деякі білки) містять неполярні групи, які не взаємодіють з молекулами води ($-CH_2$, $-CH_2CH_3$). Такі сполуки розчиняються переважно в неполярних розчинниках (хлороформ, бензол).

Існують й *амфіфільні речовини*, наприклад, фосфоліпіди (сполуки ліпідів із залишками ортофосфатної кислоти), ліпопротеїди (сполуки ліпідів з білками), багато білків. Одна частина молекули цих сполук виявляє гідрофільні властивості, інша – гідрофобні.

Проникнення речовин у клітину та виведення з неї продуктів життєдіяльності можливе здебільшого в розчиненому стані.

- ***Вода бере участь у транспорті різних сполук*** в організмах. Розчини органічних і неорганічних речовин рослини транспортують по провідних тканинах або міжклітинниках. У тварин таку функцію виконують кров, лімфа, тканинна рідина тощо.
- ***Вода бере участь у складних біохімічних перетвореннях***. Наприклад, за участі води розщеплюються органічні сполуки з приєднанням до місць розривів йонів H^+ та OH^-. Перебіг багатьох біологіч-

них процесів можливий саме завдяки утворенню й руйнуванню водневих зв'язків.

● ***З водою пов'язана здатність організмів регулювати свій тепловий режим.*** Їй властива висока теплоємність, тобто здатність поглинати тепло за незначних змін власної температури. Завдяки цьому вода запобігає різким змінам температури у клітинах та організмів у цілому за різких її коливань у навколишньому середовищі. Оскільки на випаровування води витрачається багато теплоти, організми в такий спосіб захищають себе від перегрівання (наприклад, випаровування води в рослин, потовиділення у ссавців, випаровування вологи зі слизових оболонок тварин).

Теплоємність **– кількість тепла, потрібна для нагрівання тіла або середовища на 1 °С.**

● Завдяки високій теплопровідності ***вода забезпечує рівномірний розподіл теплоти між тканинами та органами організму*** через кровообіг, лімфообіг, рух розчинів по тілу рослин тощо.

Елементарний хімічний склад організмів. З-понад 120 різних типів атомів хімічних елементів в організмах виявляють понад 60. Одні з них є обов'язковими в усіх організмів, інші – лише в окремих.

Хімічні елементи, частка яких становить майже 99,9 %, наприклад, Гідроген, Карбон, Нітроген, Оксиген, Кальцій, Калій, Натрій, Ферум, Магній, Сульфур, Хлор,Фосфор, належать до **макроелементів**. Серед них Гідроген, Карбон, Нітроген та Оксиген називають **органогенними елементами**, оскільки саме їх найбільше у складі органічних сполук (сумарна частка становить майже 98 % хімічного вмісту живих істот). Близько 60 хімічних елементів належать до **мікроелементів** (Йод, Кобальт, Манган, Купрум, Молібден, Цинк тощо), адже їхній уміст у клітині становить лише від 10^{-12} % до 10^{-3} %.

Хімічні елементи, що містяться в клітині, входять до складу органічних і неорганічних сполук або перебувають у вигляді йонів.

Цікаво знати

Утворення кристаликів льоду в клітинах організмів руйнує клітинні структури. Це призводить до загибелі клітин і всього організму. Саме тому ссавців і людину неможливо заморозити, а потім – розморозити без утрати здатності відновити процеси життєдіяльності.

Вода під впливом розчинених у ній речовин може змінювати свої властивості.

В організмах не виявлено жодного з хімічних елементів, якого б не було в неживій природі. Це одне зі свідчень *єдності живої і неживої природи*.

Ключові терміни та поняття: **макроелементи, мікроелементи, гідрофільні, гідрофобні, амфіфільні сполуки.**

Перевірте здобуті знання

1. Яка будова молекули води? 2. Чому воду вважають універсальним розчинником? 3. Які властивості води як основи внутрішнього середовища орга-

нізмів? 4. Яка роль води в процесах обміну речовин в організмах? 5. Які сполуки належать до гідрофільних, а які – до гідрофобних? 6. На які групи поділяють хімічні елементи залежно від їхнього відсоткового вмісту в складі живих істот?

Поміркуйте. Чому вчені вважають, що життя на нашій планеті виникло саме у водному середовищі?

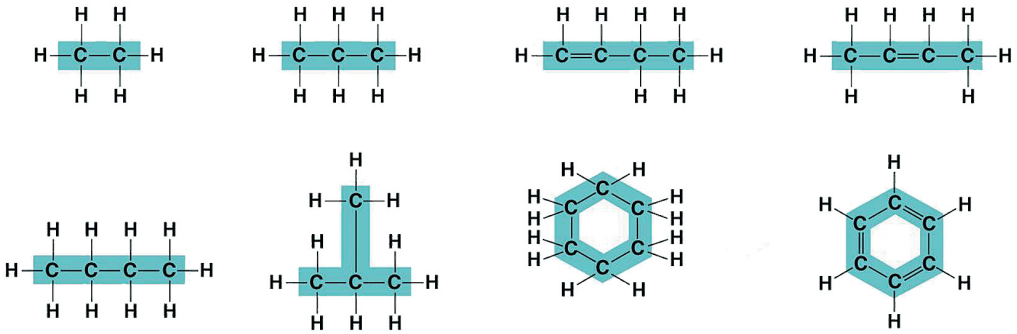
Творче завдання. Використовуючи різні джерела інформації, підготуйте повідомлення про воду як важливий природний ресурс.

§4. ПОНЯТТЯ ПРО ОРГАНІЧНІ РЕЧОВИНИ. ЛІПІДИ ТА ВУГЛЕВОДИ

Пригадайте, які елементи відносять до органогенних. Чим відрізняються між собою гідрофільні та гідрофобні сполуки? Які функції жирів в організмах? Які функції в організмі людини виконують гормони кори надниркових залоз і статеві гормони? Що таке глікокалікс?

Ви вже знаєте з курсу хімії, що всі хімічні сполуки поділяють на неорганічні та органічні (*пригадайте,* чим вони відрізняються).

Органічні речовини – це сполуки Карбону з іншими елементами, що виникли в живих істотах. У складі органічних сполук переважають органогенні хімічні елементи: Гідроген, Оксиген, Нітроген і Карбон. Ковалентно зв'язані атоми Карбону утворюють ланцюжки, кільця або ряди кілець – так званий **скелет молекули** (мал. 4.1).



Мал. 4.1. Скелети різних органічних сполук, утворені атомами Карбону. Зверніть увагу, кожен атом Карбону може утворювати чотири ковалентних зв'язки з іншими атомами та сполуками

До складу клітин входять різні органічні сполуки: ліпіди, вуглеводи, білки, нуклеїнові кислоти тощо. Їхні молекули можуть мати високу молекулярну масу, складаючись з великої кількості однакових чи різних за хімічною будовою ланок (простих молекул) – ***мономерів***. Такі сполуки називають ***біополімерами*** або ***макромолекулами***. Наприклад, молекули білків складаються із залишків амінокислот; молекули нуклеїнових кислот – із залишків нуклеотидів, а складних вуглеводів (полісахаридів) – із залишків моносахаридів.

Особливу групу органічних сполук становлять *біологічно активні речовини*: ферменти, гормони, вітаміни тощо. Вони впливають на про-

цеси обміну речовин і перетворення енергії. Багато з них забезпечують гуморальну регуляцію процесів життєдіяльності різноманітних істот.

Огляд основних класів органічних сполук почнемо з ліпідів.

Різноманітність ліпідів. **Ліпіди** – переважно гідрофобні органічні сполуки. Серед ліпідів розрізняють прості та складні. До **простих ліпідів** належать речовини, які побудовані зі сполучених між собою залишків жирних кислот і спиртів, наприклад жири та воски.

Жири – складні речовини, утворені триатомним спиртом гліцеролом і трьома залишками жирних кислот. Вони відкладаються у вигляді жирових включень у рослинних і тваринних клітинах (*наведіть приклади організмів, у клітинах яких відкладаються жири*).

Мал. 4.2. Воски вкривають поверхню плодів і входять до складу кутикули листків (1); з восків медоносна бджола будує стільники (2)

Воски виконують здебільшого захисну функцію. У ссавців віск виділяють сальні залози шкіри: він надає шкірі еластичності та зменшує зношення волосяного покриву. У водоплавних птахів віск виділяє куприкова залоза, розташована над основою хвоста. Її секрет надає пір'яному покриву водовідштовхувальних властивостей. Восковий шар вкриває листки наземних рослин (мал. 4.2, 1) і поверхню зовнішнього скелета членистоногих – мешканців суходолу, запобігаючи надлишковому випаровуванню води з поверхні тіла. Добре розвинені восковидільні залози є в черевці медоносних бджіл-робітниць (мал. 4.2, 2).

Складні ліпіди – сполуки, які утворюються внаслідок взаємодії молекул простих ліпідів з іншими речовинами. До них належать ліпопротеїди (сполуки ліпідів і білків), гліколіпіди (ліпідів і вуглеводів), фосфоліпіди (ліпідів і ортофосфатної кислоти).

Стероїди – біологічно активні речовини тваринного, рідше – рослинного походження. Стероїдну природу, зокрема, мають статеві гормони людини – естрогени (жіночі) та андрогени (чоловічі), а також гормони надниркових залоз (кортикостероїди). Один з найвідоміших стероїдів – *холестерин*. В організмі людини він слугує попередником під час синтезу статевих гормонів. Холестерин синтезується у печінці, як вам уже відомо, він входить до складу жовчі.

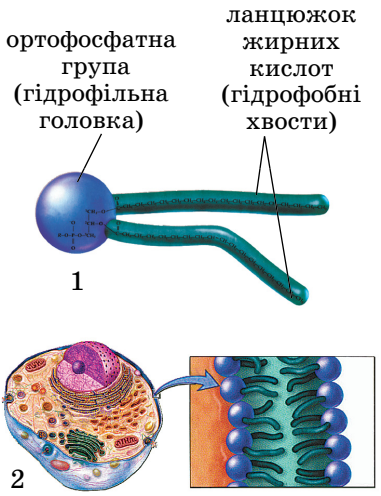
Функції ліпідів. Одна з найважливіших функцій ліпідів – ***енергетична***. У разі повного розщеплення 1 г жирів виділяється 38,9 кДж енергії.

Не менш важлива ***будівельна***, або ***структурна, фунція*** ліпідів. Так, фосфоліпіди є важливою складовою клітинних мембран (мал. 4.3). У цих амфіфільних сполук одна частина виявляє гідрофільні властивості, інша – гідрофобні.

Резервна функція полягає в тому, що ліпіди містяться в цитоплазмі

клітин у вигляді включень (наприклад, клітини жирової тканини, насіння соняшнику тощо). Запаси жирів в організмі можуть використовуватись по-різному: як резервні поживні речовини та як *джерело метаболічної води* (під час окиснення 1 г жирів утворюється майже 1,1 г води).

Запаси жиру в організмі можуть виконувати й ***захисну функцію***. Зокрема, захищають внутрішні органи від механічних ушкоджень. Накопичуючись у підшкірній жировій клітковині тварин – мешканців прохолодного клімату (китів, тюленів, пінгвінів та ін.), жири захищають організм від дії низьких температур (***теплоізоляційна функція***). Ця функція жирів зумовлена їхньою низькою теплопровідністю.



Мал. 4.3. 1. Будова молекули фосфоліпідів. 2. Розташування фосфоліпідів у складі клітинної мембрани

Важлива й ***регуляторна функція ліпідів***. Ліпідну природу мають деякі біологічно активні речовини: стероїдні гормони, вітаміни групи D. Вони беруть участь у регуляції життєвих функцій організмів: обміну речовин у тварин і людини, процесу линяння у комах тощо.

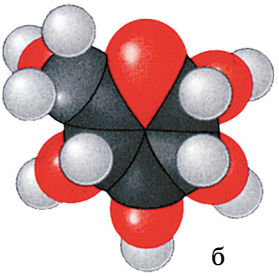
Будова та властивості вуглеводів. **Вуглеводи** – це сполуки, у яких співвідношення елементів C, H, O здебільшого відповідають формулі $(CH_2O)_n$, де n дорівнює трьом і більше. У клітинах тварин вуглеводи містяться в незначній кількості (близько 1 % сухої маси, у клітинах печінки та м'язів – до 5 %). У рослинних клітинах їхній уміст значно більший (до 60–90 %).

Залежно від кількості мономерів, що входять до складу молекул, вуглеводи поділяють на моносахариди, олігосахариди та полісахариди.

Моносахариди здебільшого мають загальну формулу $C_nH_{2n}O_n$. Вони можуть містити від 3 до 10 атомів Карбону. У природі найпоширеніші моносахариди, що містять 5 (рибоза і дезоксирибоза) та 6 атомів Карбону (глюкоза, фруктоза та ін.) тощо (мал. 4.4). Моносахариди мають солодкий присмак, добре розчиняються у воді.

$C_6H_{12}O_6$

а

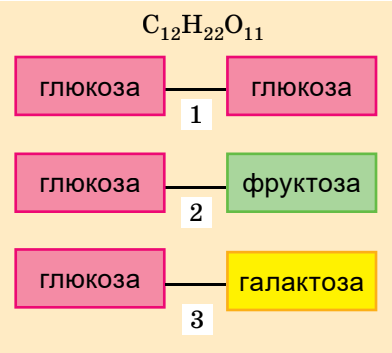


б

Мал. 4.4. Моносахарид глюкоза: *а* – молекулярна формула; *б* – просторова модель

Моносахариди, до складу яких входить п'ять атомів Карбону, називають *пентозами*, шість – *гексозами*.

Олігосахариди – полімерні вуглеводи, у яких моносахаридні ланки (від двох до десяти) з'єднані ковалентним зв'язком. Досить поширені *дисахариди*, утворені сполученням залишків двох молекул моносаха-



Мал. 4.5. Схема будови дисахаридів $C_{12}H_{22}O_{11}$: 1 – мальтоза; 2 – сахароза; 3 – лактоза

ридів. Приклади дисахаридів: мальтоза (солодовий цукор), сахароза (буряковий або тростинний цукор), лактоза (молочний цукор), трегалоза (грибний цукор) (мал. 4.5). Вони мають солодкий присмак і також добре розчиняються у воді.

Полісахариди – це біополімери, молекулярна маса деяких з них може сягати кількох мільйонів. Приклади полісахаридів: крохмаль, целюлоза, глікоген, пектин, лігнін, хітин та ін. Вони майже не розчиняються у воді й не мають солодкого присмаку.

Вуглеводи можуть вступати у зв'язок з іншими сполуками. Такі вуглеводи називають складними. Приклади: глюкопротеїди (сполуки вуглеводів з білками), гліколіпіди (сполуки вуглеводів з ліпідами).

Функції вуглеводів у біологічних системах.

- ***Енергетична функція***: під час розщеплення 1 г полісахаридів або олігосахаридів до моносахаридів виділяється енергія – 17,6 кДж.
- ***Резервна функція***: полісахариди можуть відкладатись у клітинах про запас, найчастіше у вигляді зерен. У клітинах рослин відкладається крохмаль, у клітинах тварин і грибів – глікоген. Ці запасні сполуки є резервом поживних речовин та енергії.
- ***Будівельна (структурна) функція***: вуглеводи входять до складу певних клітинних структур. Так, нітрогенумісний полісахарид хітин є у складі зовнішнього скелета членистоногих і клітинної стінки справжніх грибів; клітинні стінки рослин утворені із целюлози (мал. 4.6). Клітинні стінки рослин і грибів, які містять полісахариди, захищають уміст клітин та підтримують їхню форму.

Мал. 4.6. Будівельна (структурна) функція вуглеводів: 1 – целюлоза у складі клітинних оболонок рослин; 2 – хітин у складі кутикули членистоногих

До складу надмембранних структур клітин тварин (глікокаліксу) входять вуглеводи, пов'язані з білками та ліпідами.

- ***Захисна функція***: полісахариди пектини здатні зв'язувати деякі токсини та радіонукліди, запобігаючи потраплянню їх у кров. Гепарин, який запобігає зсіданню крові, синтезує один з різновидів лейкоцитів. Крім того, гепарин підвищує проникність судин, стійкість організму до нестачі кисню, впливу вірусів і токсинів, знижує рівень цукру в крові. Тому його застосовують як лікувальний препарат.

Ключові терміни та поняття: **органічні сполуки, макромолекули, біополімери, мономери, ліпіди, вуглеводи, моносахариди, олігосахариди, полісахариди.**

Перевірте здобуті знання

1. Чим органічні сполуки відрізняються від неорганічних? 2. Які ви знаєте основні класи органічних сполук? 3. Що таке ліпіди? Які основні групи ліпідів ви знаєте? 4. Які властивості та функції ліпідів у організмах? 5. Що таке вуглеводи? Які ви знаєте основні класи вуглеводів? 6. Які властивості та основні функції вуглеводів в організмах різних істот? 7. Які вуглеводи та ліпіди належать до складних?

Поміркуйте. 1. В організмі верблюдів відкладаються значні запаси жиру, при окисненні якого утворюється вода (її називають метаболічною). Але ці тварини мешкають у спекотних пустелях, де температура вдень може сягати до +40 °С і вище. Сині кити здебільшого мешкають у прохолодних водах і значні запаси підшкірного жиру захищають їхнє тіло від переохолодження. Чим відрізнятиметься характер розподілу жирових відкладень у тілі цих тварин? 2. Чому паразити внутрішніх органів тварин і людини (наприклад, кишківника) часто запасають велику кількість глікогену, на відміну від тих видів, які мешкають на покривах хазяїна, у кровоносній чи дихальній системах?

§5. БІЛКИ, ЇХНЯ СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ

Пригадайте, що таке макромолекули, мономери й біополімери. Яка роль білків у житті організмів? Що таке гемоглобін і ферменти, які їхні функції?

Серед органічних сполук білки відіграють провідну роль. Вони часто переважають у клітинах і в кількісному відношенні: приміром, у клітинах тварин їхній вміст становить до 40–50 % сухої маси, а рослин – до 20–35 %.

Будова білків. **Білки** – високомолекулярні біополімери, мономерами яких є залишки амінокислот. ***Амінокислоти*** – органічні кислоти, що містять *аміногрупу* ($-NH_2$), якій притаманні лужні властивості, та *карбоксильну групу* ($-COOH$) з кислотними властивостями. Ці групи, як і атом Гідрогену, зв'язані з одним і тим самим атомом Карбону. Є у складі амінокислот і групи, якими вони різняться. Їх називають *радикалами* (R-групами). У різних амінокислот вони неоднакові за хімічною будовою. Загальна формула амінокислоти має вигляд:

$$NH_2 - \underset{\underset{R}{|}}{\overset{\overset{H}{|}}{C}} - COOH$$

Загалом відомо понад 600 амінокислот, але до складу білків зазвичай входить лише 20 *стандартних* (їх ще називають *протеїногенними*); від *протеїни* (прості білки, що складаються лише із залишків амінокислот) та грец. *генезис* – походження), які є майже в усіх білках (*таблиця 1*). Крім стандартних амінокислот, які кодуються особливою системою кодування спадкової інформації – ***генетичним кодом*** (детальніше про неї ви дізнаєтесь згодом), у складі білків

Таблиця 1

Назви стандартних амінокислот та їхні скорочені позначення

Повна назва амінокислоти	Скорочена назва амінокислоти		Повна назва амінокислоти	Скорочена назва амінокислоти
Аланін	Ала		Лейцин	Лей
Аргінін	Арг		Лізин	Ліз
Аспарагін	Асн		Метіонін	Мет
Аспарагінова кислота	Асп		Пролін	Про
Валін	Вал		Серин	Сер
Гістидин	Гіс		Тирозин	Тир
Гліцин	Глі		Треонін	Тре
Глутамін	Глн		Триптофан	Три
Глутамінова кислота	Глу		Фенілаланін	Фен
Ізолейцин	Іле		Цистеїн	Цис

трапляється й багато *нестандартних*. Вони здебільшого виникають унаслідок змін у хімічній структурі стандартних амінокислот.

Різні комбінації стандартних і нестандартних амінокислот забезпечують нескінченну різноманітність білкових молекул (число можливих варіантів – понад $2 \cdot 10^{18}$). Зокрема, в організмі людини трапляється понад 5 млн типів білкових молекул. Молекула кожного певного білка характеризується специфічними складом і послідовністю розташування амінокислотних залишків, які надають їй неповторних функціональних властивостей.

Цікаво знати

Назва амінокислоти часто відображає назву субстрату, з якого її було виділено, або певні її властивості. Наприклад, аспарагін уперше виявлено в рослині аспарагусі (холодок), гліцин названо завдяки солодкому присмаку (від грец. *глікос* – солодкий).

Амінокислоти поділяють на замінні та незамінні. *Замінні амінокислоти* організму людини і тварин здатні синтезуватися з продуктів обміну речовин. Натомість *незамінні амінокислоти* в організмі людини і тварин не синтезуються, вони надходять разом з їжею. Їх синтезують інші організми: рослини, гриби, бактерії. Білки, які містять усі незамінні амінокислоти, називають *повноцінними*, на відміну від *неповноцінних*, до складу яких не входять окремі незамінні амінокислоти.

Залишки амінокислот у складі білків сполучені між собою міцним ковалентним зв'язком, який виникає між карбоксильною групою однієї амінокислоти та аміногрупою іншої. Цей тип зв'язку називають ***пептидним*** (від грец. *пептон* – зварений). Завдяки такому міцному

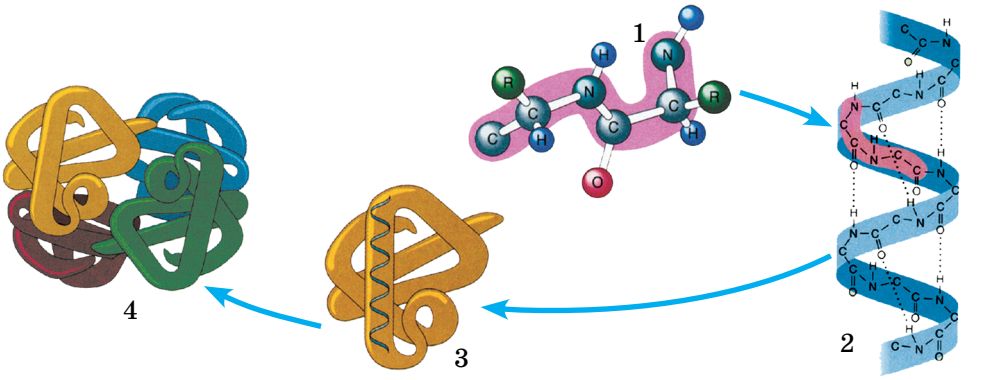
зв'язку утворюється сполука, що складається із залишків двох амінокислот – *дипептид*. Структури, які складаються з великої кількості залишків амінокислот (від 6–10 до декількох десятків), належать до *поліпептидів* (пептидний зв'язок позначено кольором):

$$\ldots NH_2 - \underset{\underset{R_1}{|}}{CH} - \underset{\underset{O}{\|}}{C} - \underset{\underset{H}{|}}{N} - \underset{\underset{R_2}{|}}{CH} - \underset{\underset{O}{\|}}{C} - \underset{\underset{H}{|}}{N} - \underset{\underset{R_3}{|}}{CH} - COOH\ldots$$

Поліпептиди з високою молекулярною масою (від 6000 до кількох мільйонів[1]) називають **білками**. Вони складаються з одного або декількох поліпептидних ланцюгів і можуть містити до кількох тисяч амінокислотних залишків.

Рівні просторової організації білків. Відомо чотири рівні просторової організації білків: первинний, вторинний, третинний і четвертинний (мал. 5.1)[2].

Первинну структуру білків визначає певна послідовність амінокислотних залишків, з'єднаних за допомогою пептидних зв'язків (мал. 5.1, 1). Первинна структура зумовлює властивості та функції білкової молекули.



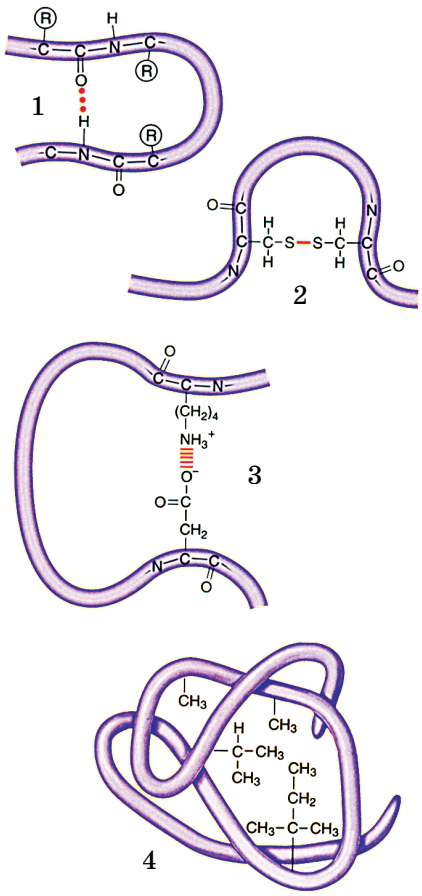
Мал. 5.1. Рівні просторової організації білкових молекул: 1 – первинний; 2 – вторинний; 3 – третинний; 4 – четвертинний

Для виконання специфічних функцій молекула білка має набути більш складної структури, зокрема, ***вторинної***. При цьому молекула частково чи повністю скручується в спіраль завдяки водневим зв'язкам, які виникають між атомами Гідрогену NH-групи одного витка такої спіралі та Оксигену CO-групи іншого (мал. 5.1, 2). Хоча водневі зв'язки значно слабші за пептидні, однак разом вони формують досить міцну структуру.

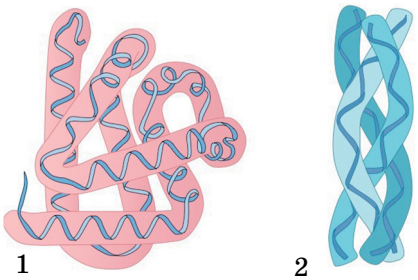
Третинна структура зумовлена здатністю поліпептидної спіралі певним чином закручуватися, зазвичай у грудку, або ***глобулу***

[1] Молекулярну масу вимірюють у дальтонах (1 дальтон відповідає 1/12 атомної маси ізотопу Карбону ^{12}C, тобто $1{,}67 \cdot 10^{-24}$ г).

[2] Певне просторове розташування атомів у складі молекули називають конформацією (від лат. *конформаціо* – просторове розташування).



Мал. 5.2. Зв'язки, які підтримують просторові організації білкової молекули: 1 – водневі; 2 – дисульфідні; 3 – йонні взаємодії; 4 – гідрофобні взаємодії



Мал. 5.3. Глобулярна (1) та фібрилярна (2) структура білків

(мал. 5.1, 3). Насамперед це відбувається завдяки зв'язкам, що виникають між залишками амінокислоти цистеїну (мал. 5.2, 2). Це так звані дисульфідні зв'язки. Підтримання третинної структури також забезпечують гідрофобні, електростатичні та інші взаємодії, а також водневі зв'язки (мал. 5.2, 1, 3, 4). *Гідрофобні взаємодії* – це сили взаємного тяжіння між неполярними ділянками молекул у водному середовищі. Гідрофобні залишки усяких амінокислот у водному середовищі зближуються, наче «злипаються», та стабілізують структуру білка. Глобулярна структура додатково стабілізується *йонними взаємодіями*, які виникають між позитивно та негативно зарядженими хімічними групами молекули.

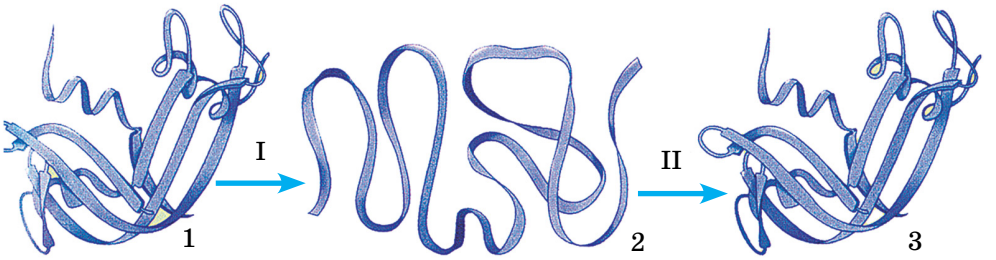
Молекули білка, яким притаманна третинна структура, можуть мати не тільки глобулярну форму, а й ***фібрилярну*** (ниткоподібні) (мал. 5.3).

Четвертинна структура білків виникає, коли об'єднуються кілька глобул. Наприклад, молекула гемоглобіну складається із чотирьох залишків молекул білка міоглобіну (мал. 5.1, 4). Підтримання четвертинної структури забезпечують гідрофобні, електростатичні та інші взаємодії, а також водневі зв'язки (мал. 5.2).

Цікаво знати

З'ясувавши первинну структуру білкової молекули учені здатні моделювати складнішу її просторову будову та властивості, прогнозуючи функції таких молекул на тому чи іншому рівні структурної організації.

Залежно від хімічного складу білки поділяють на прості та складні. **Прості**, або *протеїни*, складаються лише з амінокислотних залишків, а **складні**, або *протеїди*, у молекулах містять також небілкові компо-



Мал. 5.4. Денатурація (I) та ренатурація (II) білкової молекули: 1, 3 – активні молекули білка, 2 – неактивна молекула білка

ненти – залишки ортофосфатної та нуклеїнових кислот, вуглеводів, ліпідів, атоми Феруму, Цинку, Купруму тощо.

Властивості білків. Функціональні властивості білків зумовлені їхнім амінокислотним складом і просторовою структурою. Фібрилярні білки зазвичай нерозчинні у воді й виконують структурну (наприклад, кератин входить до складу волосся людини або шерсті тварин) або рухову (скоротливі білки) функції. Натомість глобулярні білки здебільшого водорозчинні та виконують в організмі інші функції: наприклад, гемоглобін забезпечує транспорт газів, пепсин – розщеплення білків їжі, імуноглобуліни (антитіла) – захисну.

Одна з основних властивостей білків – їхня здатність під впливом різних чинників (дія концентрованих кислот і лугів, високої температури тощо) змінювати свою структуру і властивості. Процес порушення природної структури білків, який супроводжується розгортанням білкової молекули без зміни її первинної структури, називають **денатурацією** (мал. 5.4, I). Здебільшого денатурація необоротна. Але якщо на початкових стадіях денатурації припиняється дія чинників, що призвели до неї, білок може відновити свій початковий стан. Це явище називають **ренатурацією** (мал. 5.4, II). В організмів оборотна денатурація часто пов'язана з виконанням певних функцій білковими молекулами: забезпеченням рухів, передачею до клітини сигналів із зовнішнього середовища, прискоренням біохімічних реакцій тощо. Необоротний процес руйнування первинної структури білків називають **деструкцією**.

Ключові терміни та поняття: **поліпептиди, глобулярні та фібрилярні білки, денатурація, ренатурація, деструкція.**

Перевірте здобуті знання

1. Яка будова амінокислот? 2. Що таке поліпептиди та білки? 3. Які амінокислоти називають замінними та незамінними? 4. Як амінокислоти сполучаються в поліпептидний ланцюг? 5. Що таке прості та складні білки? 6. Які ви знаєте рівні просторової організації молекул білків? 7. Які властивості притаманні білкам?

Поміркуйте. 1. Що спільного та відмінного в процесах денатурації та деструкції? 2. Чому відсутність у раціоні білків тваринного походження негативно впливає на життєдіяльність організму людини?

§6. ОСНОВНІ ФУНКЦІЇ БІЛКІВ. ФЕРМЕНТИ, ЇХНЯ РОЛЬ У КЛІТИНІ

Пригадайте, які ви знаєте органели. Що таке ендосперм, хромосоми, антитіла та антигени? Що таке катіони та аніони? Із чого складаються глікопротеїди? Які клітини належать до еукаріотичних?

Різноманітність білкових молекул визначає різноманітність їхніх функцій в організмах.

- ***Будівельна,*** або ***структурна, функція*** полягає в тому, що білки є обов'язковим складовим компонентом клітинних мембран. З білків також складаються структури скелета клітин, які закріплюють у певному положенні органели або ж забезпечують їхнє пересування по клітині. Білки входять до складу майже всіх інших клітинних структур.

Пригадаймо: головним компонентом хрящів і сухожиль є пружний і міцний білок колаген. Білок еластин, що міститься у зв'язках, має здатність розтягуватись. Пружності кісткам надає білок осеїн; білок кератин входить до складу похідних шкіри тварин і людини (таких як кігті, нігті, роги, копита, волоски), надаючи їм міцності. Головним компонентом шовкових ниток і павутиння є білок фіброїн (мал. 6.1).

- ***Захисна функція білків.*** *Пригадаймо*: імуноглобуліни (або антитіла), які утворюються в організмі хребетних тварин і людини – спеціалізовані білки, здатні «розпізнавати» та знешкоджувати сторонні для організму сполуки – антигени. Якщо антитіла специфічні (певне антитіло виробляється у відповідь на надходження певного антигену), то інтерферони – це неспецифічні захисні білки: вони можуть захищати організм проти різних антигенів. Тому на їхній основі виготовляють лікарські препарати проти збудників різних інфекційних захворювань.

Білки крові (наприклад, тромбопластин, тромбін, фібриноген) беруть участь у процесах її зсідання, в утворенні тромбів, запобігаючи крововтратам при ушкодженні стінок кровоносних судин (мал. 6.1, 2).

- ***Сигнальна функція білків*** полягає у тому, що окремі складні білки (глікопротеїди) клітинних мембран здатні «розпізнавати» специфічні хімічні сполуки і певним чином на них реагувати. Зв'язуючи їх або змінюючи свою структуру, вони тим самим передають сигнали про ці речовини на інші ділянки мембрани або всередину клітини. Ця функція білків забезпечує важливу властивість клітин – подразливість.

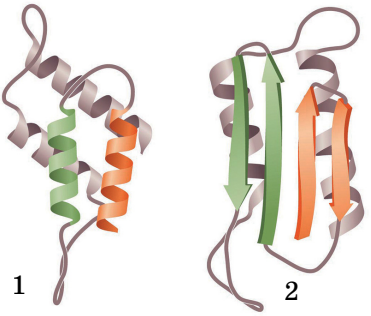
- ***Скорочувальна,*** або ***рухова, функція білків.*** Деякі білки забезпечують здатність клітин, тканин чи цілого організму змінювати фор-

Мал. 6.1. Структури, до складу яких входять білки: 1 – павутиння; 2 – кров'яний згусток (тромб); 3 – пера павича; 4 – волосся людини

му, рухатись. Наприклад, скоротливі білки актин і міозин, які входять до складу м'язових клітин, забезпечують їхню знатність до скорочення. Скоротливий білок тубулін входить до складу органел руху клітин еукаріотів джгутиків і війок.

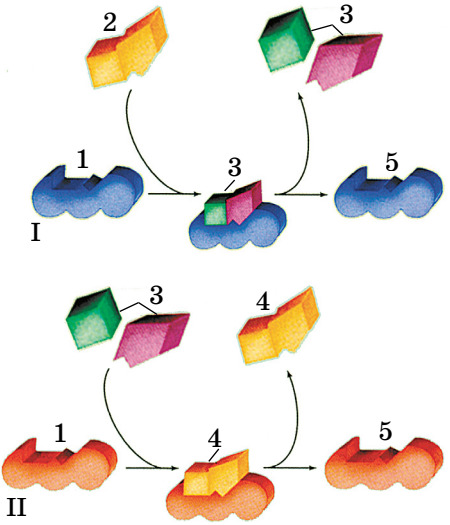
Цікаво знати

Пріони – білкові інфекційні молекули, які становлять небезпеку для здоров'я та життя людини і багатьох представників тваринного світу. Білковим молекулам, з яких утворені пріони, притаманні незвичні біологічні властивості. Вважають, що пріони виникають унаслідок змін у структурі звичних для організму білків (мал. 6.2). Проникаючи до інших клітин (нервової системи, лімфоцитів тощо) і впливаючи на процеси формування їхніх білків, пріони зумовлюють появу в них подібних інфекційних агентів. Отже, у звичайного білка та пріонного, який виник внаслідок змін у структурі першого, амінокислотний склад подібний, але структура різна.



Мал. 6.2. Нормальний білок (1); пріонний білок (2)

- ***Резервна функція білків.*** Білки, що відкладаються про запас, можуть слугувати резервом поживних речовин для організму (білки в яйцеклітинах тварин, клітинах ендосперму рослин). Ці білки зародок споживає на перших етапах свого розвитку.
- ***Транспортна функція білків.*** Ви вже знаєте, що гемоглобін – дихальний пігмент крові людини, хребетних і багатьох безхребетних тварин. Його молекули здатні утворювати нестійкі сполуки з киснем і транспортувати його до всіх органів і клітин, забезпечуючи процеси клітинного та тканинного дихання. Білки, вбудовані в плазматичну мембрану, забезпечують транспорт речовин у клітину та з клітини назовні.
- ***Функція протистояння несприятливим температурам.*** У плазмі крові деяких риб містяться білки, що запобігають її замерзанню в умовах низьких температур, діючи як своєрідний антифриз.
- ***Регуляторна функція.*** Білкову природу мають певні гормони та



Мал. 6.3. Механізм дії ферментів.
I. Фермент (1) тимчасово сполучається з речовиною (2) і забезпечує її розщеплення на простіші сполуки (3).
II. Фермент (1) вступає у тимчасовий комплекс із двома молекулами (3) і забезпечує їхню реакцію з утворенням складнішої речовини (4). Після реакції структура ферменту не змінюється (5), і він готовий забезпечувати нові реакції

нейрогормони, які регулюють активність обміну речовин, процеси росту і розвитку організмів.

- ***Функція прискорення біохімічних реакцій*** притаманна особливим білкам – ***ферментам***, або ***ензимам***. Вони впливають на швидкість перебігу біохімічних реакцій. Одні з ферментів забезпечують розщеплення певних сполук, інші – їхній синтез (мал. 6.3). Ферменти бувають простими та складними. *Прості ферменти* – це білкові молекули (пепсин, трипсин тощо), які складаються лише з амінокислотних залишків. *Складні ферменти*, крім білкової частини, містять ще й небілкову.

Жодна біохімічна реакція не може відбуватись без участі ферментів.

Деякі ферменти можуть виконувати захисну функцію, наприклад лізоцим, який міститься у слині, слизових оболонках, слізній рідині. Він виконує роль неспецифічного антибактеріального бар'єра.

Лабораторне дослідження

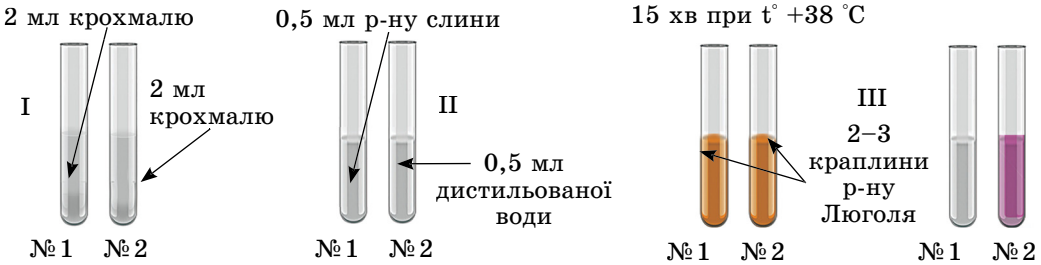
Вивчення властивостей ферментів

Мета: ознайомитися з дією ферментів на перебіг біохімічних реакцій.

Обладнання і матеріали: штатив з пробірками, градуйовані піпетки, крапельниці, колба, скляні палички, термостат, водяна баня, розчин Люголя, дистильована вода, стакан із льодом, водний 0,2 %-й розчин крохмалю.

Завдання. Вивчіть дію ферменту слини (амілази) на крохмаль.

1. Сполосніть ротову порожнину 2–3 рази водою, потім прополощіть 50 мл дистильованої води протягом 3–5 хвилин і зберіть розчин слини в колбу.
2. Пронумеруйте дві пробірки і внесіть у них по 2 мл розчину крохмалю (див. схему досліду I).
3. У пробірку № 1 додайте 0,5 мл розчину слини, який містить фермент амілазу (розщеплює крохмаль), а в пробірку № 2 – 0,5 мл дистильованої води (див. схему досліду II).
4. Пробірки № 1 і 2 після перемішування витримайте 15 хв при температурі +38 °С (яка є оптимальною для дії амілази). Після цього додайте до їхнього вмісту 2–3 краплини розчину Люголя. У пробірці, де була слина, спостерігається знебарвлення розчину внаслідок розщеплення крохмалю ферментом слини амілазою, а де її не було – зберігається синьо-фіолетове забарвлення (див. схему досліду III).



Ключові терміни та поняття: **ферменти (ензими), імуноглобуліни, інтерферони.**

Перевірте здобуті знання

1. У чому полягає захисна функція білків? Наведіть приклади. 2. Чим визначається рухова функція білків? 3. Які функції виконують ферменти? 4. На яких властивостях білків ґрунтується здатність організмів сприймати подразники?

Поміркуйте. У результаті ферментативних реакцій, на відміну від безферментних, не утворюються побічні продукти, тобто спостерігають майже 100 %-й вихід кінцевого продукту. Яке це має значення для нормального функціонування організму?

Обговоріть у групах. Використовуючи різноманітні джерела інформації та знання, одержані на уроках з основ здоров'я, обґрунтуйте необхідність вживання людиною різноманітних продуктів харчування. Поміркуйте про роль моделювання у забезпеченні раціонального харчування людини.

§7. НУКЛЕЇНОВІ КИСЛОТИ. ВЛАСТИВОСТІ ТА ФУНКЦІЇ РНК

Пригадайте, які сполуки називають біополімерами. Які є рівні просторової організації білкових молекул?

Усі живі істоти здатні зберігати спадкову інформацію і передавати її нащадкам під час розмноження. Цю функцію виконують нуклеїнові кислоти. Певні види нуклеїнових кислот беруть участь у реалізації спадкової інформації.

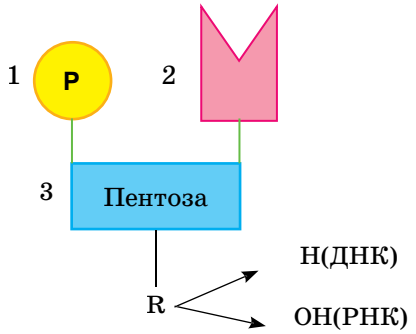
Нуклеїнові кислоти – високомолекулярні біополімери, мономерами яких є ***нуклеотиди***. Число нуклеотидів у складі однієї молекули нуклеїнової кислоти може становити від 200 до 200 млн. Уперше нуклеїнові кислоти виявили в ядрі клітин, звідки й походить назва цих сполук (від лат. *нуклеус* – ядро). Але згодом їх виявили й у інших частинах клітини.

Молекула нуклеотиду складається з трьох частин: залишків нітрогенумісної (азотистої) основи, п'ятивуглецевого моносахариду (пентози) та ортофосфатної кислоти (мал. 7.1). Залежно від виду моносахариду, що входить до складу нуклеотиду, розрізняють два типи нуклеїнових кислот: **дезоксирибонуклеїнову** (скорочено **ДНК**) і **рибонуклеїнові (РНК)**. До складу ДНК входить залишок дезоксирибози, а РНК – рибози.

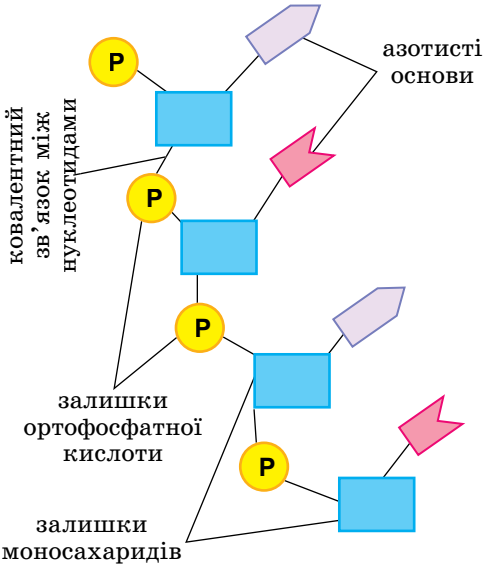
У молекулах ДНК і РНК містяться залишки різних азотистих основ. У молекулі ДНК – залишки нуклеотидів з аденіном (скорочено позначають літерою **А**), гуаніном (**Г**), цитозином (**Ц**) та тиміном (**Т**); у молекулі РНК – з аденіном (**А**), гуаніном (**Г**), цитозином (**Ц**) та урацилом (**У**).

Отже, для молекул ДНК та РНК три типи нуклеотидів спільні (А, Г, Ц), за одним нуклеотидом вони відрізняються (у складі ДНК – нуклеотид з Т, у складі РНК – з У).

У складі нуклеїнових кислот окремі нуклеотиди з'єднані між собою у ланцюг за допомогою ковалентних зв'язків, які виникають між



Мал. 7.1. Схема будови нуклеотиду: 1 – залишок ортофосфатної кислоти; 2 – залишок азотистої основи; 3 – залишок моносахариду (пентози); у молекулі дезоксирибози на відміну від рибози замість гідроксильної групи (ОН) – атом Гідрогену (Н)



Мал. 7.2. Схема будови нуклеїнової кислоти

залишком пентози одного нуклеотиду та залишком ортофосфатної кислоти іншого (мал. 7.2). Їх називають *фосфодіетерними*.

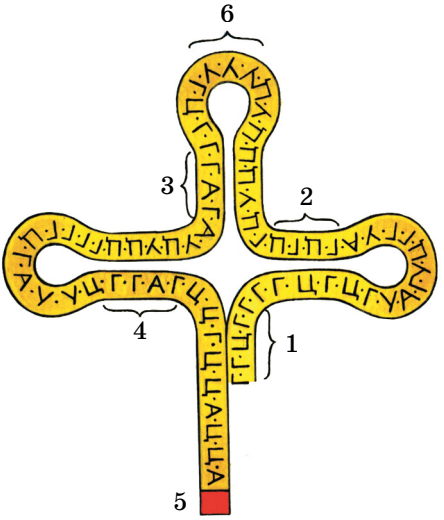
Біологічні властивості нуклеїнових кислот зумовлені послідовністю розташування нуклеотидів у ланцюзі. Подібно до білків, ця послідовність становить собою первинну структуру нуклеїнових кислот. Складніші рівні структурної організації молекул нуклеїнових кислот – вторинна і третинна – підтримуються за рахунок нековалентних взаємодій (зокрема, водневих зв'язків).

Типи молекул РНК. Молекули РНК клітин як прокаріотів, так й еукаріотів, складаються з одного ланцюга. Існують три основні типи РНК, які відрізняються за місцем розташування у клітині, розмірами та функціями.

Матрична, або ***інформаційна***, ***РНК*** (***мРНК***, або ***іРНК***) становить собою копію певної ділянки молекули ДНК, на якій вони синтезуються. Така молекула переносить спадкову інформацію про будову білкової молекули від молекули ДНК до місця синтезу поліпептидного ланцюга, а також бере безпосередню участь у його збиранні.

Транспортна РНК (***тРНК***) має найменші розміри серед усіх молекул РНК (складається всього з 70–90 нуклеотидів; для порівняння: у людини довжина молекул рРНК становить 1500 та 5000 нуклеотидів). Вона приєднує амінокислоти і транспортує їх до місця синтезу білкових молекул. Там молекула тРНК «впізнає» відповідну ділянку мРНК. Ця ділянка (її називають ***кодон***) – послідовність з трьох нуклеотидів, яка кодує одну з амінокислот. Так визначається порядок розташування амінокислотних залишків у молекулі білка, що синтезується.

тРНК за формою нагадує листок конюшини (мал. 7.3). Така структура зумовлена тим, що в певних ділянках молекули тРНК (4–7 послідовних ланок) між нуклеотидами, які наче доповнюють одне одного за



Мал. 7.3. Будова тРНК:
1–4 – ділянки з'єднання нуклеотидів за допомогою водневих зв'язків;
5 – ділянка, до якої приєднується амінокислота; 6 – антикодон

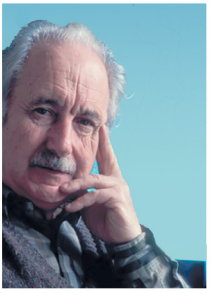
особливостями будови (їх називають ***комплементарними***), виникають водневі зв'язки. Біля верхівки «листка конюшини» містяться три нуклеотиди, або ***триплет***, який відповідає певній амінокислоті. Цей триплет має назву ***антикодон***. Біля основи молекули тРНК є ділянка, до якої завдяки ковалентному зв'язку приєднується відповідна амінокислота (мал. 7.3).

Рибосомна РНК (***рРНК***) входить до складу особливих органел клітини – рибосом. Разом з білками, які також входять до складу рибосом, молекула рРНК виконує структурну функцію, забезпечуючи певне просторове розташування молекул рРНК та тРНК під час біосинтезу білкової молекули.

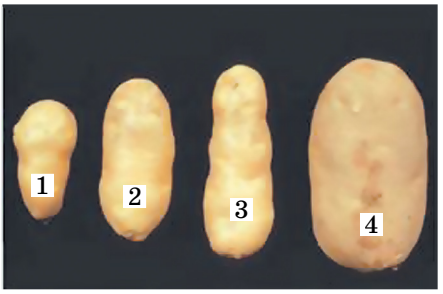
Цікаво знати

Молекули РНК можуть також виконувати функції своєрідних ферментів. Їх називають *рибозими*. Вони діють подібно до ферментів білкової природи. Багато рибозимів здатні каталізувати власне розщеплення або розщеплення інших молекул РНК. 1989 року за встановлення каталітичних властивостей РНК двоє американських учених – **Томас Роберт Чек** та **Сідні Олтман** – отримали Нобелівську премію в галузі хімії.

Молекули РНК можуть спричиняти захворювання рослин. Такі неклітинні форми життя називають **віроїдами**. Їх відкрив 1971 року

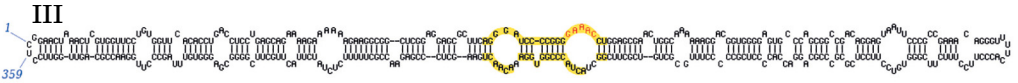


I



II

III



Мал. 7.4. Віроїди – збудники хвороб рослин: I – Теодор Отто Дінер (народ. 1921 р.) – учений, який описав віроїди; II – хвороба картоплі, відома під назвою «веретеноподібність бульб» (1–3 – бульби уражені віроїдами, 4 – здорова бульба); III – віроїди складаються тільки з молекули РНК

американський учений **Т. О. Дінер**, який вивчав інфекційне захворювання картоплі, відоме під назвою «веретеноподібність бульб» (мал. 7.4). З'ясувалося, що інфекцію спричини ла невеличка одноланцюгова молекула РНК. Віроїди знайдено тільки в рослин: у людини, бактерій схожих збудників не виявлено.

Ключові терміни та поняття: **нуклеїнові кислоти, нуклеотиди, РНК, кодон, антикодон.**

Перевірте здобуті знання

1. Які особливості будови нуклеїнових кислот? 2. Яка будова молекул РНК? 3. Які є типи нуклеїнових кислот? Які функції молекул мРНК (іРНК)? 4. Як будова тРНК пов'язана з її функціями? 5. Які функції молекул рРНК?

Поміркуйте. У яких процесах, що відбуваються в клітині, беруть участь молекули РНК?

§8. БУДОВА, ВЛАСТИВОСТІ ТА ФУНКЦІЇ ДНК

Пригадайте, у яких структурах клітини зберігається спадкова інформація. Що таке мономери, біополімери? Які організми належать до еукаріотів і прокаріотів? Які процеси називають денатурацією та ренатурацією?

Будова ДНК. Молекули ДНК у клітинах еукаріотів містяться в ядрі, пластидах і мітохондріях, у клітинах прокаріотів – в особливих ділянках цитоплазми – ядерній зоні. Молекули ДНК 1869 року відкрив швейцарський біолог **Й. Ф. Мішер**, виділивши їх з ядер лейкоцитів. Згодом молекули ДНК виявили і в інших органелах клітини (таких як мітохондрії та пластиди). Й. Ф. Мішер встановив і хімічний склад ДНК.

Розшифрування структури ДНК має свою історію. 1950 року американський учений **Ервін Чаргафф** (1950–2002) та його колеги виявили певні закономірності кількісного вмісту азотистих основ у молекулі ДНК (їх називають ***правилами Чаргаффа***):

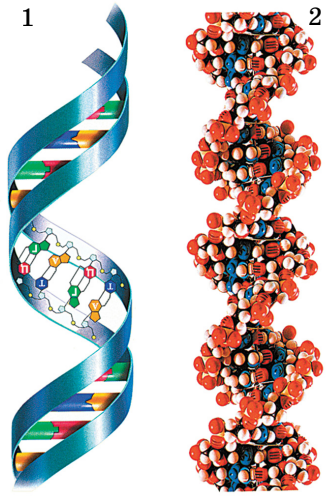
- кількість нуклеотидів, що містять аденін, у будь-якій молекулі ДНК дорівнює числу нуклеотидів, що містять тимін (**А = Т**), а число нуклеотидів з гуаніном – числу нуклеотидів із цитозином (**Г = Ц**);
- сума нуклеотидів з аденіном і гуаніном дорівнює сумі нуклеотидів з тиміном і цитозином (**А + Г = Т + Ц**).

Закономірності вмісту нуклеотидів у молекулах ДНК, які встановили Е. Чаргафф та його колеги, а також застосування **Р. Франклін** та **М. Уїлкінсом** методів рентгенографії під час дослідження структури молекул ДНК сприяли встановленню 1953 р. **Дж. Уотсоном** та **Ф. Кріком** їхньої просторової структури. Тобто вчені створили тривимірну модель молекули ДНК.

Виявилося, що молекула ДНК складається з двох ланцюгів нуклеотидів, які сполучаються між собою за допомогою водневих зв'язків. Ці зв'язки виникають між двома нуклеотидами, які ніби доповнюють один одного за розмірами, при цьому розміри нуклеотидів з аденіном (А) і гуаніном (Г) дещо більші, ніж нуклеотидів з тиміном (Т) і цитозином (Ц). Тому залишок аденіну (А) нуклеотиду одного ланцюга молекули ДНК завжди сполучається із залишком тиміну (Т) нуклеоти-

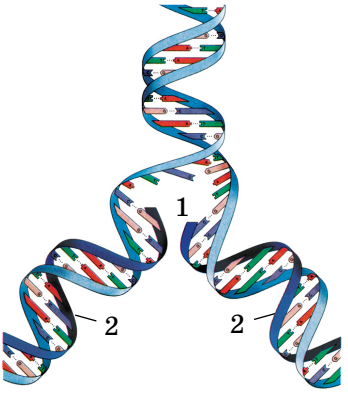
ду іншого ланцюга (між ними виникає два водневих зв'язки), а гуаніну (Г) – із цитозином (Ц) (між ними виникає три водневих зв'язки) (мал. 8.1). Така чітка відповідність нуклеотидів у складі молекули нуклеїнової кислоти, яка супроводжується утворенням між взаємодоповнюючими нуклеотидами водневих зв'язків, має назву ***комплементарність***.

Комплементарність (від лат. *комплементум* – доповнення) – просторова відповідність між молекулами або їхніми частинами, що уможливлює взаємодію між ними та утворення хімічних зв'язків.



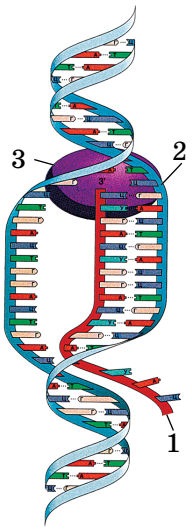
Мал. 8.1. Молекула ДНК: 1 – схема будови; 2 – просторова модель. Зверніть увагу, обидва ланцюги ДНК закручені навколо спільної осі, а також один навколо одного

Взаємодіючи між собою, два ланцюги нуклеотидів молекули ДНК формують закручену праворуч спіраль діаметром приблизно 2 нм (1 нм (нанометр) дорівнює 1×10^{-6} мм). Відстань між сусідніми комплементарними парами азотистих основ становить 0,34 нм, а крок спіралі дорівнює 3,4 нм і містить близько десяти пар основ. Так виникає вторинна структура молекули ДНК, тоді як первинна – це певна послідовність залишків нуклеотидів, розташованих у вигляді ланцюга. Молекули ДНК у клітині становлять собою компактні структури. Це досягається формуванням вторинної та третинної структур. Наприклад, довжина ДНК найбільшої хромосоми людини становить близько 10 см, але вона скручена таким чином, що вміщується у хромосомі завдовжки 5 мкм (1 мкм (мікрометр) дорівнює 1×10^{-3} мм). Це відбувається завдяки тому, що дволанцюгова спіраль ДНК зазнає подальшого просторового ущільнення, формуючи третинну структуру – суперспіраль. Така будова характерна для ДНК хромосом еукаріотів і зумовлена взаємодією між ДНК та ядерними білками, які також входять до складу структур ядра клітини – хромосом.



Мал. 8.2. Процес реплікації – самоподвоєння молекули ДНК: за участі ферменту розшиваються водневі зв'язки між комплементарними нуклеотидами (1) і на кожному ланцюзі материнської молекули за принципом комплементарності добудовується дочірній (2)

Властивості ДНК. Так само як і молекули білків, молекули ДНК здатні до денатурації та ренатурації. За певних умов (дія кислот, лугів, високої температури тощо) водневі зв'язки між комплементарними азотистими основами різних ланцюгів



Мал. 8.3. Транскрипція – синтез молекули РНК (1) на одному з ланцюгів молекули ДНК (2). Ці процеси забезпечує специфічний фермент (3)

молекули ДНК розриваються. При цьому молекула ДНК повністю або частково розпадається на окремі ланцюги, і, відповідно, втрачає свою біологічну активність. Після припинення дії негативних чинників структура молекули може відновлюватись завдяки поновленню водневих зв'язків між комплементарними нуклеотидами.

Важлива властивість молекул ДНК – їхня **здатність до самоподвоєння**. Цей процес називають ***реплікацією***. Він ґрунтується на принципі комплементарності: послідовність нуклеотидів у новоствореному ланцюзі визначається їхнім розташуванням у ланцюзі материнської молекули ДНК. При цьому материнська молекула ДНК слугує **матрицею**.

Реплікація ДНК – напівконсервативний процес, тобто дві дочірні молекули ДНК містять по одному ланцюгу, успадкованому від материнської молекули, і по одному,– синтезованому заново (мал. 8.2). Завдяки цьому кожна з дочірніх молекул ДНК є копією материнської. Це явище забезпечує точну передачу спадкової інформації від материнської молекули ДНК дочірнім. Завдяки цьому можливе стабільне існування окремих видів організмів (*поміркуйте* чому).

Функції ДНК. Основні функції ДНК – це **кодування, збереження спадкової інформації** та **її передача дочірнім клітинам під час розмноження.** Зокрема, окремі ланцюги молекули ДНК слугують матрицею для синтезу різних типів молекул РНК (мал. 8.3). Цей процес називають ***транскрипцією***.

Одиницею спадковості всіх організмів є **ген** – ділянка молекули ДНК (у деяких вірусів – РНК). Ген містить спадкову інформацію про структуру певного білка або нуклеїнової кислоти (докладніше організацію спадкового матеріалу різних груп організмів ми розглянемо у § 21).

Функціонально ген – цілісна одиниця спадковості, бо будь-які порушення його будови змінюють закодовану в ньому інформацію або призводять до її втрати.

Генетичний код **– інформація про амінокислотну послідовність у складі білка, закодована за певними правилами у вигляді послідовності нуклеотидів нуклеїнової кислоти.**

Ключові терміни та поняття: **комплементарність, реплікація, транскрипція, ген, генетичний код.**

Перевірте здобуті знання

1. Які особливості будови ДНК? 2. Що спільного і відмінного в будові молекул ДНК і РНК? 3. Яка просторова структура молекули ДНК? 4. У чому полягають функції ДНК у клітині? 5. Що таке ген і генотип? 6. Які є типи генів?

Поміркуйте. Які зв'язки будуть насамперед руйнуватись унаслідок дії на молекулу ДНК різних чинників: між сусідніми нуклеотидами, що входять до складу одного ланцюга, або між комплементарними нуклеотидами різних ланцюгів? Відповідь обґрунтуйте.

§9. АДЕНОЗИНТРИФОСФАТНА КИСЛОТА (АТФ) – УНІВЕРСАЛЬНА ЕНЕРГЕТИЧНА СПОЛУКА

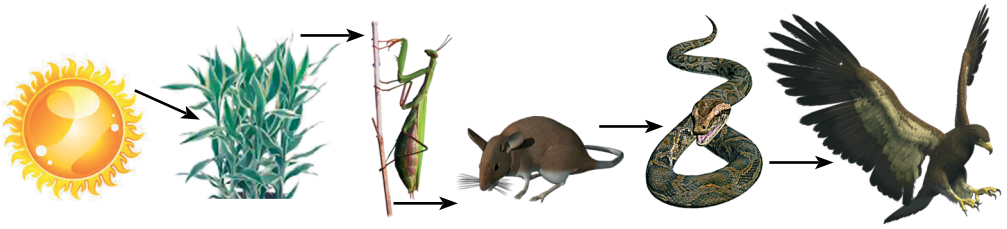
Пригадайте будову нуклеотидів. Що таке енергія з точки зору фізики? Що таке ферменти, складні та прості білки? Які сполуки називають пентозами?

Біологічні системи – відкриті системи. Ви вже знаєте, що сукупність біохімічних реакцій, які відбуваються в біологічних системах, називають обміном речовин, або ***метаболізмом***. Одні із цих реакцій – це реакції синтезу, які забезпечують ріст і розвиток клітин та організмів, поновлення їхнього хімічного складу. Сукупність цих реакцій називають ***пластичним обміном*** (або ***анаболізмом***). На здійснення цих процесів витрачається певна кількість енергії. Ця енергія виникає при розщепленні різних складних органічних сполук до простіших (унаслідок їхнього окиснення або розщеплення без участі кисню, як-от вуглеводів). Ці процеси називають ***енергетичним обміном*** (або ***катаболізмом***).

Процеси синтезу потрібних організму сполук і процеси їхнього розщеплення – це різні сторони єдиного процесу обміну речовин і перетворення енергії в організмах – *метаболізму*.

З енергетичної точки зору біологічні системи, такі як окремі клітини, цілісні організми, екосистеми, належать до відкритих. Це означає, що їхнє існування можливе лише завдяки постійному надходженню з навколишнього середовища певної кількості енергії. У біологічних системах відбуваються процеси перетворення енергії: перехід одних форм енергії в інші (хімічної в електричну, електричної – в механічну тощо). Значна частина енергії, що утворюється в біологічних системах, виводиться назовні у вигляді тепла. Саме тому і потрібне постійне її надходження до біологічних систем.

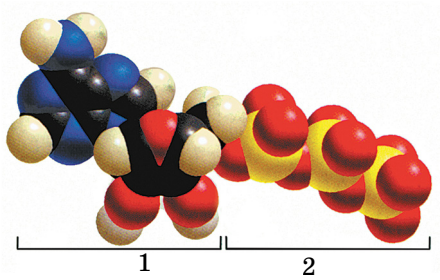
Для організмів, які населяють нашу планету, основним джерелом енергії є сонячне світло, завдяки якому прямо чи опосередковано задовольняються їхні енергетичні потреби (мал. 9.1).



Мал. 9.1. Сонячне світло – основне джерело енергії для організмів.
Завдання. *Поясніть роль рослин у забезпеченні енергією інших мешканців нашої планети*

Усі ви знайомі з роботою такого електронного приладу, як мобільний телефон. Для його роботи потрібна енергія, джерелом якої є акумулятор. Коли акумулятор розряджається, ви підключаєте телефон до зовнішнього джерела енергії – електричної мережі – доки не відбудеться зарядка акумулятора. Роль своєрідного акумулятора в клітинах виконує сполука АТФ.

АТФ та її функції в енергетичному обміні. **Аденозинтрифосфатна кислота (АТФ)** – сполука, яка за своїм складом є нуклеотидом. Молекула АТФ складається із залишків азотистої основи (аденіну), пентози (рибози) та трьох залишків ортофосфатної кислоти (мал. 9.2).

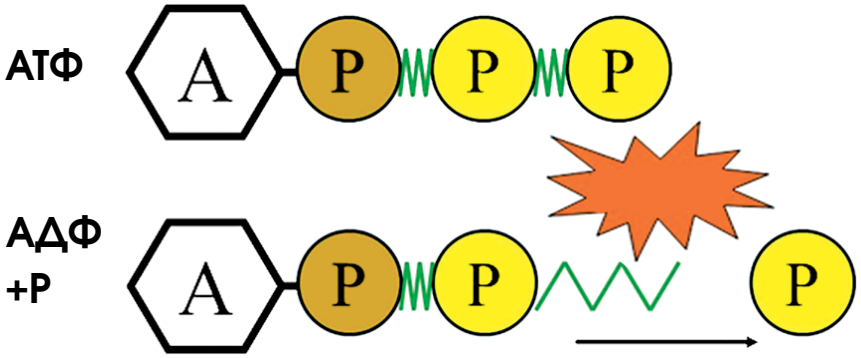


Мал. 9.2. Будова молекули АТФ: 1 – аденозин (сполука, що складається із залишку аденіну та пентози – рибози); 2 – три залишки ортофосфатної кислоти

Ця речовина має незвичні для інших органічних сполук хімічні властивості. Зверніть увагу: на відміну від нуклеотидів, які входять до складу нуклеїнових кислот, молекула АТФ містить не один залишок ортофосфатної кислоти, а три (звідки й походить назва цієї сполуки – аденозинтрифосфатна кислота). Між залишками ортофосфатної кислоти виникають два особливі високоенергетичні хімічні зв'язки – ***макроергічні***. У них запасається значна кількість енергії (мал. 9.2).

Якщо за участі відповідного ферменту відщеплюється один залишок ортофосфатної кислоти, то АТФ перетворюється на **аденозиндифосфатну кислоту (АДФ)**, при цьому звільняється близько 42 кДж енергії (мал. 9.3). Якщо ж відщеплюються два залишки молекул ортофосфатної кислоти, АТФ перетворюється на **аденозинмонофосфатну кислоту (АМФ)**. При цьому вивільняється вже 84 кДж енергії.

У разі приєднання до АМФ залишку ортофосфатної кислоти запасається близько 42 кДж енергії. При цьому утворюється молекула АДФ. Ще 42 кДж енергії запасається за умови приєднання ще одного залиш-



Мал. 9.3. Перетворення молекул АТФ під час енергетичного обміну: енергія звільняється внаслідок відщеплення від молекули АТФ одного чи двох залишків ортофосфатної кислоти

ку ортофосфатної кислоти до молекули АДФ. Молекула АДФ таким чином перетворюється на молекулу АТФ. Енергія, яка вивільняється в процесі розщеплення молекул АТФ, використовується для синтезу потрібних організму сполук, підтримання певної температури тіла, забезпечення інших процесів життєдіяльності.

Ключові терміни та поняття: **метаболізм, пластичний обмін (анаболізм), енергетичний обмін (катаболізм), АТФ.**

Перевірте здобуті знання

1. Що таке метаболізм, пластичний та енергетичний обмін? 2. Яка структура молекули АТФ? 3. У чому полягає роль АТФ у перетворенні енергії в клітині?

Поміркуйте. Чому життя неможливе без перетворень енергії?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1

Розв'язання елементарних вправ зі структури білків та нуклеїнових кислот

Дані, потрібні для розв'язання вправ: мінімальна відносна молекулярна маса амінокислоти становить приблизно 100, мінімальна відносна молекулярна маса нуклеотиду – 345, мінімальна відносна довжина окремого нуклеотиду – 0,34 нм. Одна амінокислота кодується послідовністю з трьох нуклеотидів (триплетом).

Розв'язуючи задачі, пам'ятаємо: у складі молекули ДНК нуклеотиди з різних її ланцюгів сполучаються за принципом комплементарності (А–Т та Г–Ц), у складі молекул РНК замість нуклеотиду з тиміном (Т) присутній нуклеотид з урацилом (У).

Вправа 1. Молекула білка складається з 200 амінокислотних залишків. Визначте довжину ділянки одного з ланцюгів молекули ДНК, яка відповідає гену, що кодує цей білок, враховуючи, що 300 нуклеотидів у складі даного гена амінокислоти не кодують.

Приклад розв'язку вправи. 1. Якщо молекула білка складається з 200 амінокислотних залишків, то їх кодують 200 × 3 = 600 нуклеотидів.

2. До цього числа додаємо ще 300 некодуючих нуклеотидів: 600 + 300 = 900.

3. Визначаємо довжину ділянки, яка кодує даний білок, перемноживши число нуклеотидів на довжину одного нуклеотиду: 900 × 0,34 нм = 306 нм.

Відповідь: довжина ділянки одного з ланцюгів молекули ДНК, яка відповідає гену, що кодує цей білок, становить 306 нм.

Вправа 2. Довжина ділянки одного з ланцюгів молекули ДНК клітини бактерії становить 238 нм. Визначте кількість амінокислотних залишків у молекулі білка, яку кодує дана ділянка молекули ДНК.

Вправа 3. Молекулярна маса білка становить 60 000. Визначте кількість нуклеотидів, що входять до складу ділянки молекули ДНК із цим геном.

Вправа 4. Дослідження показали, що 24 % загальної кількості нуклеотидів молекули мРНК припадає на нуклеотиди з гуаніном (Г),

38 % – з урацилом (У), 22 % – з цитозином (Ц) та 16 % – з аденіном (А). Визначте відсотковий уміст азотистих основ молекули ДНК, на якій була синтезована ця молекула мРНК.

Приклад розв'язку вправи. 1. Визначаємо за принципом комплементарності відсотковий уміст азотистих основ того ланцюга, на якому була синтезована дана молекула мРНК:

Молекула мРНК:	Г – 24 %, У –38 %,	Ц – 22 % та А – 16 %.
Перший ланцюг ДНК:	Ц – 24 %, А – 38 %,	Г – 22 % та Т – 16 %.
Другий ланцюг ДНК:	Г – 24 %, Т –38 %,	Ц – 22 % та А – 16 %.

2. Вираховуємо відсотковий уміст азотистих основ молекули ДНК, на якій була синтезована ця молекула мРНК: Ц – 23 % (24 + 22 / 2 = 23), Г – 23 % (24 + 22 / 2 = 23), А – 27 % (38 + 16 / 2 = 27), Т – 27 % (38 + 16 / 2 =27).

Відповідь: до складу молекули ДНК входять 23 % нуклеотидів із цитозином, 23% нуклеотидів з гуаніном, 27 % нуклеотидів з аденіном та 27 % нуклеотидів з тиміном.

Вправа 5. Відомо, що молекула мРНК складається з 1535 нуклеотидів. Зі скількох амінокислотних залишків складатиметься білкова молекула, яку кодує ця молекула мРНК?

Вправа 6. Визначте нуклеотидний склад ділянки молекули ДНК, якщо молекула мРНК, синтезована на одному з її ланцюгів, має такий нуклеотидний склад: УАГГУЦГААЦГУ.

Вправа 7. Нуклеотидний склад одного з ланцюгів ДНК такий: ГЦТААЦЦГАТАЦГГ. На іншому ланцюзі цієї молекули синтезується молекула мРНК. Визначте її нуклеотидний склад.

Вправа 8. Обидва ланцюги молекули ДНК складаються з 2250 нуклеотидів. Визначте кількість амінокислотних залишків у складі молекули білка, яка синтезується на одному з ланцюгів цієї молекули ДНК.

Вправа 9. Гормон підшлункової залози глюкагон складається з 29 амінокислотних залишків. Скільки триплетів входить до складу гена, який кодує цю молекулу?

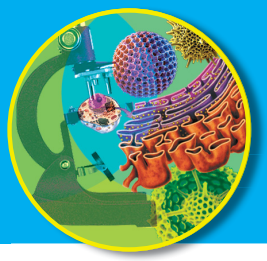
Вправа 10. Молекулярна маса кодуючих триплетів молекули ДНК становить 20700. Визначте кількість амінокислотних залишків, які входять до складу цієї молекули білка.

Вправа 11. Визначте молекулярну масу білкової молекули, яка кодується ділянкою молекули ДНК завдовжки 102 нм.

Вправа 12. Визначте довжину гена, який кодує білок, що складається зі 125 амінокислотних залишків.

Вправа 13. Один з ланцюгів молекули ДНК має такий вигляд: ГЦГГГТГГАТААЦТАГЦЦ. Який вигляд матиме другий ланцюг цієї молекули, синтезований під час її самоподвоєння?

Вправа 14. Нуклеотидний склад молекули мРНК такий: ААЦГУУЦЦАГЦУ. Визначте нуклеотидний склад ланцюга ДНК, який протилежний ланцюгу, на якому синтезована ця молекула мРНК.



ТЕМА 2. СТРУКТУРА КЛІТИНИ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- типи мікроскопії;
- особливості клітинного рівня організації живої матерії;
- будову еукаріотичних і прокаріотичних клітин, спільні та відмінні риси їхньої організації.

§10. ТИПИ МІКРОСКОПІЇ

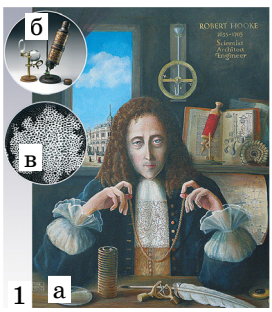
Пригадайте будову світлового мікроскопа. У чому полягають правила роботи з ним?

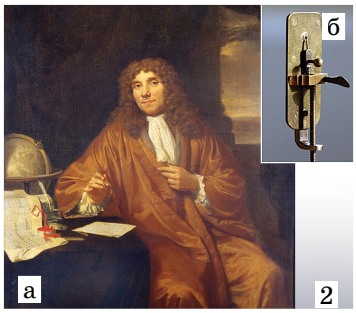
Яка наука вивчає клітини?

Клітини, їхню будову та процеси життєдіяльності досліджує наука *цитологія*.

Цитологія бере початок з відкриття, яке 1665 р. здійснив англійський дослідник **Р. Гук** (мал. 10.1, 1). За допомогою сконструйованого власноруч мікроскопа він розглянув оболонки клітин корка й запропонував термін ***клітина***. 1702 р. голландський дослідник **А. ван Левенгук** (мал. 10.1, 2), також за допомогою мікроскопів власної конструкції, відкрив клітини бактерій, одноклітинні еукаріотичні організми (інфузорії та ін.), описав деякі клітини багатоклітинних тварин (еритроцити та сперматозоїди).

Типи мікроскопії. Сучасні дослідження в галузі цитології спрямовані насамперед на вивчення різноманітних органел і структур, їхніх функцій у клітині. Удосконалені сучасні збільшувальні прилади й новітні технології відкривають нові перспективи перед дослідниками, дозволяючи вивчати навіть найдрібніші клітинні структури. Нині щодалі більше розвиваються дослідження і в галузі клітинної інженерії.





Мал. 10.1. 1. **Роберт Гук** (1635–1703) (а), сконструйований ним мікроскоп (б), зріз через корок, який він досліджував (в). 2. **Антоні ван Левенгук** (1632–1723) (а), сконструйований ним мікроскоп (б)

Мал. 10.2. 1. Схематична будова і принцип роботи світлового мікроскопа. ***Завдання.*** *Зверніть увагу на хід променів світла від його джерела до системи лінз об'єктива та окуляра.* 2. Клітини рослини у полі зору світлового мікроскопа

Першим приладом, який дав змогу вивчати клітини, був ***світловий (оптичний) мікроскоп***. Розгляньте малюнок 10.2 і пригадайте будову світлового мікроскопа. Методи досліджень, які здійснюють за допомогою цього приладу, називають ***світловою мікроскопією***.

Метод світлової мікроскопії ґрунтується на тому, що через прозорий чи напівпрозорий об'єкт дослідження проходять промені світла, які згодом потрапляють до системи лінз об'єктива та окуляра (мал. 10.2, 1). Ці лінзи збільшують об'єкт дослідження, при цьому кратність збільшення можна визначити як добуток збільшень об'єктива й окуляра. Наприклад, якщо лінзи окуляра забезпечують збільшення в 10 разів, а об'єктива – в 40, то загальне збільшення об'єкта досліджень становитиме 400 разів. Сучасні світлові мікроскопи можуть забезпечувати збільшення до 2–3 тис. разів. Удосконалити свої навички роботи зі світловим мікроскопом ви зможете під час виконання лабораторної роботи (див. с. 64).

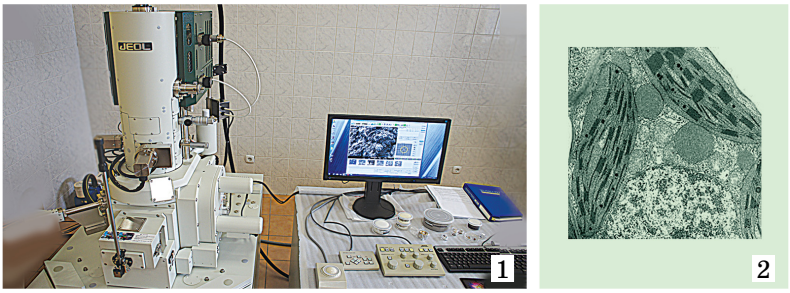
Важливим етапом розвитку не тільки цитології, а біології в цілому було створення **клітинної теорії**. Основні її положення сформулювали два німецьких учені – **М. Я. Шлейден** та **Т. Шванн** (мал. 10.3). Спираючись на результати численних попередніх, а також власних досліджень, вони зробили фундаментальні узагальнення:

- усі організми складаються з клітин, тому клітина є їхньою структурно-функціональною одиницею;
- клітини різних організмів подібні за своїм планом будови, хімічним складом та основними проявами процесів життєдіяльності.

Мал. 10.3. 1. **Маттіас Якоб Шлейден** (1804–1881). 2. **Теодор Шванн** (1810–1882).

Згодом клітинну теорію доповнив ще один німецький дослідник – **Рудольф Вірхов**: він встановив, що дочірні клітини виникають унаслідок розмноження материнської.

Метод електронної мікроскопії. Клітинні структури найдрібніших розмірів (мембрани, рибосоми тощо) були відкриті та вивчені лише за допомогою ***електронного мікроскопа***, перший зразок якого був сконструйований 1931 р. На відміну від оптичного, електронний мікроскоп здатний збільшувати зображення об'єктів дослідження до 500 тис. разів і більше (мал. 10.4). Конструкція електронного мікроскопа дещо нагадує конструкцію світлового, але замість променів світла в ньому

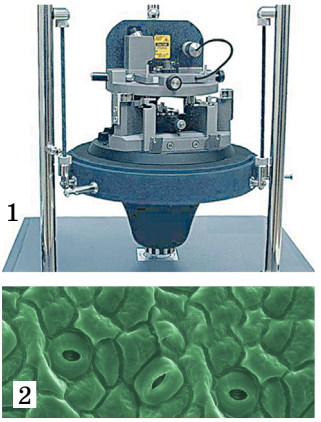


Мал. 10.4. 1. Сучасний електронний мікроскоп. 2. Фото хлоропластів у клітині, зроблене за допомогою електронного мікроскопа

застосовують потік електронів, які рухаються в магнітному полі. Роль лінз при цьому виконують електромагніти, здатні змінювати напрямок руху електронів, збирати їх у пучок (фокусувати) й спрямовувати його на об'єкт дослідження. Частина електронів, проходячи через об'єкт дослідження, може відхилятись, розсіюватись, поглинатись, взаємодіяти з об'єктом або проходити крізь нього без змін. Пройшовши через досліджуваний об'єкт, електрони потрапляють на люмінесцентний екран, спричиняючи його нерівномірне свічення, або на особливий фотоматеріал, за допомогою якого зображення можна фотографувати.

За допомогою методу **сканувальної електронної мікроскопії** досліджують поверхні клітин, окремих органел тощо (мал. 10.5). При цьому потік електронів не проходить крізь об'єкт дослідження, а відбивається від його поверхні.

У живих клітинах можна вивчати процеси їхньої життєдіяльності (рух цитоплазми, поділ тощо). Тонкі деталі клітинної будови досліджують на певним чином оброблених клітинах. Для цього клітини потрібно попередньо зафіксувати певними речовинами (спирт, формалін тощо), швидким заморожуванням або висушуванням. Окремі структури фіксованих клітин зафарбовують особливими барвниками та виготовляють мікроскопічні препарати, які можуть зберігатися тривалий час. Щоб за допомогою електронного сканувального мікроскопа сфотографувати поверхні клітини або окремих органел, їх покривають металічним пилом, наприклад золотим.



Мал. 10.5. 1. Сучасний сканувальний мікроскоп. 2. Фото шкірки листка, зроблене за допомогою сканувального мікроскопа

Для того щоб постійно мати у своєму розпорядженні клітини для досліджень, учені застосовують **метод культури клітин**. При цьому живі клітини певних типів утримують і розмножують на штучних поживних середовищах (наприклад, виготовлених з агару – речовини, яку добувають із червоних водоростей). Зміню-

ючи компоненти поживного середовища, можна спостерігати, як різні сполуки впливатимуть на ріст і розмноження клітин, інші їхні властивості. Культури клітин, наприклад, використовують у медицині та фармакології (наука, яка досліджує ліки та їхній вплив на організм) для дослідження впливу різних лікарських сполук, вірусів, отримання біологічно активних речовин (лікарських препаратів, вітамінів тощо).

Цікаво знати

Цитологічні методи широко застосовують для діагностики різноманітних захворювань людини і свійських тварин, визначення фізіологічного стану організмів. Так, в ***онкології*** (наука, яка вивчає причини виникнення, розробляє засоби діагностики та лікування ракових захворювань) ці методи використовують для виявлення злоякісних і доброякісних пухлин, діагностики передонкологічних станів і первісних стадій цих захворювань. Для цього виявляють аномальні клітини та вивчають їхню здатність до швидкого розмноження. Розроблено цитологічні методики розпізнавання захворювань крові, травної системи, нирок, легень, шкіри тощо. Наприклад, значне збільшення кількості еритроцитів свідчить про небезпечну хворобу – еритроцитоз, а лейкоцитів – про білокрів'я (лейкоз). Уперше припущення про те, що хвороби людини пов'язані з патологічними змінами в будові та функціонуванні клітин, ще у XIX ст. зробив німецький учений Р. Вірхов.

Завдання За допомогою учительки/учителя, використовуючи літературні та інтернет-джерела, зробіть огляд сучасних методів досліджень у цитології.

Ключові терміни та поняття: **світлова (оптична) та електронна мікроскопія.**

Перевірте здобуті знання

1. За допомогою яких методів вивчають клітини? 2. У чому полягає метод світлової мікроскопії? 3. Чим відрізняються принципи роботи світлового та електронного мікроскопів? 4. Для чого використовують метод сканувальної електронної мікроскопії? 5. З якою метою використовують метод культури клітин?

Поміркуйте. Чому клітинну теорію вважають однією з фундаментальних у біології?

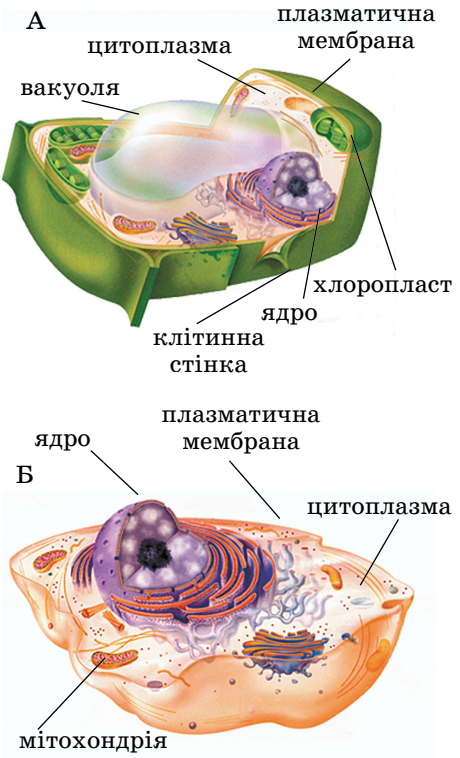
§11. СТРУКТУРА ЕУКАРІОТИЧНОЇ КЛІТИНИ: ПОВЕРХНЕВИЙ АПАРАТ

Пригадайте, що таке дифузія, гідрофільність і гідрофобність. Що таке імунітет, антитіла та антигени? Що таке денатурація та регенерація? Яка будова та функції молекул АТФ? Що таке фагоцитоз?

Ви вже знаєте, що **клітина є структурно-функціональною одиницею живих істот.** Це означає, що на клітинному рівні організації живої матерії повністю проявляються всі основні властивості живого: обмін речовин і перетворення енергії, здатність до росту, розмноження, руху, подразливість, збереження і передача спадкової інформації нащадкам тощо.

Пригадаймо: залежно від наявності ядра всі організми поділяють на прокаріотів та еукаріотів. Клітини **прокаріотів** (наприклад, бактерій) не мають ядра. Детальніше про будову їхніх клітин ви дізнаєтеся

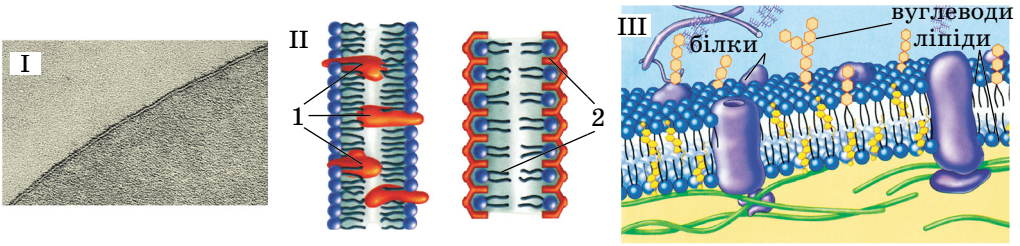
з § 16. Клітини **еукаріотів** – грибів, рослин і тварин – обов'язково мають ядро. Не зважаючи на багатоманітність форм, організація клітин усіх організмів підпорядкована єдиним закономірностям (мал. 11.1). Внутрішній уміст кожної клітини оточує поверхневий апарат, до складу якого обов'язково входить клітинна мембрана. Внутрішнє середовище клітини між клітинною мембраною та ядром – це *цитоплазма*. У ній розміщені постійні клітинні структури – ***органели***. Кожна з органел забезпечує відповідні процеси життєдіяльності клітини.



Мал. 11.1. Моделі внутрішньої будови еукаріотичних клітин: А. Рослинної. Б. Тваринної. ***Завдання.*** *Розгляньте малюнок і пригадайте, які органели клітин тварин і рослин все знаєте з попередніх курсів біології та які їхні функції*

Поверхневий апарат клітини. До поверхневого апарату належать клітинна (плазматична) мембрана, надмембранні та підмембранні структури. До складу **клітинної мембрани** (її ще називають ***плазмалемою***) входять насамперед ліпіди, білки та вуглеводи (мал. 11.2). Молекули ліпідів розташовані у два шари: їхні гідрофільні частини обернені до зовнішнього та внутрішнього боку мембрани, а гідрофобні – обернені всередину цього подвійного шару (мал. 11.2. II). Це визначає таку властивість плазматичної мембрани, як напівпроникність: вона вибірково пропускає певні сполуки як всередину клітини, так і з клітини назовні.

Головним функціональним компонентом клітинних мембран є білки. Одні з молекул білків розташовані або на зовнішній, або на внутрішній поверхні мембран, тому їх називають *поверхневими*. Інші молекули білків перетинають подвійний шар ліпідів (мал. 11.2. III).



Мал. 11.2. Будова клітинної мембрани: I. Фото, зроблене за допомогою електронного мікроскопа. II. Схема розташування в мембрані білків (1) і ліпідів (2). III. Рідинно-мозаїчна модель будови плазматичної мембрани

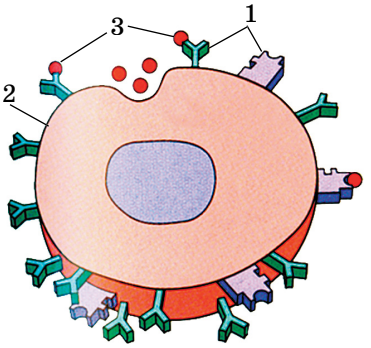
Вуглеводи входять до складу мембран тільки у вигляді комплексних сполук з молекулами білків або ліпідів. Така модель будови біологічних мембран дістала назву ***рідинно-мозаїчної*** (мал. 11.2. III). Назва пояснюється тим, що приблизно 30 % ліпідів мембран міцно пов'язані з внутрішніми білками в єдині комплексні сполуки, тоді як решта ліпідів перебувають у рідкому стані. Тому білково-ліпідні комплекси наче «вкраплені» у рідку ліпідну масу, нагадуючи мозаїку.

Молекули, які входять до складу мембран, здатні до переміщень. Завдяки цьому мембрани швидко поновлюються за незначних пошкоджень – вони здатні до регенерації. Плазматичні мембрани можуть розтягуватися та стискатися, що дозволяє клітинам певних типів змінювати свою форму (пригадайте, наприклад, як змінюється форма клітин амеб під час руху та поглинання їжі – фагоцитозу).

Функції клітинної мембрани. Клітинна мембрана виконує насамперед **захисну функцію:** оберігає внутрішнє середовище клітини від несприятливих зовнішніх впливів. Зокрема, серед мембранних білків є такі, що здатні зв'язувати антигени (речовини, які клітина сприймає як чужорідні) і тим самим запобігати їхньому проникненню в клітину. Отже, клітинна мембрана є однією з ланок захисних реакцій організму – імунітету (мал. 11.3).

Транспортна функція. Ми вже згадували, що клітинна мембрана характеризується напівпроникністю: одні сполуки можуть швидко проходити крізь неї, інші – повільніше або взагалі не можуть її перетнути. Сполуки, які потрібні для забезпечення життєдіяльності клітин, а також продукти обміну речовин перетинають плазматичну мембрану за допомогою пасивного або активного транспорту.

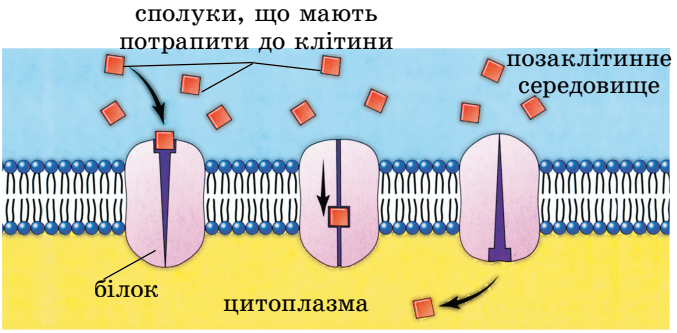
Пасивний транспорт забезпечує вибіркове проникнення речовин через мембрани. При цьому молекули переміщуються завдяки різниці концентрації речовин по обидва боки мембрани: з ділянки, де їхня концентрація висока, у ділянку, де їхня концентрація нижча. На здійснення пасивного транспорту витрачається небагато енергії або ж вона не витрачається взагалі. Пасивний транспорт забезпечують різні механізми. Зокрема, за допомогою дифузії у клітину надходять вода та розчинені в ній речовини.



Мал. 11.3. Захисна функція клітинної мембрани: антитіла (1) у складі мембрани (2) зв'язують антигени (3) і запобігають їхньому проникненню в клітину

Якщо мембрана вільно пропускає молекули однієї речовини та затримує частинки іншої, то відбувається *однобічна дифузія* лише тієї речовини, яка здатна проходити крізь мембрану. *Полегшена дифузія* – перетинання мембрани певними молекулами за допомогою мембранних білків-переносників, які пронизують мембрану (мал. 11.4). Ці білки взаємодіють з певними молекулами на одній з поверхонь мембрани і внаслідок зміни своєї просторової структури транспортують їх на інший бік.

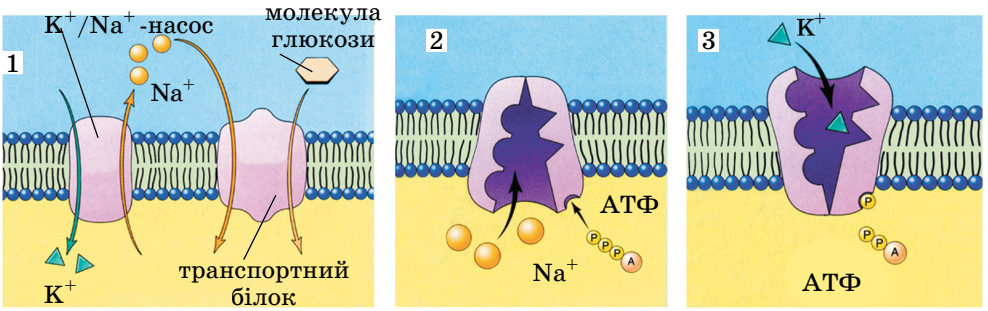
Активний транспорт речовин через клітинні мембрани, на відміну від пасив-



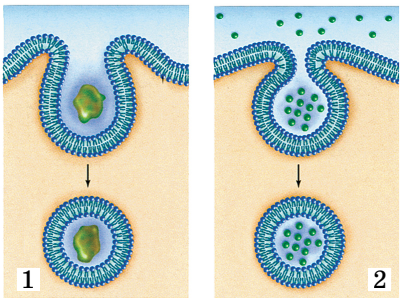
Мал. 11.4. Полегшена дифузія. Тільки після взаємодії з білком мембрани сполука надходить до цитоплазми

ного, пов'язаний зі значними витратами енергії, накопиченої у молекулах АТФ. Один з механізмів активного транспорту речовин через мембрани назвали ***калій-натрієвим насосом*** (мал. 11.5). Він пов'язаний з тим, що концентрація йонів Калію всередині клітини вища, ніж ззовні, а йонів Натрію – навпаки. Завдяки такій різниці концентрацій унаслідок дифузії йони Натрію надходять у клітину, а Калію – виводяться з неї. Але концентрація цих йонів у живій клітині й поза нею ніколи не вирівнюється, оскільки існує особливий механізм, завдяки якому йони Натрію виводяться («відкачуються») з клітини, а Калію – надходять («закачуються») до неї. Існування механізму калій-натрієвого насоса доводить той факт, що у відмерлих або заморожених клітинах концентрація йонів Калію і Натрію з обох боків плазматичної мембрани швидко вирівнюється. Активний транспорт йонів Na^+ і K^+ застосовується для підтримання електричної збудливості нервових і м'язових клітин, полегшує транспорт у клітину моносахаридів, амінокислот, йонів Кальцію.

Біологічне значення калій-натрієвого насоса **полягає в тому, що завдяки йому енергетично сприятливе пересування йонів Натрію в клітину полегшує енергетично несприятливий транспорт низькомолекулярних сполук (глюкози, амінокислот тощо). У цих процесах беруть участь особливі транспортні білки, що входять до складу клітинних мембран.**



Мал. 11.5. 1. Загальна схема, що ілюструє активний транспорт за участі калій-натрієвого насоса. 2. Йони Na^+ виводяться з клітини, де їхня концентрація нижча, ніж у зовнішньому середовищі. 3. Йони K^+ «закачуються» в клітину, де їхня концентрація вища, ніж у позаклітинному середовищі



Мал. 11.6. Схематичне зображення різних видів цитозу: 1 – фагоцитоз; 2 – піноцитоз

До механізмів транспорту речовин через мембрани належить також ***цитоз***. Розрізняють два основних види цитозу: фаго- і піноцитоз (мал. 11.6).

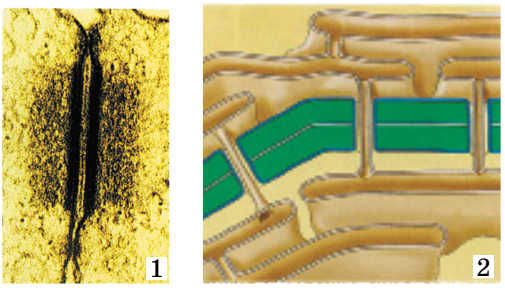
Фагоцитоз (від грец. *фагос* – пожирати) – активне захоплення твердих мікроскопічних об'єктів (частинки органічних сполук, дрібні клітини та ін.) (мал. 11.6, 1). До фагоцитозу здатні певні типи тваринних клітин. *Пригадаймо*: за допомогою фагоцитозу захоплюють їжу деякі одноклітинні організми (як-от амеби) та клітини багатоклітинних тварин (наприклад, травні клітини гідри). Спеціалізовані клітини багатоклітинних тварин за допомогою фагоцитозу здійснюють захисну функцію (наприклад, макрофаги). Вони захоплюють і перетравлюють хвороботворні мікроорганізми.

Піноцитоз (від грец. *піно* – п'ю) – процес поглинання клітиною рідини разом з розчиненими або завислими в ній сполуками (мал. 11. 6, 2). При цьому, як й у разі фагоцитозу, захоплені об'єкти оточуються мембраною. Так виникають піноцитозні пухирці.

Сигнальна функція клітинних мембран. У складі клітинної мембрани є білки, здатні у відповідь на дію різних факторів навколишнього середовища змінювати свою просторову структуру, передаючи сигнали до клітини. Такі особливості будови плазматичної мембрани забезпечують подразливість усіх організмів.

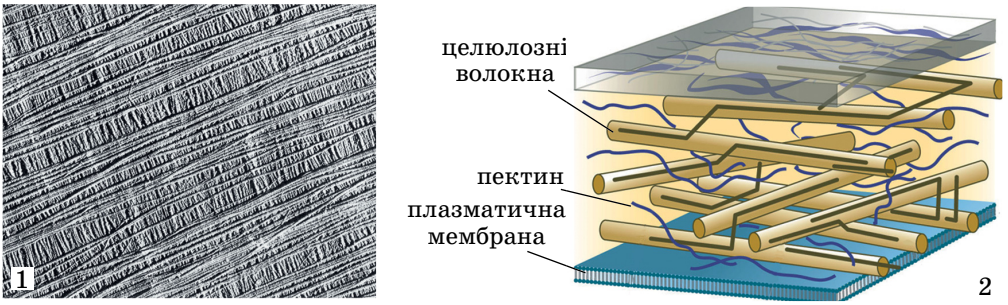
Цікаво знати

З молекулами, що входять до складу плазматичної мембрани, можуть взаємодіяти віруси. Якщо така взаємодія відбулася – вірус проникає до клітини, якщо не відбулася – ні. Саме на цьому базується створення лікарських препаратів проти вірусних інфекцій: вони спрямовані на те, аби унеможливити взаємодію вірусних частинок з відповідними молекулами у складі мембран.



Мал. 11.7. Міжклітинні контакти: 1 – тісні контакти між плазматичними мембранами двох клітин тварин; 2 – контакти між клітинами рослин

Функція забезпечення міжклітинних контактів у багатоклітинних організмів. У місцях контакту двох тваринних клітин мембрани кожної з них здатні утворювати складки або вирости. Вони надають міжклітинному сполученню особливих міцності та пружності, щільно зв'язуючи клітини (мал. 11.7, 1). Клітини рослин сполучаються між собою завдяки утворенню мікроскопічних міжклітинних канальців, устелених мембраною і заповнених цитоплазмою (мал. 11.7, 2).



Мал. 11.8. Клітинна стінка рослинної клітини: 1 – фото, зроблене за допомогою сканувального електронного мікроскопа; 2 – схема будови

Плазматичні мембрани також беруть участь у процесах росту та поділу клітин.

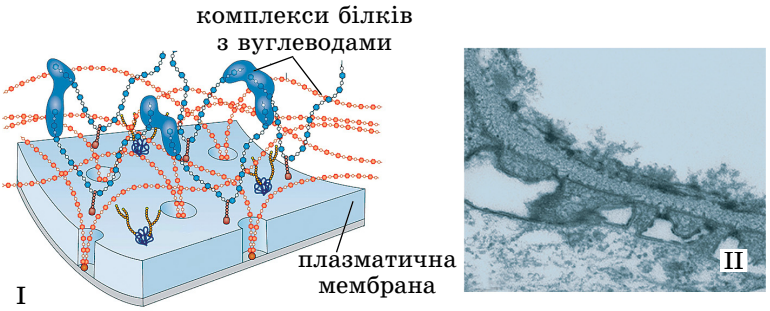
Надмембранні комплекси клітин складаються зі структур, розташованих над плазматичною мембраною. Як ви пам'ятаєте, у рослин і грибів – це клітинна стінка, у клітин тварин – глікокалікс.

Клітинна стінка клітин рослин включає зібрані в пучечки нерозчинні у воді волоконця полісахариду целюлози (мал. 11.8), занурені у своєрідний каркас (матрикс). Залежно від типу тканин і виконуваних ними функцій, до складу клітинної стінки рослин можуть входити й інші вуглеводи, а також ліпіди, білки, неорганічні сполуки (SiO_2, карбонати та ортофосфати кальцію тощо). Наприклад, оболонки клітин корка або судин у рослин з віком просочуються жироподібною речовиною. Унаслідок цього вміст клітини відмирає, що сприяє виконанню ними опорної або провідної функцій. Клітинні стінки здатні дерев'яніти, тобто проміжки між волокнами целюлози заповнює складна полімерна сполука лігнін, яка надає оболонкам додаткової міцності

У різних груп справжніх грибів до складу клітинної оболонки, крім целюлози, входить нітрогенумісний полісахарид хітин, який підвищує її міцність, глікоген, темні пігменти (меланіни) та інші сполуки.

Опорна функція клітинної стінки полягає в підтриманні форми клітини. Клітинна стінка також забезпечує міжклітинні контакти між клітинами рослин (див. мал. 11.7,2).

Глікокалікс – це дуже тоненький поверхневий шар клітин тварин, що складається зі сполук білків і ліпідів з вуглеводами (мал. 11.9). Він нездатний підтримувати форму клітини, але забезпечує безпосередній зв'язок клітин з навколишнім середовищем. До складу глікокаліксу



Мал. 11.9. I. Схема будови глікокаліксу, розташованого над плазматичною мембраною. II. Електронно-мікроскопічне фото глікокаліксу

входять рецепторні молекули, здатні сприймати подразники довкілля. Він бере участь у вибірковому транспорті речовин усередину клітини та назовні (пропускає чи не пропускає молекули залежно від їхніх розмірів, заряду тощо). Крім того, глікокалікс забезпечує зв'язок між клітинами в багатоклітинних тварин.

Підмембранні комплекси клітин – це різноманітні структури білкової природи: мікронитки (мікрофібрили) і мікротрубочки, які утворюють своєрідний скелет клітини – ***цитоскелет***. Докладніше про нього ви дізнаєтеся з наступного параграфа.

Ключові терміни та поняття: **поверхневий апарат клітини, рідинно-мозаїчна модель будови клітинних мембран, пасивний і активний транспорт, фагоцитоз, піноцитоз, глікокалікс.**

Перевірте здобуті знання

1. З яких сполук складаються біологічні мембрани? 2. Що собою становить рідинно-мозаїчна модель будови біологічних мембран? 3. Які основні функції плазматичної мембрани? 4. Як відбувається транспорт речовин через плазматичну мембрану? 5. Що спільного та відмінного між процесами фагоцитозу і піноцитозу? 6. Завдяки чому плазматична мембрана здійснює захисну функцію? 7. Що входить до складу клітинної стінки рослин і грибів? Які її функції? 8. Що таке глікокалікс? Які його функції?

Поміркуйте. 1. Яке значення має рухливість молекул білків у біологічних мембранах для здійснення їхніх функцій? 2. Що спільного та відмінного у будові та функціях клітинної стінки та глікокаліксу?

§12. БУДОВА ЕУКАРІОТИЧНОЇ КЛІТИНИ: ЦИТОПЛАЗМА, РИБОСОМИ, ОРГАНЕЛИ РУХУ, КЛІТИННИЙ ЦЕНТР

Пригадайте з курсу хімії, який розчин називають колоїдним. Що таке золь і гель? Які бувають типи молекул РНК? Які органели руху трапляються в одноклітинних еукаріотів? Як відбувається процес фагоцитозу?

Цитоплазма. Внутрішній уміст клітини, за винятком ядра, називають **цитоплазмою** (від грец. *китос* – клітина та *плазма* – виліплене, сформоване). Це неоднорідний колоїдний розчин органічних і неорганічних речовин у воді – ***цитозоль***. Уміст води може коливатись у значних межах, сягаючи в молодих клітинах до 90 %. З органічних сполук у цитоплазмі є різноманітні білки, амінокислоти, моно-, оліго- та полісахариди, ліпіди, різні типи РНК тощо. З неорганічних – катіони металів (зокрема, Ca^{2+}, K^{+}), аніони карбонатної та ортофосфатної кислот, аніони Cl^{-} та ін.

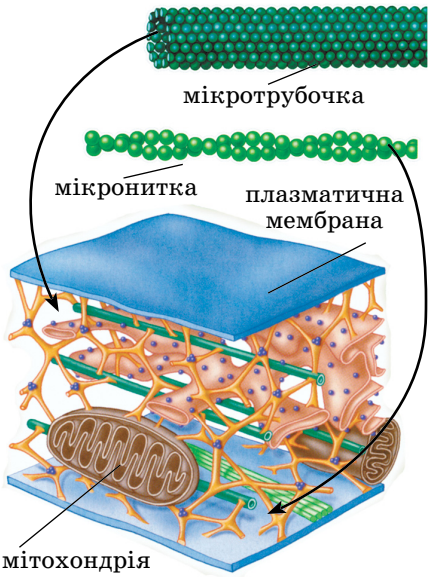
Цитозоль може перебувати в рідкому (*золь*) або драглистому (*гель*) стані. При цьому різні його ділянки можуть одночасно бути у різних станах. Перехід цитозолю з одного стану в інший забезпечує амебоїдний рух клітин за допомогою несправжніх ніжок, а також процеси фаго- та піноцитозу. Фізичний стан цитозолю впливає на швидкість перебігу біохімічних процесів: що він густіший, то повільніше відбуваються біохімічні реакції.

Цитозоль об'єднує в єдину функціональну біологічну систему всі клітинні структури і забезпечує їхню взаємодію. У цитозолі відбуваються транспорт різних сполук, процеси обміну речовин. Цитозоль

перебуває в постійному русі. Ви можете самостійно спостерігати за ним, увівши до живої клітини забарвлені сполуки.

Цитоплазма як внутрішнє середовище клітини характеризується відносною сталістю будови та властивостей. Внутрішній простір еукаріотичної клітини строго впорядкований.

Цитоскелет, або внутрішньоклітинний скелет, – система білкових утворів – мікротрубочок і мікрониток (мікрофіламентів) (мал. 12.1). Він виконує опорну функцію, а також сполучає в єдину систему всі компоненти клітини: її поверхневий апарат, структури цитоплазми, ядро. Елементи цитоскелета сприяють закріпленню органел у певному положенні та їхньому переміщенню в клітині.



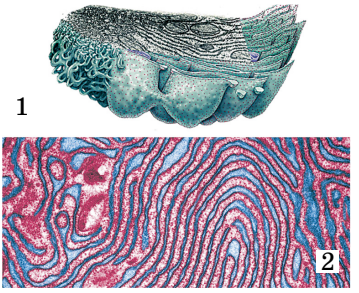
Мал. 12.1. Схема будови цитоскелета

Мікронитки (мікрофіламенти) – тонкі ниткоподібні структури, які складаються зі скоротливих білків, переважно актину (*пригадаймо*: актин – складова м'язових клітин) (мал. 12.1). Вони пронизують цитоплазму й можуть утворювати плетиво під плазматичною мембраною. Пучки мікрониток прикріплені одним кінцем до певної структури (наприклад, плазматичної мембрани), а іншим – до органели тощо.

Мікротрубочки – порожнисті циліндричні білкові структури (мал. 12.1). Вони беруть участь у формуванні веретена поділу еукаріотичних клітин, входять до складу війок, джгутиків тощо. Мікротрубочки забезпечують переміщення органел і макромолекул по клітині.

Внутрішньоклітинні мембрани. Усі клітини сформовані системою *біологічних мембран* (*біомембран*), які відіграють важливу роль у забезпеченні їхнього нормального функціонування. Внутрішнє середовище клітини поділене внутрішньоклітинними мембранами на окремі функціональні ділянки (мал. 12.2).

Така система мембран потрібна для розміщення певних речовин (ферментів, пігментів та ін.), а також для просторово розділення несумісних процесів обміну речовин і перетворення енергії, захисту певних ділянок клітини від дії травних ферментів тощо. У біологічних мембранах відбуваються процеси, пов'язані зі сприйняттям інформації, яка надходить із навколишнього середовища, формуванням і передачею збудження, перетворенням енергії, захистом від проникнення хвороботворних мікроорганізмів та



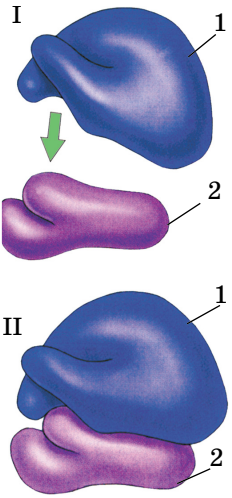
Мал. 12.2. Система внутрішньоклітинних мембран еукаріотичної клітини: схема будови (1); фото, зроблене за допомогою електронного мікроскопа (2

іншими проявами життєдіяльності клітин, органів і організму в цілому. Внутрішньоклітинні мембрани (одна, дві чи більша їхня кількість) оточують різноманітні органели.

Органели (від грец. *органон* – орган, інструмент) – постійні клітинні структури клітини. Кожна з органел забезпечує відповідні процеси життєдіяльності клітини (живлення, рух, синтез певних сполук, зберігання й передачу спадкової інформації тощо).

На відміну від органел, клітинні *включення* – непостійні структури. Вони можуть зникати і знову з'являтись у процесі життєдіяльності клітини. Включення – це запасні сполуки чи кінцеві продукти обміну речовин.

Будова та функції рибосом. Обов'язковими органелами будь-яких клітин є **рибосоми** (від *рибонуклеїнова кислота* та грец. *сома* – тільце). Це немембранні органели (тобто не вкриті зовні клітинними мембранами), які беруть участь у біосинтезі білків у клітині. Рибосоми мають вигляд сферичних тілець, що складаються з двох різних за розмірами частин – *субодиниць*: великої та малої (мал. 12.3). Кожна із субодиниць містить молекули рРНК і білків, які взаємодіють між собою. Субодиниці рибосом можуть роз'єднуватися після завершення синтезу білкової молекули і знову сполучатися між собою під час цього процесу.



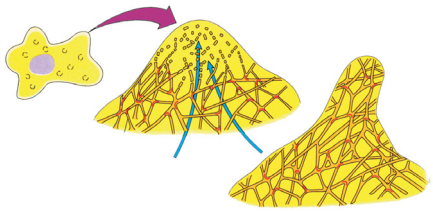
Мал. 12.3. Будова рибосоми. I. Роз'єднані велика (1) та мала (2) субодиниці. II. Велика (1) та мала (2) субодиниці у складі рибосоми

Структурні компоненти рибосом – її субодиниці – утворюються в ядрі. Після цього утворені субодиниці рибосом виходять за межі ядра в цитоплазму. Рибосоми є і в таких органелах, як мітохондрії та пластиди. Але їхні розміри дрібніші, ніж у тих, які містяться у цитоплазмі клітини.

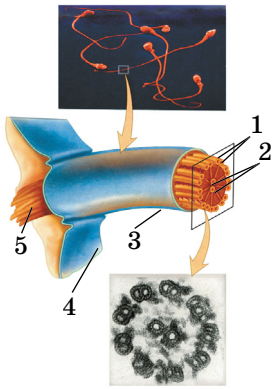
Органели руху клітин еукаріотів. У клітин багатьох одноклітинних і багатоклітинних організмів є органели руху. Це псевдоподії (несправжні ніжки), джгутики і війки.

Псевдоподії (від грец. *псевдо* – несправжній і *подос* – нога) – непостійні вирости цитоплазми. Вони виникають завдяки руху цитоплазми: там, де вона рухається назовні, утворюється виріст клітини, оточений плазматичною мембраною (мал. 12.4). Як ви пам'ятаєте, псевдоподії не лише забезпечують пересування клітини, а й захоплення твердих частинок – процеси фагоцитозу (наприклад, макрофаги за допомогою псевдоподій знешкоджують хвороботворні мікроорганізми).

Джгутики та **війки** трапляються у деяких одноклітинних організмів (хламідомонад, евглен, інфузорій), а також деяких типів клітин багатоклі-



Мал. 12.4. Схема утворення псевдоподії (стрілками зазначено напрямок руху цитоплазми)

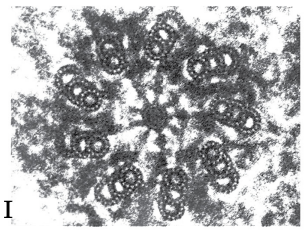


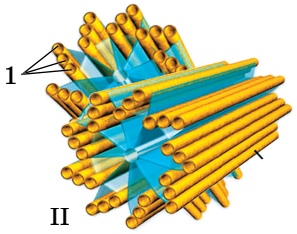
Мал. 12.5. Зріз через вільну частину джгутика: 1 – дев'ять груп з двох мікротрубочок кожна, розташовані по периферії джгутика; 2 – пара центральних мікротрубочок; 3 – мембрана, що оточує вільну частину джгутика; 4 – плазматична мембрана, що оточує клітину; 5 – частина джгутика (базальне тільце), що міститься в цитоплазмі

тинних (епітелій дихальних шляхів ссавців, сперматозоїди тварин, вищих спорових рослин тощо). Джгутики і війки мають вигляд тоненьких виростів цитоплазми (діаметром приблизно 0,25 мкм), укритих плазматичною мембраною. Усередині цих органел є складна система з мікротрубочок (мал. 12.5).

Робота війок загалом нагадує веслування і, зазвичай, скоординована (наприклад, в інфузорій). Для джгутиків характерний гвинтоподібний або хвилеподібний рух. Робота джгутиків і війок не лише забезпечує пересування клітин, а й надходження частинок їжі до поверхні клітини разом з потоками води, які вони створюють (наприклад, рух джгутиків травних клітин гідри). Джгутики і війки можуть також виконувати чутливу (наприклад, у війчастих червів) і захисну (війки епітелію носової порожнини) функції.

Клітинний центр (центросома) – органела, яка складається з двох ***центріолей***, розташованих у світлій ущільненій ділянці цитоплазми (мал. 12.6). Центріолі мають вигляд циліндра, який складається з дев'яти комплексів мікротрубочок, по три в кожному. Вони є в клітинах багатьох багатоклітинних тварин, але відсутні в клітинах вищих рослин, деяких грибів. Їхня функція полягає в тому, що ці структури беруть участь у формуванні веретена поділу клітини (детальніше про нього ви дізнаєтесь згодом). Клітинний центр також бере участь у формуванні мікротрубочок цитоплазми, джгутиків і війок.





Мал. 12.6. Будова клітинного центру: I. Фото, зроблене за допомогою електронного мікроскопа. II. Схема будови центріолей: 1 – групи мікротрубочок по три у кожній

Ключові терміни та поняття: **цитозоль, рибосоми, псевдоподії, джгутики, війки, клітинний центр, центріолі.**

Перевірте здобуті знання

1. Що таке цитоплазма? 2. Який склад і функції цитозолю? 3. Яка будова рибосом? Які їхні функції? 4. Що таке псевдоподії? Які їхні функції? 5. Що спільного і відмінного в будові та роботі джгутиків і війок? Які їхні функції? 6. Що таке клітинний центр?

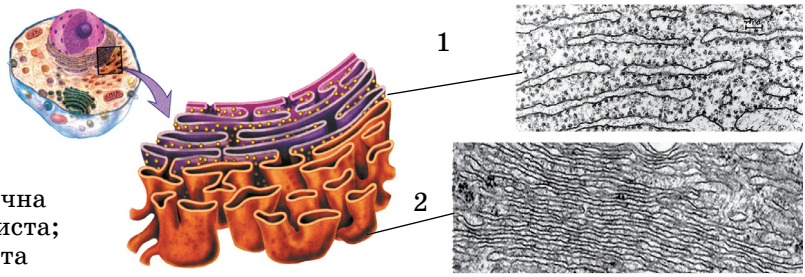
Поміркуйте. Які клітини організму людини мають псевдоподії, джгутики або війки? Які їхні функції?

§13. БУДОВА ЕУКАРІОТИЧНОЇ КЛІТИНИ: ЕНДОПЛАЗМАТИЧНА СІТКА, КОМПЛЕКС ГОЛЬДЖІ, ЛІЗОСОМИ, ВАКУОЛІ

Пригадайте будову та функції рибосом. Які органели клітин еукаріотів оточені однією мембраною? Які вакуолі трапляються в клітинах прісноводних одноклітинних організмів, клітинах рослин, грибів і тварин? Що таке піноцитоз і фагоцитоз?

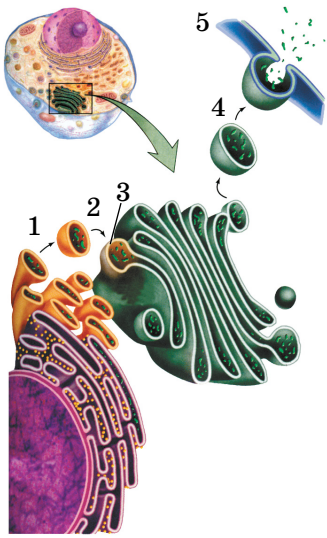
Ви вже знаєте, що внутрішній вміст еукаріотичної клітини впорядкований системою мембран.

Будова та функції ендоплазматичної сітки. **Ендоплазматична сітка,** або **ендоплазматичний ретикулум** (мал. 13.1), становить собою систему порожнин у вигляді мікроскопічних канальців та їхніх потовщень (так званих цистерн). Вони обмежені клітинною мембраною та сполучаються між собою. Розрізняють два різновиди ендоплазматичної сітки: зернисту та незернисту. ***Зерниста,*** або ***гранулярна, ендоплазматична сітка*** дістала свою назву тому, що на її мембранах розташовані рибосоми. Мембрани зернистої ендоплазматичної сітки можуть сполучатися з плазматичною мембраною. На мембранах ***незернистої***, або ***агранулярної***, ***ендоплазматичної сітки*** рибосом немає.



Мал. 13.1. Ендоплазматична сітка: 1 – зерниста; 2 – незерниста

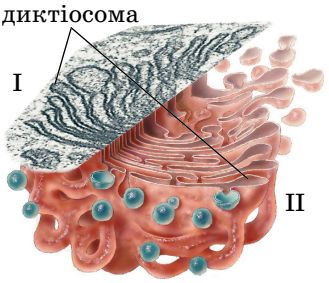
Різновиди ендоплазматичної сітки – зерниста та незерниста – мають просторові та функціональні зв'язки: їхні мембрани безпосередньо переходять одна в одну. Одна з основних функцій зернистої ендоплазматичної сітки – забезпечення біосинтезу білків. Ці процеси відбуваються на її мембранах за участі рибосом (докладніше про процеси синтезу білків ви дізнаєтеся з § 23). Синтезовані білки можуть накопичуватись у порожнинах зернистої ендоплазматичної сітки, розподілятися між різними



Мал. 13.2. Білки утворюються на мембранах ендоплазматичної сітки, а потім у складі пухирців, оточених мембраною (1), відокремлюються від ендоплазматичної сітки (2) і прямують до комплексу Гольджі (3). Далі пухирці, оточені мембраною (4), відокремлюються від комплексу Гольджі та прямують до плазматичної мембрани (5)

ділянками клітини або виводитися з неї назовні (мал. 13.2). Крім того, зерниста ендоплазматична сітка бере участь у синтезі компонентів клітинних мембран, зокрема зовнішньої мембрани оболонки ядра в період між двома поділами клітини.

На мембранах незернистої ендоплазматичної сітки синтезуються ліпіди, вуглеводи, зокрема деякі гормони, ці сполуки можуть накопичуватись в її порожнинах. У порожнинах незернистої ендоплазматичної сітки (наприклад, у клітинах печінки) накопичуються і знешкоджуються отруйні для організму сполуки, які згодом виводяться з клітини й організму.

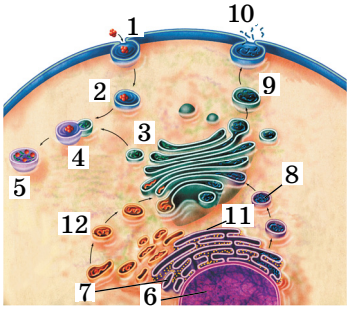


Мал. 13.3. Комплекс Гольджі. I. Фото, зроблене за допомогою електронного мікроскопа. II. Схема будови

Ендоплазматична сітка просторово і функціонально пов'язана з комплексом Гольджі (мал. 13.2).

Комплекс Гольджі – одна з обов'язкових органел еукаріотичних клітин. Її основною структурною одиницею є купки пласких мішечків, оточених мембранами, – ***диктіосоми***. Поруч розташовані пухирці та канальці (мал. 13.3). До одного з полюсів мішечків комплексу Гольджі постійно підходять пухирці, які відокремлюються від ендоплазматичної сітки і містять речовини, що там утворилися. Зливаючись з мішечками комплексу Гольджі, ці пухирці віддають їм свій уміст. З іншого полюсу мішечків відокремлюються пухирці, наповнені різними речовинами (мал. 13.3, 13.4).

Функції комплексу Гольджі різноманітні. Насамперед у цій органелі накопичуються і певним чином змінюються деякі сполуки (наприклад, білки, які можуть сполучатись з вуглеводами або ліпідами). Речовини, які надійшли до мішечків комплексу Гольджі сортуються за хімічним складом і призначенням. Відсортовані молекули переходять з одних мішечків до інших і згодом у вигляді пухирців, оточених мембраною, відокремлюються від цієї органели. Відокремлені пухирці транспортуються за допомогою мікротрубочок і можуть віддавати свій уміст іншим органелам. Або ж вони зливаються з плазматичною мембраною, видаляючи свій вміст з клітини (див. мал. 13.2).



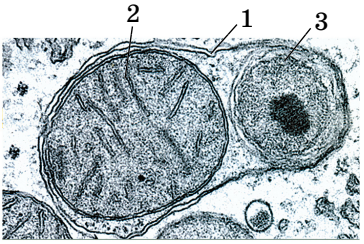
Мал. 13.4. Просторові зв'язки між ендоплазматичною сіткою, комплексом Гольджі та плазматичною мембраною: 1 – процес фагоцитозу (частинки їжі оточуються плазматичною мембраною); 2 – частинки їжі, оточені мембраною, надходять у цитоплазму; 3 – від комплексу Гольджі відокремлюється лізосома; 4 – лізосома зливається з пухирцем, що містить частинки їжі; 5 – утворюється травна вакуоля; 6 – ядро клітини; 7 – зерниста ендоплазматична сітка; 8 – транспортний міхурець, що містить білки; 9 – екскреторний міхурець підходить до мембрани; 10 – вміст екскреторного міхурця виводиться з клітини; 11 – незерниста ендоплазматична сітка; 12 – міхурець з ліпідами прямує до комплексу Гольджі

Комплекс Гольджі бере участь у формуванні деяких органел клітин еукаріотів, зокрема лізосом. У вигляді пухирців, оточених мембраною, лізосоми відокремлюються від цієї органели. А ферменти, які входять до складу лізосом, синтезуються на мембранах зернистої ендоплазматичної сітки (мал. 13.4).

Одна з основних функцій комплексу Гольджі – накопичення і зміна речовин, їхнє пакування в мембранні пухирці.

Лізосоми (від грец. *лізіс* – розчинення) – органели у вигляді мікроскопічних пухирців, оточених мембраною. Вони містять ферменти, здатні розщеплювати різні сполуки (білки, вуглеводи, ліпіди тощо). У клітині можуть бути різні види лізосом, які відрізняються особливостями будови і функціями.

Одні з лізосом, зливаючись з піноцитозними або фагоцитозними пухирцями, беруть участь у формуванні травних вакуоль. При цьому активізуються ферменти і вміст вакуолі перетравлюється. Таким чином, лізосоми забезпечують процеси внутрішньоклітинного травлення.

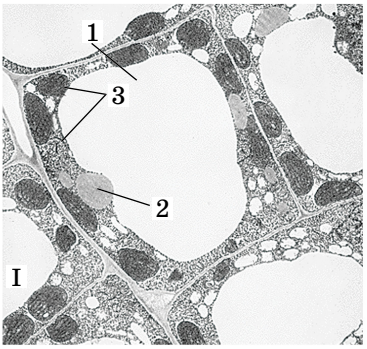


Мал. 13.5. Лізосома (1), у якій перетравлюються мітохондрія (2) та пероксисома (3), термін життя яких вичерпано

Ще один вид лізосом бере участь у перетравленні окремих компонентів клітин (мал. 13.5), цілих клітин або їхніх груп. Лізосоми можуть здійснювати і захисну функцію – перетравлювати хвороботворні мікроорганізми.

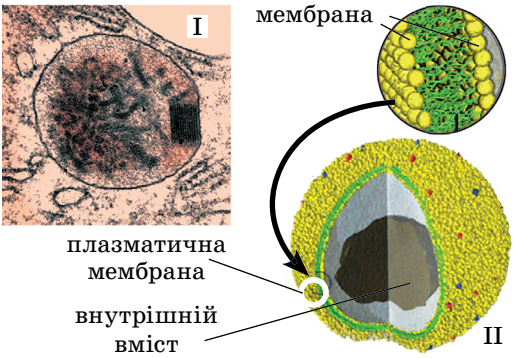
Вакуолі (від лат. *вакуус* – порожній) – органели клітини, які мають вигляд порожнин, оточених мембраною і заповнених рідиною. Бувають різні види вакуоль. Про утворення травних вакуоль, у яких перетравлюються поживні речовини і мікроорганізми, що надходять у клітину, ми вже згадували (див. мал. 13.2, 4, 5).

Вакуолі рослинних клітин утворюються з пухирців, які відокремлюються від ендоплазматичної сітки. Згодом дрібні вакуолі зливаються в більші, які можуть охоплювати майже весь об'єм цитоплазми (мал. 13.6, 1). Такі вакуолі заповнені *клітинним соком* – водним розчином органічних і неорганічних сполук. Функції вакуоль клітин рослин різноманітні: вони підтримують внутрішньоклітинний тиск, забезпечуючи збереження форми клітин, у



Мал. 13.6. Різні типи вакуоль. I. Вакуоля в рослинній клітині: 1 – вакуоля з клітинним соком; 2 – ядро; 3 – хлоропласти. II. Будова скоротливої вакуолі інфузорії-туфельки (1)

них містяться запасні поживні речовини, кінцеві продукти обміну або пігменти. Червоні, сині, жовті тощо пігменти, які розчиняються у клітинному соку, зумовлюють забарвлення певних типів рослинних клітин (червоний колір плодів вишні, коренеплодів редису, пелюсток тощо). Завдяки напівпроникності через мембрани вакуоль відбувається транспорт речовин із цитозолю в їхню порожнину і навпаки.



Мал. 13.7. Пероксисома: I. Фото, зроблене за допомогою електронного мікроскопа. II. Схема будови

У клітинах прісноводних одноклітинних еукаріотів є ***скоротливі вакуолі*** – вкриті мембраною пухирці, здатні змінювати свій об'єм (мал. 13.6,2). Це пов'язано з тим, що в прісній воді концентрація солей значно нижча, ніж у цитоплазмі. Тому, згідно з фізичними законами, вода з навколишнього середовища надходить до клітини, підвищуючи тиск усередині неї. Стінки вакуоль скорочуються завдяки скоротливим білкам, які входять до складу їхніх оболонок. Таким чином, скоротливі вакуолі регулюють внутрішньоклітинний тиск, виводячи надлишок води з клітини і запобігаючи її руйнуванню.

Пероксисоми (від грец. *пери* – навколо, лат. *окси* – Оксиген та грец. *сома* – тіло), або *мікротільця* (мал. 13.7), – органели кулястої форми, оточені мембраною. У них містяться різноманітні ферменти, зокрема ті, що здатні розщеплювати гідроген пероксид H_2O_2 до кисню та води. Оскільки гідроген пероксид – токсична для клітини сполука, то цей процес має захисне значення.

Ключові терміни та поняття: **ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, вакуолі, пероксисоми.**

Перевірте здобуті знання

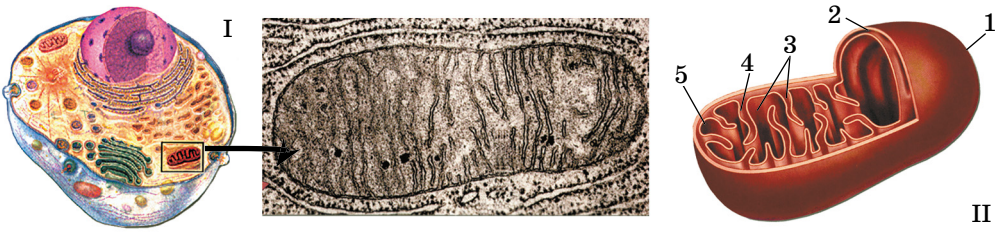
1. Що спільного та відмінного в будові та функціях зернистої та незернистої ендоплазматичної сітки? 2. Які особливості будови та функцій комплексу Гольджі? 3. Які функції лізосом у клітині? 4. Які ви знаєте типи вакуоль? Які їхні функції? 5. Що таке пероксисоми? Яка їхня роль у клітині?

Поміркуйте. У чому полягає просторовий і функціональний зв'язок між окремими одномембранними органелами клітин?

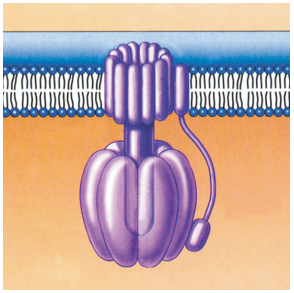
§14. БУДОВА ЕУКАРІОТИЧНОЇ КЛІТИНИ: МІТОХОНДРІЇ І ПЛАСТИДИ

Пригадайте функції хлоропластів. Які види пластид ви знаєте? Які організми називають анаеробами? Які особливості забарвлення хлоропластів у різних представників водоростей? Чим вони зумовлені? Що таке АТФ?

Мітохондрії і пластиди – органели клітин еукаріотів, поверхневий апарат яких зазвичай складається з двох мембран, розділених між-



Мал. 14.1. Будова мітохондрії: I. Фото, зроблене за допомогою електронного мікроскопа. II. Схема будови: 1 – зовнішня мембрана; 2 – внутрішня мембрана; 3 – кристи; 4 – міжмембранний простір; 5 – матрикс



Мал. 14.2. Схема будови АТФ-соми – структури, до складу якої входять ферменти, що забезпечують синтез молекул АТФ: 1 – АТФ-сома; 2 – внутрішня мембрана мітохондрії

мембранним простором. З іншими органелами клітини мітохондрії та пластиди просторово не пов'язані. Спільними їхніми функціями є участь в енергетичному обміні клітини.

Мітохондрії (від грец. *мітос* – нитка і *хондріон* – зерно) є своєрідними генераторами енергії в клітині. Вони мають вигляд кулястих тілець, паличок, ниток (мал. 14.1). Число цих органел у клітинах різних типів може коливатись від 1 до 100 000 і більше й залежить від того, наскільки активно в клітині відбуваються процеси обміну речовин і перетворення енергії.

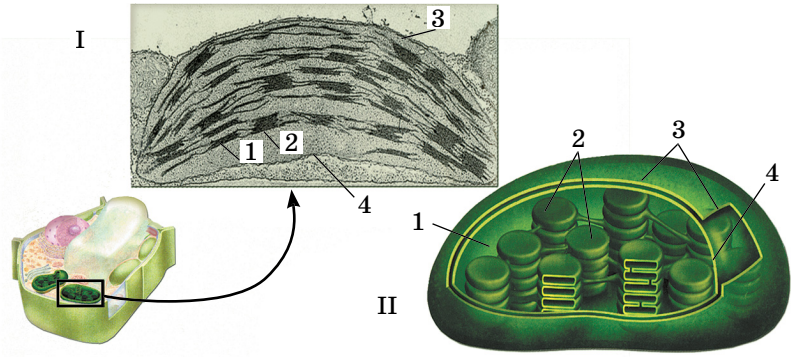
Зовнішня мембрана мітохондрій гладенька, вона відмежовує цю органелу від цитозолю. Внутрішня мембрана утворює вгини всередину органел – ***кристи*** (мал. 14.1, II). Кристи мають вигляд дископодібних, трубчастих чи пластинчастих утворів, вони часто розгалужуються. На внутрішній мембрані, оберненій всередину мітохондрії, є особливі грибоподібні білкові утвори – ***АТФ-соми*** (мал. 14.2). Вони містять комплекс ферментів, потрібних для синтезу молекул АТФ.

Внутрішній простір мітохондрій становить собою напіврідке середовище – ***матрикс***. Там містяться рибосоми, молекули ДНК, мРНК, тРНК тощо. У матриксі синтезуються білки, що входять до складу внутрішньої мембрани мітохондрій.

Основна функція мітохондрій – синтез АТФ. Цей процес відбувається за рахунок енергії, яка вивільняється під час окиснення органічних сполук.

Пластиди (від грец. *пластидес* – виліплений, сформований) – органели клітин рослин і деяких одноклітинних тварин (наприклад, евглени зеленої). Відомо три типи пластид – хлоропласти, хромопласти, лейкопласти, які різняться за забарвленням, особливостями будови та функціями.

Хлоропласти (від грец. *хлорос* – зелений) – пластиди, зазвичай забарвлені в зелений колір завдяки наявності пігменту хлорофілу (мал. 14.3). З курсу біології 6 класу ви знаєте, що в них відбуваються процеси фотосинтезу.



Мал. 14.3. Внутрішня будова хлоропласта: I. Фото, зроблене за допомогою електронного мікроскопа. II. Схема будови: 1 – строма; 2 – грани тилакоїдів; 3 – зовнішня мембрана; 4 – внутрішня мембрана

Як і в мітохондрій, зовнішня мембрана хлоропластів гладенька, а внутрішня утворює вирости, спрямовані всередину органели. Речовина, що заповнює внутрішній простір хлоропласта, має назву ***строма*** (мал. 14.3). З внутрішньою мембраною пов'язані структури – ***тилакоїди***. Це пласкі цистерни, оточені мембраною. Тилакоїди зібрані в ***грани***, що нагадують стоси монет. У тилакоїдах містяться основні (хлорофіли) та допоміжні (каротиноїди) пігменти, а також усі ферменти, потрібні для здійснення фотосинтезу. У стромі хлоропластів є молекули ДНК, різних типів РНК, рибосоми, зерна запасного полісахариду (переважно крохмалю).

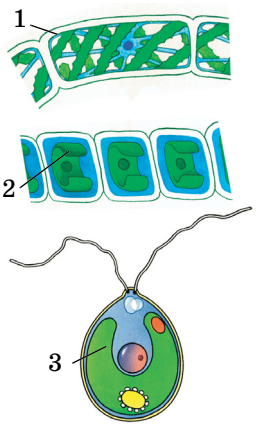
Лейкопласти (від грец. *лейкос* – безколірний) – безбарвні пластиди різноманітної форми, у яких запасаються деякі сполуки (крохмаль, білки тощо). У стромі лейкопластів містяться ферменти, які забезпечують синтез і розщеплення запасних речовин.

Хромопласти (від грец. *хроматос* – колір, фарба) – пластиди, забарвлені в різні кольори (жовтий, червоний, фіолетовий). Забарвлення їм надають пігменти (переважно каротиноїди), які в них накопичуються. Оскільки хлорофіл у хромопластах відсутній, зеленого забарвлення вони не мають. Хромопласти надають певного забарвлення пелюсткам квіток, плодам, листкам тощо. Внутрішня система мембран у хромопластах, так само, як і в лейкопластах, відсутня або утворена лише окремими тилакоїдами.

Пластиди одного типу здатні перетворюватись на пластиди іншого. Так, лейкопласти можуть перетворюватися на хлоропласти або хромопласти. Під час старіння листків, стебел, дозрівання плодів у хлоропластах руйнується хлорофіл, спрощується будова внутрішньої мембранної системи, і вони перетворюються на хромопласти. Хромопласти на пластиди інших типів не перетворюються.

Цікаво знати

У клітинах певних груп водоростей (червоних, бурих тощо) колір хлоропластів може бути не зеленим, а іншим. Це пояснюється тим, що у них, крім хлорофілу, є й інші пігменти – червоні, жовті, бурі тощо.



Мал. 14.4. Різна форма хлоропластів у клітинах зелених водоростей: 1 – стрічкоподібні в клітинах спірогіри; 2 – у вигляді незамкненого кільця в клітинах улотрикса; 3 – чашоподібний у клітині хламідомонади

У хлоропластах, як і в мітохондріях, синтезуються молекули АТФ. З мембранами тилакоїдів пов'язані АТФ-соми.

У клітинах водоростей хлоропласти можуть мати різний вигляд: чаші, незамкненого пояска, спірально закручених стрічок тощо (мал. 14.4).

Автономія мітохондрій і хлоропластів у клітині. Для хлоропластів і мітохондрій, на відміну від інших органел, характерне певною мірою незалежне від інших структур клітини функціонування. Ці органели містять власну спадкову інформацію – кільцеві молекули ДНК, а також здатні синтезувати власні білки. Вони не виникають з інших мембранних структур клітини, а розмножуються поділом.

Ключові терміни та поняття: **мітохондрії, кристи, пластиди, тилакоїди.**

Перевірте здобуті знання

1. Яка будова поверхневого апарату мітохондрій і пластид? 2. Як будова мітохондрій пов'язана з їхніми функціями? 3. Які ви знаєте типи пластид? 4. Яка будова хлоропластів? 5. Які функції хлоропласти виконують у клітині? 6. Яка будова і функції лейкопластів і хромопластів? 7. Які взаємні переходи можливі між пластидами різних типів?

Поміркуйте. Висловте припущення, про що можуть свідчити особливості будови і властивості мітохондрій і хлоропластів.

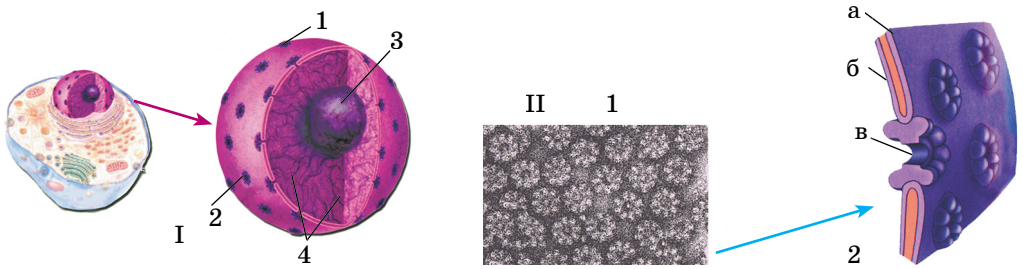
§15. ЯДРО: БУДОВА ТА ФУНКЦІЇ

Пригадайте функції ядра клітини. Що таке хромосоми? Що таке ген? Які будова і функції нуклеїнових кислот? Що вивчає наука систематика? Які білки називають глобулярними, а які – фібрилярними? Які рослини називають однодомними та дводомними? Яка будова та функції рибосом?

Ядро – обов'язкова складова будь-якої еукаріотичної клітини. У ньому зберігається спадкова інформація. Ядро регулює процеси життєдіяльності клітин. Лише деякі типи клітин еукаріотів у зрілому стані позбавлені ядра. Це, зокрема, еритроцити більшості ссавців, ситоподібні трубки вищих рослин. У таких клітинах ядро формується на початкових етапах розвитку, а потім руйнується. Втрата ядра супроводжується нездатністю клітини до розмноження.

У багатьох клітин є лише одне ядро, але є клітини, які містять декілька або багато ядер (інфузорії, форамініфери, деякі водорості, гриби, посмуговані м'язові волоконця тощо).

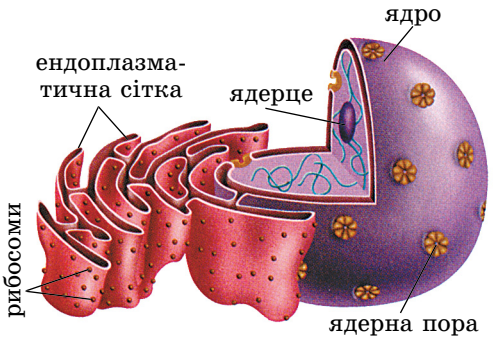
Ядро складається з поверхневого апарату і внутрішнього середовища (матриксу) (мал. 15.1, I). ***Поверхневий апарат ядра*** утворений двома мембранами – зовнішньою та внутрішньою, між якими є заповнений рідиною щілиноподібний простір. У деяких місцях зовнішня



Мал. 15.1. I. Будова ядра: 1 – оболонка ядра; 2 – ядерна пора; 3 – ядерце; 4 – нитки хроматину. II. Поверхневий апарат ядра: 1 – мікрофотографія, зроблена за допомогою сканувального електронного мікроскопа (помітні ядерні пори); 2 – схема будови: а) зовнішня мембрана; б) внутрішня мембрана; в) ядерна пора

мембрана ядра з'єднана із внутрішньою навколо мікроскопічних отворів – *ядерних пор* (мал. 15.1, II).

Поверхневий апарат ядра забезпечує регуляцію транспорту речовин, які проходять через нього. Із цитоплазми всередину ядра надходять синтезовані в ній білки. Натомість з ядра до цитоплазми транспортуються різні типи молекул РНК. Білки ядерної пори забезпечують впізнавання, сортування та транспорт різних сполук.

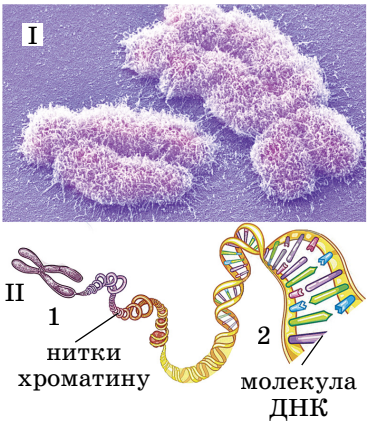


Мал. 15.2. Функціональний зв'язок ядра з іншими мембранними органелами

Поверхневий апарат ядра функціонально контактує з мембранами ендоплазматичної сітки (мал. 15.2). На поверхні зовнішньої ядерної мембрани може бути розташована велика кількість рибосом.

Внутрішнє середовище ядра – **ядерний матрикс** – складається з ядерного соку, ядерець і ниток хроматину (див. мал. 15.1). **Хроматин** (від грец. *хроматос* – фарба) – ниткоподібні структури ядра, утворені здебільшого з білків та нуклеїнових кислот. Під час поділу клітини нитки хроматину ущільнюються і з них формуються компактні тільця – ***хромосоми*** (мал. 15.3).

Ядерний сік (*каріоплазма,* або *нуклеоплазма*) за будовою та властивостями нагадує цитоплазму. У ньому є білкові нитки



Мал. 15.3. I. Хромосоми людини (фото, зроблене за допомогою сканувального електронного мікроскопа). II. Різні стани хроматину (схема): 1 – ущільнений; 2 – неущільнений

(фібрили), які утворюють особливий внутрішньоядерний скелет. Він сполучає різні структури: ядерця, нитки хроматину, ядерні пори тощо.

Ядерця – щільні структури, що складаються з комплексів РНК з білками, хроматину і гранул, які слугують попередниками складових рибосом (див. мал. 15.1). У ядрі може бути від одного до багатьох ядерець (наприклад, у яйцеклітинах риб), які формуються на особливих ділянках хромосом. Функції ядерця полягають в утворенні рРНК і складових рибосом, які згодом виходять у цитоплазму.

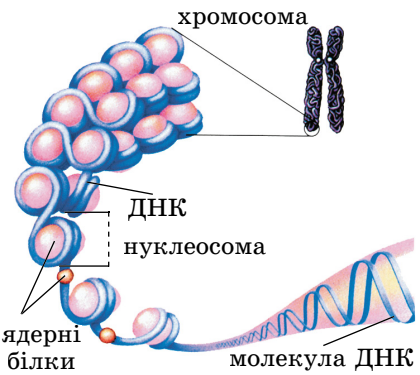
Функції ядра. Ядро зберігає спадкову інформацію і забезпечує її передачу від материнської клітини дочірнім. Крім того, воно є своєрідним центром керування процесами життєдіяльності клітини, зокрема, регулює процеси біосинтезу білків. Саме в ядрі з молекул ДНК на молекули мРНК переписується інформація про структуру білків. Згодом ця інформація передається до місця їхнього синтезу. В ядрі за участю ядерець утворюються складові рибосом.

Цікаво знати

У деяких одноклітинних тварин, як-от інфузорії, є ядра двох типів: *генеративні* та *вегетативні.* Ядра першого типу забезпечують зберігання та передавання спадкової інформації, другого – регулюють процеси біосинтезу білків.

Завдяки реалізації спадкової інформації, закодованої в молекулі ДНК, ядро регулює біохімічні, фізіологічні й морфологічні процеси, які відбуваються в клітині.

Будова хромосом. Основу хромосоми становить дволанцюгова молекула ДНК, зв'язана з ядерними білками (мал. 15.4). Крім того, до складу хромосом входять РНК та ферменти, потрібні для подвоєння молекул ДНК або синтезу молекул РНК.

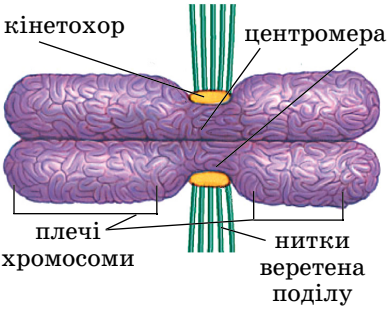


Мал. 15.4. Взаємодія ядерних білків і молекул ДНК у складі нитки хроматину

Молекули ДНК у хромосомах розташовані певним чином. Ядерні білки утворюють особливі структури – ***нуклеосоми*** (від лат. *нуклеус* – ядро та грец. *сома* – тіло), навколо яких наче накручені нитки ДНК. Кожна нуклеосома складається з восьми білкових глобул. Така організація забезпечує компактну структуру молекул ДНК, довжина яких у розгорнутому стані значно перевищує довжину самих хромосом. Наприклад, довжина хромосом під час поділу клітини в середньому становить 0,5–1 мкм, а розгорнутих молекул ДНК – декілька сантиметрів і більше. Отже, щільне пакування молекули ДНК дає їй змогу ефективно керувати процесами біосинтезу білків, процесами власного самоподвоєння, захищає від пошкоджень під час поділу клітини.

Кожна хромосома складається з двох поздовжніх структурних частин – ***хроматид***, що з'єднані між собою у ділянці, яку називають

зоною первинної перетяжки ***(центромерою)*** (мал. 15.5). Вона поділяє хромосоми на ділянки – *плечі*. На центромері формується білкова структура – *кінетохор* (грец. *кінео* – рухаюсь та *хорео* – іду вперед). Під час поділу клітини до кінетохора приєднуються нитки веретена поділу, що забезпечує впорядкований розподіл окремих хроматид або цілих хромосом між дочірніми клітинами.



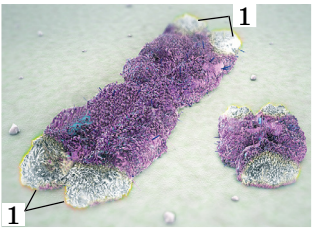
Мал. 15.5. Схема будови хромосоми

Кожна з хроматид містить по молекулі ДНК з подібним набором спадкової інформації. Під час поділу клітини хроматиди розходяться до дочірніх клітин, а в період між двома поділами – число хроматид знову подвоюється. Це відбувається завдяки здатності молекул ДНК до самоподвоєння. *Пригадаймо*: хромосоми містять гени – ділянки молекули ДНК із закодованою інформацією про будову молекул білка або РНК.

Підрахувати кількість хромосом і розглянути особливості їхньої будови за допомогою мікроскопа можливо лише під час поділу клітини. У період між послідовними поділами хромосоми розкручуються і мають вигляд ниток хроматину.

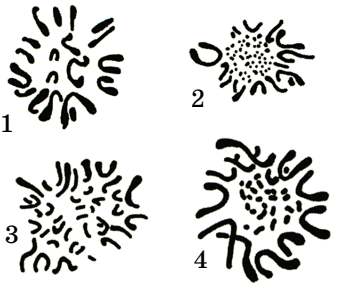
Цікаво знати

Кінцеві ділянки хромосоми мають назву ***теломери*** (мал. 15.6). Вони захищають молекулу ДНК. Щоразу, коли самі хромосоми подвоюються в період між поділами клітини, їхні кінцеві ділянки не подвоюються. Якби не теломери, які не мають у своєму складі активних генів, то під час кожного поділу клітини хромосоми швидко б втрачали важливу генетичну інформацію. Адже з кожним поділом клітини хромосоми втрачають на своїх кінцях маленьку ділянку молекули ДНК (50–100 пар нуклеотидів) і тому вкорочуються. Лише в деяких типів клітин (наприклад, стовбурових) утрачена ділянка теломер відновлюється за допомогою особливого ферменту. Учені вважають, що вкорочення теломер є однією з причин процесу старіння.

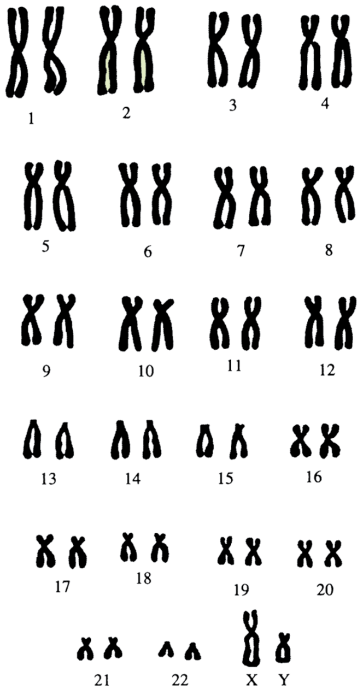


Мал. 15.6. Теломери (1)

Каріотип. Клітини кожного виду тварин, рослин, грибів мають певний набір хромосом. Сукупність ознак хромосомного набору (кількість хромосом, їхня форма і розміри) називають **каріотипом** (від грец. *каріон* – ядро і *типос* – форма) (мал. 15.7). Кожному виду притаманний свій каріотип. Наприклад, у нестатевих клітинах мухи-дрозофіли всього 8 хромосом (4 пари), людини – 46 (23 пари).



Мал. 15.7. Каріотипи різних тварин: 1 – щуки; 2 – курки; 3 – кішки; 4 – саламандри



Мал. 15.8. Каріотип людини (чоловіка) (цифрами позначено пари гемологічних хромосом)

Постійність каріотипу забезпечує існування видів. Особливий каріотип особин одного виду дає їм змогу паруватися між собою, залишати життєздатних нащадків і зазвичай унеможливлює їхнє парування з особинами інших. Якщо ж таке парування і відбувається, то нащадки або взагалі не утворюються, або ж вони нежиттєздатні чи нездатні до розмноження.

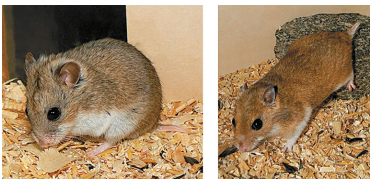
Хромосомний набір ядра може бути гаплоїдним, диплоїдним або поліплоїдним. У **гаплоїдному** (від грец. *гаплоос* – поодинокий) **наборі** (його умовно позначають 1n) усі хромосоми відрізняються одна від одної за будовою. У **диплоїдному** (від грец. *диплоос* – подвійний) **наборі** (2n) кожна хромосома має парну, подібну за розмірами та особливостями будови; їх називають ***гомологічними***. Відповідно хромосоми, які не належать до певної пари, не гомологічні одна до одної.

Якщо кількість гомологічних хромосом перевищує дві, то такі хромосомні набори належать до ***поліплоїдних*** (від грец. *поліс* – численний): триплоїдних (3n), тетраплоїдних (4n) тощо.

У роздільностатевих тварин і дводомних рослин в особин певної статі хромосоми однієї з пар різняться між собою, тоді як в особин іншої – вони подібні. Це **статеві хромосоми**, які ще називають ***гетерохромосомами*** (від грец. *гетерос* – інший). Хромосоми інших пар, які подібні у всіх особин, незалежно від статі, називають **нестатевими**, або ***аутосомами*** (від грец. *аутос* – сам). Так, у хромосомному наборі людини є 44 аутосоми та дві гетерохромосоми (їх умовно позначать як X- та Y-хромосоми). У жінки є дві *X-хромосоми*, тоді як у чоловіка є лише одна *X-хромосома* та одна *Y-хромосома* (мал. 15.8). Зрозуміло, якщо аутосоми мають подібний набір генів, то в *X*- та *Y*-хромосомах він різний.

Цікаво знати

Будову каріотипу застосовують у систематиці організмів для розпізнавання близьких за будовою видів, яких важко розпізнати за особливостями зовнішньої будови. Так, два близькі види хом'яків (китайський і даурський) дуже подібні за будовою і відрізняються лише за набором хромосом (відповідно 22 і 20 у диплоїдному наборі) (мал. 15.9). Крім того, вивчення каріотипу дає змогу встановлювати ступінь історичної спорідненості між організмами.



Мал. 15.9. Два види хом'яків: китайський (1) та даурський (2), які подібні зовні, але різняться за особливостями каріотипу

Ключові терміни та поняття: **ядро, ядерце, хроматин, хромосоми, центромера, каріотип, аутосоми, гетерохромосоми.**

Перевірте здобуті знання

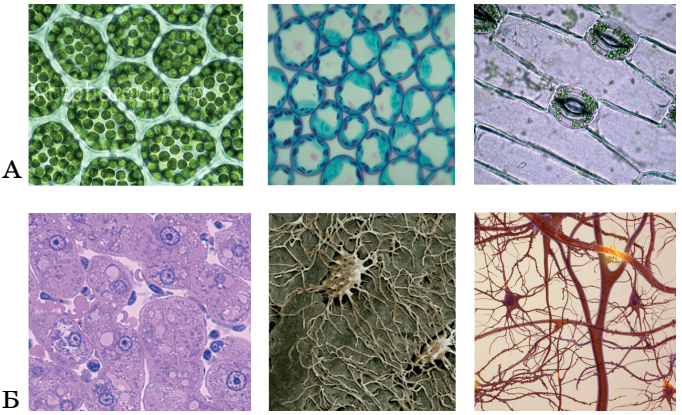
1. Із чого складається поверхневий апарат ядра? 2. Що собою становить матрикс ядра? 3. Що таке хроматин? 4. Які будова та функції ядерець? 5. Що ви знаєте про функції ядра в клітині? 6. Яка будова хромосом? 7. Що таке каріотип? Чим він характеризується?

Поміркуйте. 1. Чому еукаріотичні клітини, які втратили ядро, нездатні до поділу? 2. Чому існування видів залежить від стабільності їхніх каріотипів?

§16. ТИПИ КЛІТИН ТА ЇХНЯ ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА. БУДОВА ПРОКАРІОТИЧНОЇ КЛІТИНИ

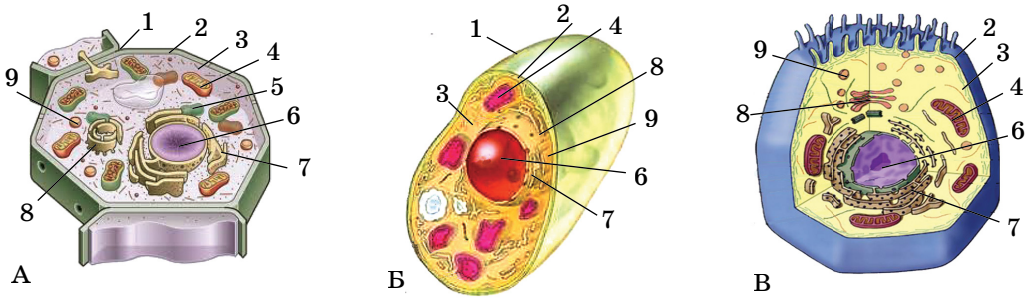
Пригадайте будову і функції плазматичної мембрани. Що таке хромосоми, спори, інцистування? Які функції ДНК у клітині?

Ви вже знаєте, що існують організми одноклітинні та багатоклітинні. В одноклітинних істот клітина одночасно є цілісним самостійним організмом, який здійснює всі життєві функції, притаманні й багатоклітинним тваринам, рослинам і грибам. Тому клітина одноклітинних організмів часто організована складніше, ніж клітини багатоклітинних. Клітини багатоклітинних істот зазвичай спеціалізуються на здійсненні лише певних функцій. Вони можуть утворювати тканини. Отже, у багатоклітинних організмів клітини слугують елементарними складовими частинами тканин або органів. Функціонування таких організмів як цілісних біологічних систем можливе лише завдяки взаємодії клітин різних типів (мал. 16.1).



Мал. 16.1. Різні типи еукаріотичних клітин: А. Рослин. Б. Тварин. ***Завдання.*** *Розгляньте малюнок. Користуючись знаннями з біології, одержаними в попередніх класах, визначте ці клітини, тканини, до складу яких вони входять, залежність їхньої будови від виконуваних функцій*

Особливості будови клітини рослин, грибів і тварин. Ви вже знаєте, що залежно від рівня організації клітини всі організми поділяють на дві групи – прокаріотів та еукаріотів. Клітини прокаріотів (бактерій, археїв) мають простішу будову (вони позбавлені ядра, більшості органел тощо). Клітини еукаріотів – тварин, рослин і грибів – організовані складніше. Вони мають ядро, принаймні на певних етапах свого клітинного циклу. Цитоплазма в еукаріотів поділена клітинними мембранами на окремі функціональні ділянки, містить різноманітні органе-



Мал. 16.2. Схематична будова клітин: А. Рослин, Б. Грибів, В. Тварин: 1 – клітинна стінка; 2 – плазматична мембрана; 3 – цитоплазма; 4 – мітохондрія; 5 – хлоропласт; 6 – ядро; 7 – ендоплазматична сітка; 8 – комплекс Гольджі; 9 – лізосома. ***Завдання.*** *Знайдіть органели спільні та відмінні для цих груп організмів*

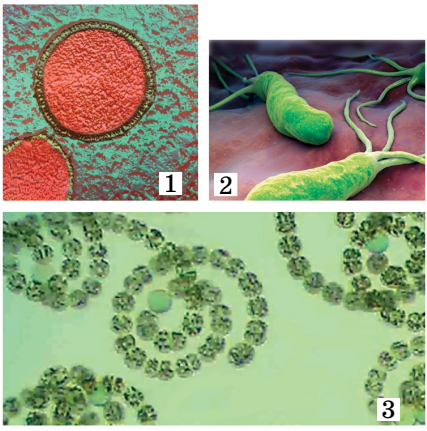
ли. Але в будові клітин різних представників еукаріотів є й певні відмінності. Пригадаймо їх.

Розгляньте уважно на малюнку 16.2 схематичну будову клітин рослин, грибів і тварин та проаналізуйте його.

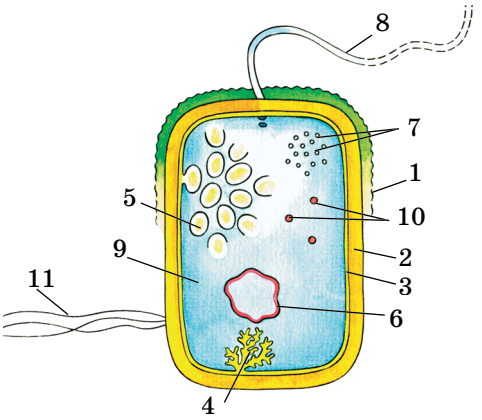
Будова клітин прокаріотів. Понад 2,5 млрд років тому, коли ще не було ані рослин, ані тварин, ані грибів, на нашій планеті існували лише прокаріоти (від лат. *про* – перед, замість та грец. *каріон* – ядро). До них належать археї (нечисленна група прокаріотів) та різні групи бактерій (у тому числі – й ціанобактерії) (мал. 16.3).

Як і клітини еукаріотів, клітини прокаріотів мають поверхневий апарат і цитоплазму, в якій розташовані нечисленні органели та різноманітні включення. У клітинах прокаріотів немає ядра й таких органел, як мітохондрії, пластиди, ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, клітинний центр тощо (мал. 16.4). Така спрощена будова прокаріотів свідчить про давність їхнього походження.

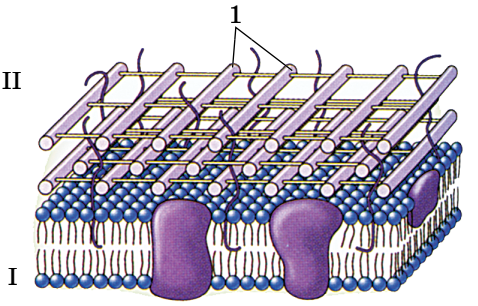
До складу поверхневого апарату клітин прокаріотів входить плазматична мембрана та клітинна стінка (мал. 16.5). Будова клітинної стінки прокаріотів (різних груп бактерій, ціанобактерій) досить складна. У бактерій вона складається з полімерної сполуки – муреїну. Ця сполука утворює сітчасту структуру, яка надає клітинній стінці жорсткості. У ціанобактерій до складу зовнішнього шару клітинної стінки входить полісахарид пектин та особливі скоротливі білки. Вони забезпечують особливий рух клітин – ковзання або обертання. Клітини ціанобактерій джгутиків не мають.



Мал. 16.3. Представники прокаріотів: 1 – археї; 2 – бактерії роду Хелікобактер; 3 – ціанобактерії



Мал. 16.4. Схема будови клітини прокаріотів: 1 – капсула; 2 – клітинна стінка; 3 – плазматична мембрана; 4 – складчасті вп'ячування мембрани; 5 – фотосинтетичні мембрани; 6 – кільцева молекула ДНК; 7 – рибосоми; 8 – джгутик; 9 – цитоплазма; 10 – запасні поживні речовини; 11 – білкові вирости оболонки клітини



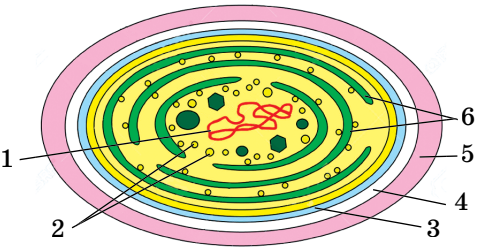
Мал.16.5. Схема будови клітинної стінки прокаріотів: I – плазматична мембрана; II – клітинна стінка: 1 – муреїн

Сполуки з ліпідів і полісахаридів клітинної стінки дають змогу клітинам бактерій прилипати до різних субстратів (клітин еукаріотів, емалі зубів тощо), а також злипатися між собою. Над клітинною стінкою багатьох бактерій інколи розміщена захисна *слизова капсула*, що складається з полісахаридів. Вона не дуже міцно зв'язана з клітиною і легко руйнується під дією певних сполук.

У цитоплазмі клітин прокаріотів є рибосоми та різноманітні включення (мал. 16.4). Але ці рибосоми дрібніші за рибосоми клітин еукаріотів. Плазматична мембрана клітин прокаріотів може утворювати гладенькі або складчасті вгини в цитоплазму. На відміну від клітин еукаріотів, ці утвори не поділяють цитоплазму на відокремлені функціональні ділянки. На складчастих мембранних вгинах можуть розташовуватися дихальні ферменти, рибосоми, а на гладеньких – фотосинтетичні пігменти.

Замість ядра в клітинах прокаріотів є *ядерна зона*. Там розташований спадковий матеріал – кільцева молекула ДНК (мал. 16.4, 6; 16.6, 1), яка в певному місці прикріплена до плазматичної мембрани. У прокаріотів молекули ДНК не пов'язані з ядерними білками. Отже, типові хромосоми, які в клітинах еукаріотів розташовані в ядрі, у прокаріотів відсутні.

Клітини деяких бактерій мають органели руху – один, декілька або багато джгутиків. Джгутики можуть бути набагато довшими за



Мал. 16.6. Будова клітини ціанобактерії: 1 – кільцева молекула ДНК; 2 – рибосоми; 3 – плазматична мембрана; 4 – клітинна стінка; 5 – слизова капсула; 6 – тилакоїди

саму клітину, проте їхній діаметр незначний. Тому у світловий мікроскоп вони не помітні. Джгутики прокаріотів лише зовні нагадують джгутики клітин еукаріотів. Їхня будова простіша: вони складаються з однієї трубчастої молекули особливого білка.

Цікаво знати

До складу клітинної стінки багатьох бактерій входить ще додаткова зовнішня мембрана, яка забезпечує надійний захист вмісту клітини. На такі бактерії не діють певні антибіотики (наприклад, пеніцилін, актиноміцин).

Ключові терміни та поняття: **прокаріоти, археї.**

Перевірте здобуті знання

1. Що спільного та відмінного у будові клітин рослин, грибів і тварин? 2. Чим клітини прокаріотів за будовою відрізняються від клітин еукаріотів? 3. Яка будова поверхневого апарату клітин прокаріотів? 4. Які внутрішньоклітинні структури є у прокаріотів?

Поміркуйте. 1. Чим можна пояснити простішу будову клітин прокаріотів порівняно з еукаріотами? Відповідь обґрунтуйте. 2. Чи можна припустити, що предками еукаріотичних клітин були прокаріотичні?

Лабораторна робота

Вивчення структурно-функціональної різноманітності клітин

***Мета**:* вивчити особливості будови клітин прокаріотів і еукаріотів; навчитися розпізнавати на схемах, постійних мікропрепаратах, мікрофотографіях прокаріотичні та еукаріотичні клітини.

***Обладнання, матеріали та об'єкти дослідження**:* мікроскопи, предметні й накривні скельця, пінцети, скляні й дерев'яні палички, препарувальні голки; постійні мікропрепарати бактерій, епітелію ротової порожнини, шкірки цибулі, гіфів гриба мукора; електронно-мікроскопічні фотографії клітин бактерій, тварин, рослин і грибів.

Хід роботи

1. Підготуйте мікроскоп до роботи.

2. При малому збільшенні мікроскопа на постійних мікропрепаратах знайдіть клітини бактерій, грибів, рослин, тварин.

3. За відсутності постійних мікропрепаратів виготовте тимчасові:

а) стерилізованою скляною або дерев'яною паличкою зніміть із поверхні зубів наліт навколо ясен, перенесіть його на предметне скло і накрийте накривним скельцем;

б) виготовте препарат епітелію ротової порожнини у краплині слини, для чого проведіть скляною паличкою по внутрішній поверхні щоки, перенесіть мазок на предметне скло;

в) виготовте препарат шкірки м'ясистої луски цибулі, для чого перенесіть шкірку на предметне скло у краплину води та накрийте накривним скельцем.

4. Розгляньте при великому збільшенні мікроскопа клітини бактерій, грибів, рослин і тварин. Порівняйте особливості їхньої будови.

5. Роздивіться електронно-мікроскопічні фотографії клітин бактерій, грибів, рослин і тварин. Знайдіть клітинну стінку, плазматичну мембрану, ядро, ендоплазматичну сітку, комплекс Гольджі, мітохондрії, пластиди, вакуолі.

6. Зробіть висновки.

ТЕМА 3. ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ КЛІТИН

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- особливості обміну речовин та енергії в клітинах автотрофних і гетеротрофних організмів;
- особливості процесів пластичного обміну та перетворень енергії в живих істотах та їхнє значення для забезпечення життєдіяльності організмів;
- значення процесів дихання для забезпечення процесів обміну речовин;
- значення фотосинтезу для існування життя на нашій планеті.

§ 17. ОБМІН РЕЧОВИН ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ В КЛІТИНІ. КЛІТИННЕ ДИХАННЯ

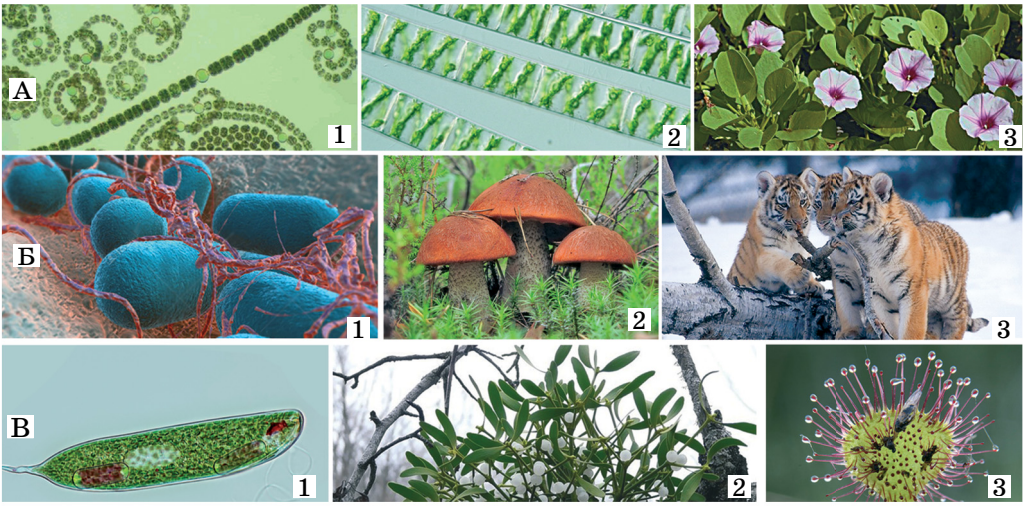
Пригадайте, що таке метаболізм і гомеостаз. Яка кількість енергії виділяється під час розщеплення білків, ліпідів і вуглеводів? Що таке енергія з точки зору фізики? Які функції ферментів? Які процеси називають окисними, а які – відновними? Яка будова і функції АТФ і мітохондрій? Як відбуваються процеси дихання у рослин, тварин і людини? Які організми належать до анаеробних, а які – до аеробних?

Ви вже знаєте, що процеси метаболізму – це складний ланцюг перетворень різноманітних сполук, починаючи від моменту надходження їх в організм або окрему клітину й закінчуючи видаленням кінцевих продуктів обміну речовин у зовнішнє середовище. Кінцевими продуктами окиснення вуглеводів, жирних кислот та амінокислот зазвичай є вуглекислий газ та вода, які виводяться з організму. Для амінокислот додатковим продуктом розщеплення є *сечовина* – сполука, що містить Нітроген.

Процес видалення з організму продуктів обміну речовин має назву *екскреція*.

Ми вже згадували, що сукупність реакцій синтезу, які забезпечують ріст і розвиток як окремих клітин, так і цілісних організмів, поновлення їхнього хімічного складу, має назву **пластичний обмін** (від грец. *пластос* – створений). Ці процеси ще називають анаболізмом, або ***процесами асиміляції***. На їхнє здійснення витрачається певна кількість енергії. Прикладами процесів асиміляції є синтез амінокислот, моносахаридів, жирних кислот, нуклеотидів, полісахаридів, білків, нуклеїнових кислот, АТФ тощо.

Пригадаймо: ***автотрофами*** (від грец. *аутос* – сам і *трофе* – споживати) називають організми, здатні синтезувати органічні речовини з неорганічних (мал. 17.1, А). При цьому одні з них здатні до фото-



Мал. 17.1. А. Автотрофні організми: 1 – ціанобактерії; 2 – зелені водорості; 3 – квіткові рослини. Б. Гетеротрофні організми: 1 – гетеротрофні бактерії; 2 – гриби; 3 – тварини. В. Міксотрофні організми: 1 – евглена зелена; 2 – омела; 3 – росичка

синтезу, їх називають *фототрофними* (від грец. *фотос* – світло і *трофе*). До них належать зелені рослини, деякі бактерії (наприклад, ціанобактерії). Енергію світла, яку вони вбирають з довкілля, ці організми використовують для забезпечення власних процесів життєдіяльності або ж накопичують її у вигляді енергії хімічних зв'язків синтезованих ними сполук.

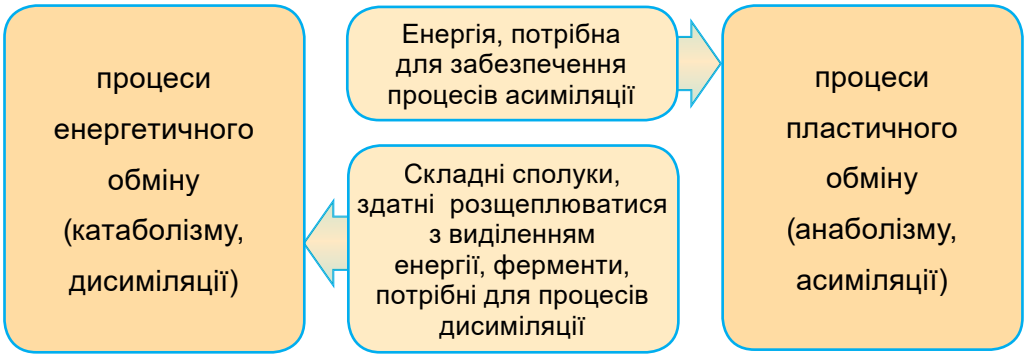
Інші автотрофні організми для синтезу органічних сполук з неорганічних використовують енергію, яка вивільняється під час здійснення хімічних реакцій (деякі бактерії: нітрифікуючі, залізо- та сіркобактерії). Їх називають *хемотрофними* (від грец. *хемо* – хімічний і *трофе*).

Усі гриби, багатоклітинні тварини і більшість бактерій належать до ***гетеротрофів*** (від грец. *гетерос* – різний і *трофе*) (мал. 17.1, Б). Для них джерелом енергії є органічні сполуки, утворені іншими організмами. Ці органічні сполуки вони отримують з їжею (інші організми, їхні рештки або продукти життєдіяльності).

Існують і ***міксотрофи*** (від грец. *місіс* – змішування і *трофе*) – організми зі змішаним типом живлення (росичка, омела, хламідомонада, евглена зелена; мал. 17.1, В). Такі організми здатні не лише синтезувати органічні сполуки з неорганічних, а й поглинати готові органічні речовини. Як ви пам'ятаєте, росичка, що здійснює фотосинтез, здатна також «полювати» на дрібних тварин – комах і ракоподібних.

Сукупність реакцій розщеплення складних сполук у клітині або цілісному організмі до простіших, що супроводжуються виділенням енергії, називають **енергетичним обміном**, катаболізмом, або ***процесами дисиміляції***. Вони ґрунтуються на реакції безкисневого розщеплення складних сполук до простіших або на реакції окиснення.

Процеси пластичного та енергетичного обмінів тісно взаємопов'язані (мал. 17.2).



Мал.17.2. Схема, що ілюструє зв'язок між процесами асиміляції та дисиміляції

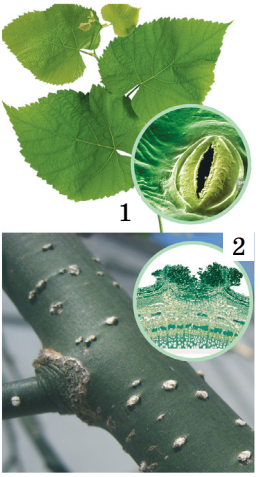
Єдність та узгодженість процесів пластичного та енергетичного обмінів забезпечує функціонування організмів як цілісних біологічних систем, здатних до саморегуляції та самовідтворення.

Одним з прикладів процесів енергетичного обміну (дисиміляції) є процеси дихання організмів. *Пригадаймо*: ***дихання*** – це сукупність процесів, які забезпечують надходження в організм кисню, використання його для окиснення органічних речовин у клітинах (білків, жирів, вуглеводів), а також видалення з організму вуглекислого газу, що утворився під час реакцій окиснення. Отже, дихання є однією з ланок газообміну між організмом та навколишнім середовищем.

Процеси клітинного дихання. Минулого року на прикладі організму людини ви дізналися, що дихання об'єднує три групи різних фізіологічних процесів: ***легеневу вентиляцію*** (обмін газів, який відбувається в легенях між повітрям, яке туди надходить, і кров'ю), ***транспорт газів*** кровоносною системою (у зв'язаному з гемоглобіном стані або розчинених у плазмі крові) від легень до всіх тканин тіла та ***клітинне дихання*** – використання кисню клітинами для реакцій вивільнення енергії. У результаті цих процесів утворюється вуглекислий газ, що виводиться з організму.

Фізіологічне значення клітинного дихання полягає у тому, що багаті на хімічну енергію сполуки за участю кисню окиснюються до простих, бідних на енергію (CO_2, H_2O). У результаті цього вивільняється енергія, потрібна для забезпечення різноманітних процесів життєдіяльності.

У більшості багатоклітинних тварин процеси дихання забезпечує спеціалізована дихальна система, завдяки якій кисень надходить в організм або з атмосферного повітря (*пригадаймо*: трахеї комах, повітроносні шляхи та легені амфібій, рептилій, птахів і ссавців), або з води (зябра кільчастих червів, ракоподібних, молюсків, риб тощо). У рослин процесам дихання сприяють різні утвори: продихи у листків, сочевички на стовбурах (мал. 17.3). Кисень може надходити і за допомогою дифузії через покриви багатоклітинних організмів (рослин, грибів, губок, жалких, плоских червів, нематод та ін.) або оболонки окремих клітин (у бактерій, рослин, одноклітинних тварин тощо).



Мал. 17.3. Структури, які забезпечують дихання у рослин: 1 – продихи листків; 2 – сочевички

З курсу біології 6 класу ви знаєте, що в процесі фотосинтезу рослини вбирають вуглекислий газ, а виділяють у довкілля кисень. Але одночасно з фотосинтезом вони й дихають, поглинаючи кисень та виділяючи вуглекислий газ. Процеси дихання, які відбуваються одночасно з фотосинтезом, називають ***фотодиханням***.

Молекулярні механізми клітинного дихання в рослин і тварин загалом подібні.

Етапи енергетичного обміну. *Пригадаймо*: у біологічних системах енергія існує в різних формах, здатних перетворюватись одна в іншу, забезпечуючи нормальний перебіг процесів життєдіяльності. Частина енергії, яка виділяється під час розщеплення органічних речовин, розсіюється у вигляді тепла, підтримуючи певну температуру клітини або цілісного організму, а частина – запасається у вигляді високоенергетичних хімічних зв'язків певних сполук. Як ви пам'ятаєте, універсальною сполукою – накопичувачем енергії в клітинах – є аденозинтрифосфатна кислота (АТФ).

Енергетичний обмін відбувається в три послідовних етапи: підготовчий, безкисневий і кисневий. Початковий етап енергетичного обміну – **підготовчий** – перебігає в цитоплазмі клітин усіх організмів, а в більшості багатоклітинних тварин і людини – також і в порожнині органів травної системи. На підготовчому етапі складні органічні сполуки під дією ферментів розщеплюються на простіші (*пригадайте*, на які сполуки розщеплюються білки, жири, полісахариди, нуклеїнові кислоти). Ці процеси супроводжуються вивільненням енергії, але її кількість незначна і вона розсіюється у вигляді тепла. Це тепло організми можуть використовувати для підтримання температури власного тіла.

На підготовчому етапі енергетичного обміну молекули АТФ не синтезуються.

За підготовчим етапом настає **безкисневий**, який відбувається в клітинах. Його ще називають **анаеробним** (від грец. *ан* – частинка, що означає заперечення, та *аер* – повітря), оскільки сполуки, які утворилися на попередньому етапі, зазнають подальшого багатоступеневого розщеплення, але без участі кисню. Цей етап енергетичного обміну обов'язковий для всіх організмів – як анаеробів, так і аеробів.

Деякі мікроорганізми і безхребетні тварини (здебільшого паразити) не можуть використовувати кисень у процесах енергетичного обміну. Необхідну енергію вони отримують завдяки анаеробному розщепленню органічних сполук (тобто анаеробному диханню). Більшість організмів у процесах енергетичного обміну здатні використовувати кисень. Але в таких організмів кисневому етапу енергетичного обміну завжди передує безкисневий.

Процеси безкисневого розщеплення вуглеводів, або анаеробне дихання, узагальнено називають гліколізом (від грец. *глікіс*– солодкий та *лізіс* – розщеплення).

Під час гліколізу виділяється приблизно 200 кДж енергії. Частина її (майже 84 кДж) витрачається на синтез двох молекул АТФ, а решта – розсіюється у вигляді тепла. Отже, процес гліколізу енергетично малоефективний: лише приблизно 35–40 % енергії, що виділяється, запасається в макроергічних зв'язках синтезованих молекул АТФ.

Незважаючи на відносно низьку ефективність, гліколіз має важливе фізіологічне значення. Завдяки цьому процесові організми можуть отримувати енергію за умов нестачі кисню, а його кінцеві продукти зазнають подальших ферментативних перетворень за наявності кисню. Проміжні продукти гліколізу використовуються для синтезу різних сполук.

Цікаво знати

Аналогічними до гліколізу є процеси бродіння: молочнокисле (яке здійснюють молочнокислі бактерії), спиртове (яке забезпечують дріжджі та певні групи бактерій) тощо. У першому випадку кінцевим продуктом бродіння є молочна кислота, у другому – етиловий спирт. Ці процеси людина використовує в господарстві: молочнокисле – для консервування продуктів харчування (квашення овочів, сироваріння) з метою їхнього тривалого зберігання (молочна кислота пригнічує ріст і розмноження шкідливих мікроорганізмів), отримання кисломолочних продуктів (ряжанки, сметани), силосування рослинної маси для годування свійських тварин, промислового отримання молочної кислоти або спиртів.

Завершальним етапом енергетичного обміну є кисневий, який ми розглянемо у наступному параграфі.

Ключові терміни та поняття: **процеси асиміляції та дисиміляції, клітинне дихання, гліколіз.**

Перевірте здобуті знання

1. Що таке процеси асиміляції та дисиміляції? Який зв'язок існує між ними? 2. Які процеси називають клітинним диханням? 3. Схарактеризуйте підготовчий етап енергетичного обміну. 4. Які процеси відбуваються під час безкисневого етапу енергетичного обміну? 5. Яке значення процесів безкисневого етапу енергетичного обміну для забезпечення організму енергією?

Поміркуйте. 1. Що спільного та відмінного між фототрофними та хемотрофними організмами? 2. Чому життя неможливе без перетворень енергії?

§18. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ОБМІН. КИСНЕВИЙ (АЕРОБНИЙ) ЕТАП

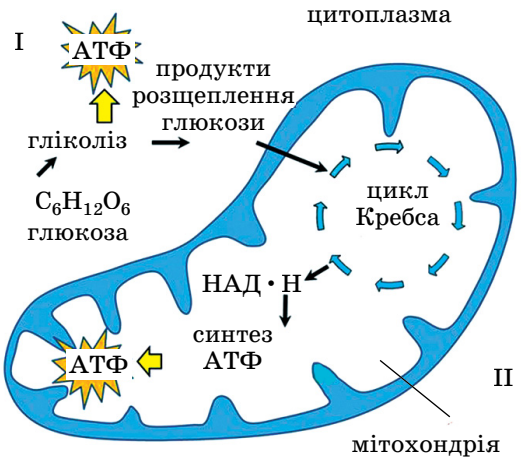
Пригадайте властивості макроергічних зв'язків. Які функції АТФ-сом? Яка будова мітохондрій?

Кисневий етап енергетичного обміну (або ***аеробне дихання***) можливий лише в аеробних умовах, тобто за наявності кисню. На цьому етапі органічні сполуки, що утворилися на безкисневому етапі, окиснюються в клітинах до кінцевих продуктів – вуглекислого газу (CO_2)

та води (H_2O). Процеси біологічного окиснення органічних сполук, пов'язані з відщепленням від них атомів Гідрогену, відбуваються в мітохондріях за участю певних ферментів. Завдяки процесам окиснення організм накопичує значну кількість енергії у вигляді макроергічних зв'язків молекул АТФ. Ці макроергічні зв'язки виникають між залишками ортофосфатної кислоти (у складі молекули АТФ їх два).

***Тканинне,* або *клітинне, дихання* – це використання кисню тканинами та клітинами для окиснення органічних сполук з одночасним заощадженням енергії, потрібної для забезпечення процесів життєдіяльності (мал. 18.1).**

Оскільки кисневий етап енергетичного обміну можливий лише за умов наявності кисню, недостатнє надходження кисню в клітини аеробних організмів здатне порушити процеси метаболізму та спричинити смерть.



Мал. 18.1. Зв'язок між безкисневим (I) та кисневим (II) етапами енергетичного обміну

Роль циклу Кребса в кисневому (аеробному) етапі енергетичного обміну. Важливе місце серед біохімічних перетворень, які відбуваються під час аеробного етапу енергетичного обміну, належить циклу біохімічних реакцій, так званому **циклу Кребса**. Його 1937 року відкрив англійський біохімік **Х. А. Кребс**. Реакції циклу Кребса відбуваються в матриксі мітохондрій. Вони становлять собою послідовне перетворення певних органічних кислот. Під час цих перетворень від органічних кислот відщеплюються молекули CO_2, що залишають мітохондрії та зрештою виходять з клітини. У результаті кожного циклу Кребса утворюється одна молекула АТФ. Але головним наслідком реакцій циклу є відщеплення від органічних кислот атомів Гідрогену, які передаються до сполук, що сприймають ці атоми, – акцепторів Гідрогену. Найважливішим акцептором Гідрогену є речовина НАД, приєднання до неї атому Гідрогену переводить її у відновлену форму (НАД • Н) (*знайдіть цей процес на малюнку 18.1*).

Під час окисно-відновних реакцій (докладніше про них ви дізнаєтеся на уроках хімії) електрони переносяться від *відновника* (сполуки-донора, яка їх постачає) до *окисника* (сполуки-акцептора, яка їх сприймає). Процес біологічного окиснення органічних сполук пов'язаний з відщепленням від них атомів Гідрогену. За участю специфічних ферментів ці атоми *окиснюються*, тобто втрачають електрони ($\bar{e}$). При цьому електрони, які звільнилися, за допомогою послідовного ряду сполук-переносників, розташованих у внутрішній мембрані міто-

хондрії, транспортуються до її внутрішньої поверхні, тоді як йони Гідрогену H^+ накопичуються на зовнішній поверхні (мал. 18.2). Цей механізм дістав назву **дихальний ланцюг**, або **ланцюг перенесення електронів**. Унаслідок цих процесів на зовнішній поверхні мембрани концентрується позитивний заряд, а на внутрішній – негативний. Переносники електронів входять до складу ферментних комплексів, які каталізують окисно-відновні реакції.

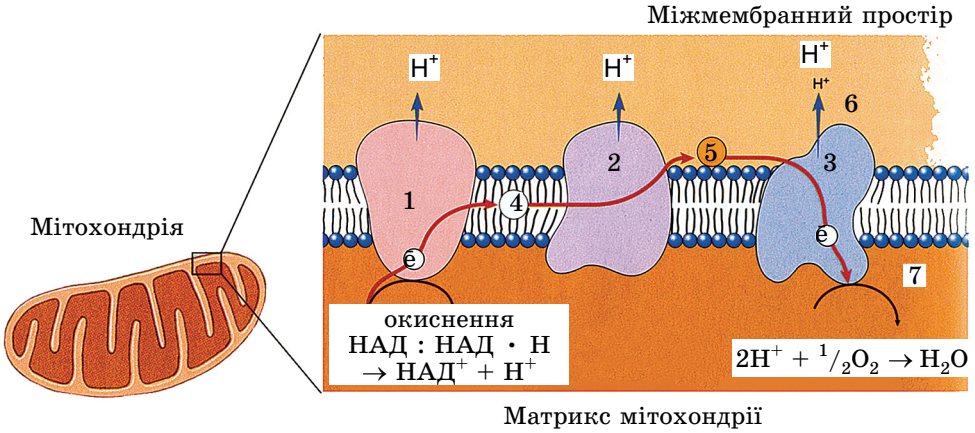
Дихальний ланцюг починається в мітохондріях з окиснення НАД • Н (відновлена форма) до $НАД^+$ (окиснена форма), йонів H^+ та двох електронів ($\bar{e}$). За участю цих електронів, двох йонів Гідрогену кисню O_2 утворюється молекула води:

$$4H^+ + 4\bar{e} + O \rightarrow 2H_2O$$

Цікаво знати

Повна назва НАД – нікотинамідаденіндинуклеотид. Вона спочатку здається неможливою для відтворення. Але спробуйте проаналізувати її складові, використовуючи свої знання з хімії. Ви переконаєтеся, це не так важко.

Отже, процес перенесення електронів супроводжується утворенням різниці концентрації йонів Гідрогену H^+ з різних боків внутрішньої мембрани мітохондрій. При цьому йони H^+ накопичуються в міжмембранному просторі, а електрони – на внутрішній поверхні внутрішньої мембрани мітохондрій (див. мал. 18.2). Така різниця концентрацій йонів Гідрогену має потенціальну енергію, здатну виконувати корисну роботу: переміщення цих йонів з ділянки з високою концентрацією в ділянку з низькою концентрацією за допомогою звичайної дифузії може працювати на кшталт електричної батареї.



Мал. 18.2. Ланцюг перенесення електронів у внутрішній мембрані мітохондрії. Електрони ($\bar{e}$), яким надана енергія, транспортуються молекулами – мобільними переносниками (4) на зовнішню поверхню внутрішньої мембрани мітохондрії (5 – білкова сполука, що забезпечує подальший транспорт електронів). Три білкові молекули (1–3) використовують частину звільненої енергії електронів для перекачування йонів Гідрогену (H^+) у простір між двома мембранами мітохондрії (6). Зрештою електрони взаємодіють з протонами та киснем, утворюючи воду (7)

Внутрішня мітохондріальна мембрана є непроникною для йонів Гідрогену H^+. Їх переміщення можливе тільки через спеціальний канал. Він є структурним елементом особливого ферментного комплексу – АТФ-соми (див. мал. 14.2). *Пригадаймо*: у складі АТФ-соми є особливі ферменти, за участі яких синтезуються молекули АТФ. Таким чином, відбувається спряження процесів окиснення (перенесення електронів по дихальному ланцюгу) й утворення АТФ з АДФ та молекул ортофосфатної кислоти H_3PO_4).

Основну роль у забезпеченні клітин енергією відіграє саме аеробний етап енергетичного обміну.

Реакції кисневого (аеробного) етапу енергетичного обміну супроводжуються виділенням такої кількості енергії, яка забезпечує синтез 36 молекул АТФ. Ефективність заощадження енергії, що вивільняється під час окиснення органічних речовин у вигляді макроергічних зв'язків синтезованих молекул АТФ, наближається до 70 %. Отже, ефективність кисневого етапу енергетичного обміну значно вища, ніж безкисневого.

Якщо врахувати, що на етапі гліколізу синтезуються дві молекули АТФ, то енергії, яка виділяється внаслідок повного розщеплення однієї молекули глюкози під час здійснення як анаеробного, так і аеробного етапів, вистачає на утворення 38 молекул АТФ. Сумарне рівняння розщеплення глюкози має вигляд:

$$C_6H_{12}O_6 + 38АДФ + 38H_3PO_4 + 6O_2 \rightarrow 38АТФ + 6CO_2 + 44H_2O$$

Завершується енергетичний обмін виведенням кінцевих продуктів (молекул H_2O та CO_2) з організму.

Минулого року ви ознайомилися з будовою та функціями дихальної системи людини. А в цьому – з тим, як відбуваються процеси дихання на клітинному і молекулярному рівні. Це допомогло вам краще зрозуміти їхнє значення для забезпечення нормального функціонування організму. Тому ще раз нагадаємо: для ведення здорового способу життя слід захищати органи дихання від потрапляння пилу, небезпечних речовин, збудників захворювань, а також механічних ушкоджень. *Пам'ятаймо*: здоровий спосіб життя, регулярні заняття спортом або фізичними вправами поліпшують ефективне постачання клітин нашого організму киснем, а відповідно – і нормальне функціонування всього організму.

Ключові терміни та поняття: **аеробний (кисневий) етап енергетичного обміну, дихальний ланцюг (ланцюг перенесення електронів).**

Перевірте здобуті знання

1. Які процеси відбуваються під час кисневого етапу енергетичного обміну? 2. Які умови здійснення кисневого етапу енергетичного обміну? 3. Що таке дихальний ланцюг? Яка його роль у процесах кисневого етапу енергетичного обміну? 4. Скільки молекул АТФ синтезується під час кисневого етапу енергетичного обміну?

Поміркуйте. 1. Чому при окисненні органічних сполук вивільняється енергія? 2. Чому розщеплення органічних сполук за присутності кисню виявляється енергетично ефективнішим, ніж за його відсутності?

§19. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ ПЛАСТИЧНОГО ОБМІНУ. ФОТОСИНТЕЗ: СВІТЛОВА ФАЗА

Пригадайте, що характерно для процесів асиміляції. Які організми належать до автотрофів, гетеротрофів і міксотрофів? Що таке ферменти, гемоглобін, фотосинтез? Яка будова хлоропластів? Що таке тилакоїди? Які реакції належать до окисно-відновних? Яка будова та функції молекул АТФ?

Біохімічні особливості процесів пластичного обміну. Ми вже згадували, що сукупність реакцій синтезу називають пластичним обміном (анаболізмом, або реакціями асиміляції). Унаслідок цих процесів зі сполук, які надходять у клітину, утворюються потрібні для неї органічні речовини. Основні процеси пластичного обміну – це біосинтез білків, вуглеводів, ліпідів, нуклеїнових кислот. Також ці процеси відбуваються і під час фотосинтезу та хемосинтезу. Проте слід пам'ятати, що під час фотосинтезу та хемосинтезу відбуваються ще й процеси, характерні для енергетичного обміну, – синтез молекул АТФ, які є акумуляторами енергії в клітині.

Унікальність процесу фотосинтезу, який відбувається в клітинах ціанобактерій і рослин, полягає в тому, що реакції світлової фази є прикладом реакцій енергетичного обміну, а реакції темнової фази – *пластичного*.

Як ви пам'ятаєте, жодна біохімічна реакція неможлива без участі ферментів. Як й інші біохімічні процеси, реакції пластичного обміну каналізують відповідні ферменти. А на синтез складних сполук з простіших витрачається певна кількість енергії, накопиченої в ході реакцій енергетичного обміну.

Продукти пластичного обміну застосовуються на оновлення хімічного складу клітин, забезпечення їхнього росту, а також на створення нових клітин, формування тканин та органів. Створені під час процесів асиміляції органічні сполуки слугують тим резервом, який може бути задіяний під час реакцій енергетичного обміну: їх розщеплення супроводжується виділенням енергії (див. мал 17.2).

Процес фотосинтезу. Серед багатьох біохімічних процесів, які відбуваються за участю живих істот, є один, без якого життя на нашій планеті існувати не може. Цей унікальний процес – ***фотосинтез***: утворення органічних сполук з неорганічних завдяки перетворенню світлової енергії на енергію хімічних зв'язків синтезованих вуглеводів.

У клітинах рослин фотосинтез відбувається в хлоропластах, у яких містяться фотосинтезуючі пігменти – **хлорофіли**. За своєю структурою молекула хлорофілу нагадує молекулу гемоглобіну, але в ній замість атома Феруму присутній атом Магнію. Хлорофіл, а також допоміжні пігменти (каротиноїди, забарвлені у червоний або жовтий колір), задіяні у фотосинтезі, розташовані в мембранах структур хлоропластів – тилакоїдів (див. мал. 14.3).

Хлорофіл застосовують у медицині. Спектр його дії досить широкий. Медичні препарати, виготовлені із застосуванням хлорофілу, сприяють

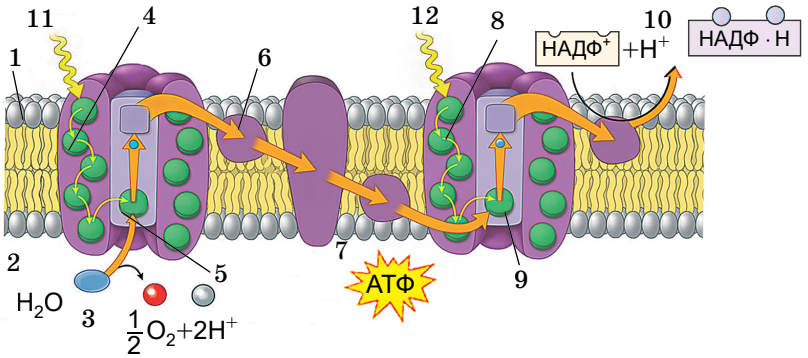
виробленню еритроцитів, що запобігає виникненню недокрів'я й очищенню крові від токсичних сполук. Хлорофіл сприяє виведенню з організму шкідливих речовин, зокрема таких, які можуть спричинити онкологічні захворювання. Препарати на основі хлорофілу поліпшують роботу кишківника й зміцнюють імунітет, сприяють швидшому загоєнню ран.

Фази фотосинтезу. У процесі фотосинтезу виділяють дві послідовні фази: світлову та темнову. Світлова фаза дістала свою назву тому, що її реакції неможливі без участі світла. Для здійснення темнової фази світло необов'язкове.

Світлова фаза фотосинтезу пов'язана з мембранами тилакоїдів (мал. 19.1). Вона розпочинається з поглинання кванта світла (фотона) молекулою хлорофілу. Поглинання фотона призводить до того, що електрон в її складі переходить у збуджений стан – переноситься на вищий енергетичний рівень.

Пігменти, пов'язані з мембранами тилакоїдів, – хлорофіли та допоміжні (каротиноїди), зібрані у функціональні ансамблі, які називають **фотосистемами**. До одного такого ансамблю належить близько 200 молекул хлорофілів і 50 молекул каротиноїдів. Каротиноїди розширюють спектр дії фотосинтезу (вони чутливі до світлових хвиль у діапазоні, недоступному для хлорофілу) та беруть участь у передачі енергії на молекули хлорофілу. У процесі фотосинтезу в рослин та ціанобактерій беруть участь дві фотосистеми – перша (I) і друга (II) (мал. 19.1).

Усі молекули хлорофілів здатні поглинати світло, але тільки дві з них беруть безпосередню участь у процесах перетворення енергії світла на хімічну енергію макроергічних зв'язків синтезованих молекул АТФ. Ці спеціалізовані молекули хлорофілу, що пов'язані з особливими білками, утворюють ***реакційний центр*** (див. мал. 19.1, 5, 9). Реакційні центри є своєрідним пусковим механізмом фотосинтезу. Їхня



Мал. 19.1. Ланцюг перенесення електронів під час світлової фази фотосинтезу: 1 – мембрана тилакоїда; 2 – внутрішнє середовище тилакоїда; 3 – завдяки фотолізу води звільняються електрони, які відновлюють фотосистему II; 4 – фотосистема II; 5 – реакційний центр фотосистеми II; 6 – ланцюг перенесення електронів; 7 – енергія, що звільнилася, частково використовується на синтез молекул АТФ; 8 – фотосистема I; 9 – реакційний центр фотосистеми I; 10 – відновлення НАДФ; 11 – квант світла, що потрапляє на фотосистему II; 12 – квант світла, що потрапляє на фотосистему I

функція – збирання світлової енергії та передача її до тих компонентів хлоропластів, де ця енергія перетворюється на енергію хімічних зв'язків синтезованих сполук.

Усі інші молекули пігментів, які належать до певної фотосистеми (крім двох, які беруть безпосередню участь у процесах перетворення світлової енергії на хімічну), виконують роль своєрідних світлозбиральних антен. Молекула пігменту, поглинаючи квант світла, збуджується і передає цю енергію сусідній молекулі – електрон першої молекули повертається до основного енергетичного стану, електрон другої – переходить на вищий енергетичний рівень. У результаті енергія збудження швидко мігрує по ансамблю світлозбиральних пігментів до реакційного центру фотосистеми. Електрон, що належить молекулі хлорофілу реакційного центру, отримуючи енергію збудження, здатен відірватись від молекули та потрапити на перший переносник електронів у ланцюзі їхнього транспорту.

Ланцюг перенесення електронів у мембрані тилакоїда є подібним до ланцюга перенесення електронів у внутрішній мембрані мітохондрій (див. мал. 18.2). Він складається з вбудованих у мембрану ферментних комплексів, які здійснюють послідовне перенесення електрона від молекули-донора до молекули-акцептора (див. мал. 19.1).

Обидві фотосистеми – фотосистеми I та II – пов'язані між собою через ланцюг перенесення електронів. У процесі фотосинтезу вони включаються послідовно – спочатку фотосистема II, а згодом – фотосистема I. Після втрати електрона реакційним центром фотосистеми I у її молекулі хлорофілу залишається так звана дірка. Вона заповнюється електроном, що переноситься від збудженого реакційного центру фотосистеми II (див. мал. 19.1). У свою чергу, «дірка», яка при цьому утворилася в реакційному центрі фотосистеми II, заповнюється електроном, джерелом якого є молекула води. Тому компонентом фотосистеми II є фоточутливий фермент, який під дією світла здійснює процес **фотолізу води**:

$$2H_2O + 4 \text{ фотони} \rightarrow 4H^+ + 2\bar{e} + O_2\uparrow$$

Фотоліз води **– розщеплення молекул води на світлі за участю особливих ферментів з утворенням протонів (H^+), електронів ($\bar{e}$) та молекулярного кисню (O_2). Електрони використовуються на відновлення реакційного центру фотосистеми II, а молекулярний кисень виділяється в атмосферу.**

У фотосистемі I «збуджені» електрони можуть передаватись особливій сполуці – НАДФ. Взаємодіючи з протонами Гідрогену H^+, що надходять з навколишнього середовища, ці електрони відновлюють її. Згодом ця відновлена сполука постачає Гідроген, потрібний для синтезу глюкози під час темнової фази фотосинтезу (про неї йтиметься в наступному параграфі).

Під час світлової фази фотосинтезу синтезуються молекули АТФ. Як ви пригадуєте, ферменти АТФ-синтетази входять до складу особливих комплексів, розташованих у мембрані тилакоїдів.

Процеси світлової фази фотосинтезу, подібно до реакцій кисневого (аеробного) етапу енергетичного обміну, ґрунтуються на окисно-відновних реакціях, пов'язаних з перенесенням електронів від сполук, які їх постачають (сполук-донорів), до сполук, які їх сприймають (сполук-акцепторів).

Мал. 19.2. Хлороз

Як ви могли помітити, під час світлової фази фотосинтезу переважають процеси, характерні для енергетичного обміну: заощадження енергії сонячного світла у вигляді макроергічних зв'язків молекул АТФ.

Ферментні комплекси, вбудовані в мембрану тилакоїдів, містять Ферум, без якого вони функціонувати не можуть. Якщо в рослину не надходять сполуки Феруму, то в неї розвивається захворювання хлороз: листки стають безбарвними, нездатними до фотосинтезу (мал. 19.2). Отже, Ферум обов'язково має входити до складу добрив, які вносять у ґрунти.

Цікаво знати

Повна назва НАДФ – нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат (спробуйте її проаналізувати, не для запам'ятовування). Ця сполука – компонент ферментів, присутніх в усіх живих клітинах, що забезпечують важливі окисно-відновні реакції енергетичного та пластичного обмінів.

Отже, основними подіями світлової фази фотосинтезу є синтез молекул АТФ та фотоліз води, внаслідок якого в атмосферу виділяється молекулярний кисень.

Ключові терміни та поняття: **світлова фаза фотосинтезу, фотосистеми I та II, реакційний центр фотосистеми, фотоліз води.**

Перевірте здобуті знання

1. Які біохімічні особливості процесів пластичного обміну? 2. Схарактеризуйте процес фотосинтезу. 3. Які фази виділяють у процесі фотосинтезу? 4. Що таке фотосистема та її реакційний центр? 5. Які процеси відбуваються під час світлової фази фотосинтезу?

Поміркуйте. Що спільного у перебігу процесів світлової фази фотосинтезу та кисневого (аеробного) етапу енергетичного обміну?

§20. ФОТОСИНТЕЗ: ТЕМНОВА ФАЗА. ХЕМОСИНТЕЗ

Пригадайте, яка будова хлоропластів? Які процеси відбуваються у світлову фазу фотосинтезу. Які особливості будови клітин прокаріотів? Які організми належать до фототрофів?

За світловою фазою фотосинтезу настає темнова. Саме під час темнової фази з неорганічних сполук синтезуються вуглеводи.

Реакції **темнової фази** фотосинтезу відбуваються у стромі хлоропластів цілодобово, оскільки не потребують участі світла. Темнова фаза починається з того, що особлива сполука фіксує молекулу CO_2, що надходить у хлоропласти з атмосферного повітря. До молекули CO_2

за допомогою певних ферментів приєднується Гідроген (який постачає відновлений протягом світлової фази НАДФ · Н). На здійснення реакцій темнової фази витрачається енергія, яка була акумульована в макроергічних зв'язках молекул АТФ, синтезованих під час світлової фази. Через низку послідовних реакцій утворюються глюкоза та інші моносахариди. Згодом з них синтезуються полісахариди (наприклад, крохмаль, целюлоза та ін.).

Послідовність реакцій темнової фази з'ясував американський учений **М. Кальвін** зі своїми співробітниками. На його честь комплекс цих біохімічних реакцій назвали **циклом Кальвіна.**

Підсумкове рівняння обох фаз фотосинтезу має такий вигляд:

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

Процес надходження до клітин рослин CO_2 називають *повітряним живленням*.

Вуглеводи, синтезовані під час реакцій темнової фази, відіграють важливу роль у процесах енергетичного обміну, адже вони можуть не тільки окиснюватись, а й розщеплюватись без участі кисню. Отже, глюкоза, яка належить до моносахаридів, є формою акумуляції хімічної енергії: при її розщепленні та остаточному окисненні в мітохондріях звільняється енергія, що витрачається на потреби організму. Крім того, з глюкози в клітинах рослин можуть синтезуватися полісахариди (крохмаль, целюлоза тощо), які можуть відкладатися в клітині про запас.

Процеси темнової фази є прикладом реакцій пластичного обміну (або асиміляції).

Особливості процесів фотосинтезу в різних груп прокаріотів. У різних груп прокаріотів процеси фотосинтезу можуть відбуватись по-різному. У ціанобактерій фотосинтез відбувається так само, як і в зелених рослин. У них задіяні дві фотосистеми – I та II. Під час світлової фази у них відбувається фотоліз води з виділенням молекулярного кисню. На відміну від ціанобактерій, у пурпурних бактерій і зелених сіркобактерій є лише одна фотосистема. Тому під час фотосинтезу в них кисень не виділяється.

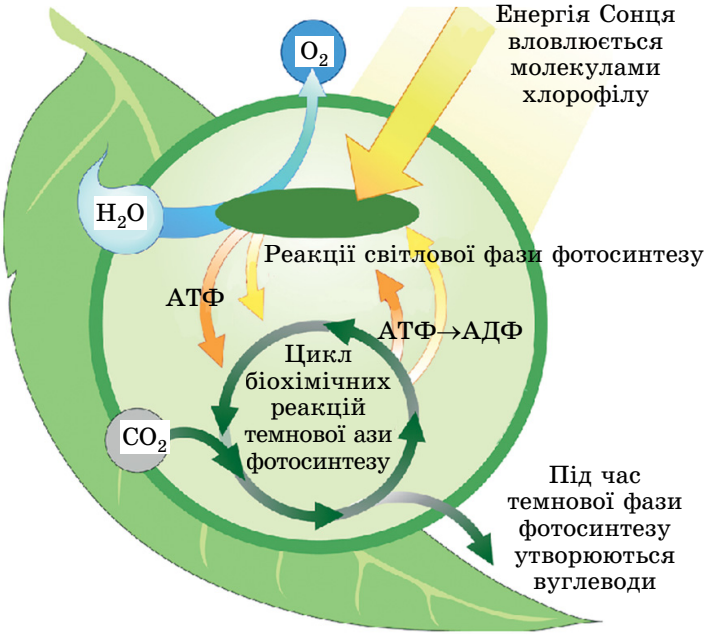
Значення фотосинтезу для існування біосфери. Завдяки фотосинтезу фотосинтезуючі організми вловлюють світлову енергію Сонця і перетворюють її на енергію хімічних зв'язків синтезованих ними вуглеводів. Коли організми-гетеротрофи (тварини, гриби тощо) споживають живих автотрофів або їхні рештки, то разом з їжею отримують і запасену в ній енергію. Тож існування біосфери можливе саме завдяки фотосинтезу.

Отже, рослини є своєрідними посередниками в надходженні енергії сонячного світла до інших мешканців нашої планети, які не можуть її використовувати безпосередньо для процесів пластичного обміну. Уперше на це звернув увагу видатний учений **К. А. Тімірязєв**, обґрунтувавши **положення про космічну роль зелених рослин.**

Зелені рослини і ціанобактерії, здійснюючи фотосинтез, вбирають вуглекислий газ і виділяють кисень, підтримуючи тим самим сталий газовий склад атмосфери. Кисень використовують у процесі дихання більшість організмів. Тому без перебільшення можемо стверджувати, що життя на нашій планеті без зелених рослин існувати не може. Рослини, таким чином, є універсальною біохімічною лабораторією зі створення органічних сполук з неорганічних (мал. 20.1). Крім того, під дією космічних променів кисень перетворюється на озон (O_3), який формує озоновий шар (екран) атмосфери. Він поглинає короткохвильові (ультрафіолетові) космічні промені, які згубно діють на живу матерію. До того часу, коли він ще не був створений, життя могло існувати лише у воді, оскільки вода поглинає ультрафіолетові промені з короткою довжиною хвиль.

Щорічно завдяки фотосинтезу на Землі утворюється понад 200 млрд тонн газоподібного кисню. Загалом рослини використовують для фотосинтезу лише до 2–5 % сонячної енергії, що досягає поверхні нашої планети. За рік рослинний світ Землі продукує близько 10^{17} кДж енергії, що значно перевищує кількість енергії корисних копалин, яке споживає за рік людство. При цьому самі ці корисні копалини (нафта, газ і вугілля) – не що інше, як продукт фотосинтезу стародавніх рослин. Учені підрахували, що річна продуктивність фотосинтезу містить енергії майже у 10 разів більше, ніж потрібно для забезпечення потреб сучасного населення нашої планети.

На процес фотосинтезу можуть впливати різні зовнішні чинники. Так, продуктивність фотосинтезу зростає за умов кращого водопостачання рослин, їхнього оптимального освітлення, забезпечення вуглекислим газом, завдяки селекції сортів, спрямованій на підвищення ефективності фотосинтезу тощо. Нестача вологи гальмує процес фотосинтезу, навіть за оптимальної інтенсивності освітлення й концентрації CO_2 в атмосфері.



Мал. 20.1. Зелений листок – універсальна біохімічна лабораторія. ***Завдання.*** *Простежте за зв'язками між світловою та темновою фазами фотосинтезу*

Мал. 20.2. **Сергій Миколайович Виноградський** (1856–1953). Народився у м. Києві. Відкрив процес хемосинтезу. Досліджував процеси колообігу Нітрогену в природі

Крім фотосинтезуючих організмів, органічні сполуки з неорганічних можуть створювати й певні групи бактерій. Ці процеси вони здійснюють шляхом хемосинтезу.

Хемосинтез. **Хемосинтезуючі організми**, або **хемотрофи** (від грец. *хемейя* – хімія та *трофе* – живлення), для синтезу органічних сполук використовують енергію, яка звільняється під час окиснення неорганічних сполук. До хемотрофних організмів належать певні групи бактерій: нітрифікуючі, метаноутворюючі, залізобактерії, безбарвні аеробні хемотрофні бактерії тощо. Процес хемосинтезу відкрив 1887 року наш співвітчизник – видатний мікробіолог **С. М. Виноградський** (мал. 20.2). **Нітрифікуючі бактерії** послідовно окиснюють амоніак до нітритів (солі нітритної кислоти), а згодом – до нітратів (солі нітратної кислоти). Значення цих процесів важко переоцінити, оскільки нітрати потрібні рослинам для повноцінного живлення. **Залізобактерії** отримують енергію за рахунок окиснення сполук двовалентного Феруму до тривалентного. **Безбарвні аеробні хемотрофні бактерії** окиснюють сірководень та інші сполуки Сульфуру до сульфатної кислоти.

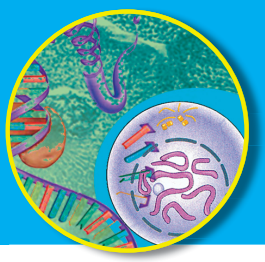
Роль хемотрофних організмів у природі. Хемотрофні організми відіграють важливу роль у процесах колообігу певних хімічних елементів у природі. *Пригадаймо:* ***колообіг речовин*** – це закономірна міграція певних сполук між живою (різні групи живих істот) і неживою частинами екосистем. При цьому багато процесів перетворення хімічних елементів у біосфері відбуваються лише за участю хемотрофних організмів. Крім того, хемотрофні організми здатні синтезувати органічні сполуки з неорганічних у тих частинах біосфери, куди не досягає сонячне світло. Залізобактерії беруть участь у створенні покладів залізних руд, які використовує людина.

Ключові терміни та поняття: **темнова фаза фотосинтезу, космічна роль зелених рослин, хемосинтез, хемотрофні організми.**

Перевірте здобуті знання

1. Які процеси відбуваються під час темнової фази фотосинтезу? 2. Які умови потрібні для здійснення темнової фази фотосинтезу? 3. Чому процеси темнової фази належать до реакцій пластичного обміну? 4. Чому без зелених рослин існування біосфери стало б неможливим? 5. Що таке хемосинтез? 6. Які організми здатні до хемосинтезу? 7. Яке біологічне значення процесу хемосинтезу?

Поміркуйте. Що спільного і відмінного між процесами хемосинтезу і фотосинтезу?



ТЕМА 4. ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СПАДКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- особливості організації генів і геномів прокаріотичних та еукаріотичних організмів;
- закономірності кодування спадкової інформації (генетичний код);
- механізми реалізації спадкової інформації в клітині (біосинтез білків і роль різних типів молекул РНК у цих процесах);
- клітинний цикл і механізми поділу еукаріотичних клітин (мітоз і мейоз);
- будову статевих клітин і процеси запліднення.

§21. ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ГЕНІВ І ГЕНОМІВ ПРОКАРІОТИЧНИХ ТА ЕУКАРІОТИЧНИХ ОРГАНІЗМІВ

Пригадайте, що таке ген, біополімери. Де у клітинах еукаріотів і прокаріотів зберігається спадкова інформація? Що таке денатурація та ренатурація? Яка будова та функції молекул ДНК та РНК? Що таке хромосоми, каріотип? Які хромосоми називають гомологічними? Які завдання науки систематики?

Гени та особливості їхньої будови. Усім організмам притаманна універсальна властивість – ***спадковість***, тобто здатність передавати свої ознаки та особливості індивідуального розвитку нащадкам. Одиницею спадковості всіх організмів є **ген** – ділянка молекули ДНК. Він кодує спадкову інформацію про структуру певного білка, нуклеїнової кислоти або виконує регуляторні функції. Термін «ген» запропонував 1909 р. датський учений **В. Йогансен**.

Розміри окремих генів можуть бути різними – від декількох десятків пар до десятків тисяч пар нуклеотидів.

Гени прокаріотів та еукаріотів кодують структуру молекул білків або молекул різних типів РНК. У тому числі існують гени, які кодують особливі білки, що регулюють активність біохімічних процесів у клітині: активують їх або навпаки пригнічують.

Регуляція активності біохімічних процесів у клітині має важливе значення для нормального існування організмів, оскільки забезпечує пристосування до змін у навколишньому середовищі.

Мал. 21.1. Екзонно-інтронна модель будови гена: ■ – інтрони; ■ – екзони

Гени еукаріотів мають ***мозаїчну будову***: є ділянки генів, які кодують спадкову інформацію, і ділянки, які її не кодують (мал. 21.1).

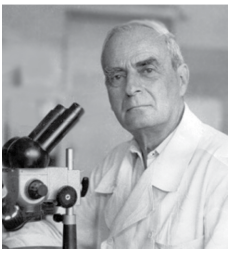
Ділянки гена, які кодують певну спадкову інформацію, називають ***екзонами***, а ті, що не кодують, – ***інтронами***. Кількість інтронів усередині тих чи інших генів різна: наприклад, у гені гемоглобіну їх 2, яєчного білка – 7, білка-колагену курки – 51.

Організація геному в різних груп організмів. Ви вже знаєте, що молекули ДНК, взаємодіючи з білками ядра, входять до складу хромосом (винятком є молекули ДНК, що містяться у мітохондріях і хлоропластах).

Гени розташовані у хромосомі по її довжині у лінійному порядку: один за одним. Кожен ген займає в хромосомі певне положення – ***локус***.

Цікаво знати

Раніше вважали, що гени займають лише чітко визначене місце у складі молекули нуклеїнової кислоти. Але в 60-х роках XX ст. учені з'ясували, що фрагменти ДНК здатні переміщуватися з однієї ділянки на іншу. Якщо такий фрагмент опиняється в кодуючій послідовності нуклеотидів певного гена, то цей ген втрачає свою функцію. Якщо ж такий «стрибаючий» ген опиняється поруч із іншим геном, то його функції можуть змінюватись. Отже, існують генетичні програми, які зумовлюють перебудову окремих ділянок молекули ДНК. Це урізноманітнює спадковий матеріал. Явище «стрибаючих» генів уперше виявив видатний український генетик **Сергій Михайлович Гершензон** (мал. 21.2). Мобільні генетичні елементи також досліджувала **Барбара Мак-Клінток**, лауреатка Нобелівської премії.



Мал. 21.2. **Гершензон Сергій Михайлович** (1906–1998)

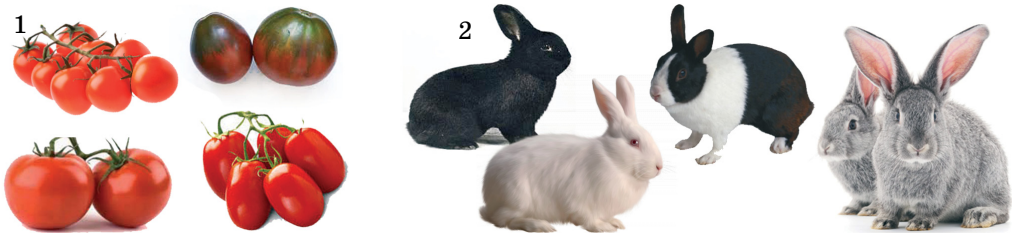
Сукупність молекул ДНК, притаманних певному організму або виду, називають *геномом*.

До складу геному входять як кодуючі, так і не кодуючі ділянки молекул ДНК не лише ядра, а й мітохондрій та пластид.

У гомологічних хромосомах алелі одного гена займають ідентичні локуси. Гени кодують певні ознаки, припустімо форму плодів помідорів. Але плоди помідорів бувають кулястими, плоскими, сливоподібними, грушоподібними чи овальними (мал. 21.3, 1). Це тому, що певний ген може перебувати в різних варіантах. Такі різні варіанти одного гена називають ***алелями***, або ***алельними генами***. Алельні гени розташовані в одному й тому самому локусі в гомологічних хромосомах, тобто займають в них ідентичне положення.

Певний ген визначає певну ознаку, наприклад колір очей людини. Алельні гени визначають різні варіанти цієї ознаки. Так, очі в людей можуть бути блакитними, карими, зеленими, сірими тощо.

У диплоїдного організму (його каріотип умовно позначають 2n) може бути або два однакових алеля певного гена, або різні. Різні алелі певного гена можуть по-різному впливати одне на одного. Здебіль-



Мал. 21.3. Варіанти ознак, які кодують алельні гени: 1 – форма плодів помідорів; 2 – забарвлення шерсті кролів

шого один з алелів пригнічує прояв іншого. У цьому разі проявляється варіант ознаки, який визначається лише одним з двох різних алелів, інший варіант наче зникає. Рідше один з алельних генів лише частково пригнічує прояв іншого або ж не пригнічує взагалі.

Сукупність усіх алелів усіх або лише певних генів окремої клітини або цілісного організму називають *генотипом*.

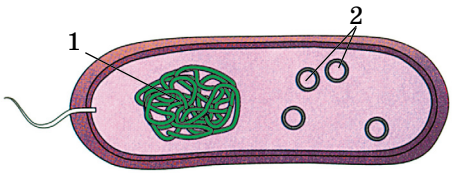
У чому біологічна доцільність того, що один ген може бути представлений багатьма алелями? Вона полягає в тому, що більше існує алелів певного гена, то більше в популяціях трапляється різних варіантів певної ознаки. Наприклад, у кролів є кілька алелів, які визначають різне забарвлення шерсті: дике, шиншилове, гімалайське тощо. Бувають й кролі-альбіноси, позбавлені забарвлення.

Кожній негомологічній хромосомі (тобто хромосомам з різних пар) притаманна своя унікальна група генів. Натомість у гомологічних хромосом набір генів подібний.

Цікаво знати

Алелів певного гена може бути багато – до кількох десятків і більше. Наприклад, у конюшини є ген, який визначає нездатність до самозапилення, алелів якого налічують близько 200.

Кількість генів у геномі різних організмів. Дослідження різних представників прокаріотів та еукаріотів показали, що кількість генів в їхньому геномі значно варіює. *Пригадаймо*: клітини прокаріотів – археїв і бактерій – не мають сформованого ядра. Їхній спадковий матеріал – кільцеподібна молекула ДНК, яка не відокремлена від цитоплазми мембранною оболонкою. Вона розташована у ядерній зоні цитоплазми – **нуклеоїді** (мал. 21.4, 1).



Мал. 21.4. Спадковий матеріал бактеріальної клітини: 1 – нуклеоїд; 2 – плазміди

У цитоплазмі клітин прокаріотів одночасно із кільцевою молекулою ДНК, розташованою в ядерній зоні, містяться невеличкі кільцеві молекули ДНК. Це ***плазміди*** – позахромосомні фактори спадковості (мал. 21.4, 2). Вони зазвичай містять гени, які підвищують стійкість бактерій до

несприятливих чинників довкілля, наприклад, до антибіотиків. Плазміди можуть передаватись від однієї клітини до іншої.

Довжина кільцевої молекули ДНК кишкової палички становить близько 1,6 мм. Вона складається з 4,6 млн пар нуклеотидів, кількість генів, які кодують білки, становить приблизно 4100, ще близько 120 генів кодують різні молекули РНК. Середній розмір гена бактерій – близько 950 пар нуклеотидів.

Значно складніше організований геном еукаріотів. Наприклад, у геномі людини близько 20 000–25 000 генів, які кодують молекули білків (у птахів – до 30 000), ще понад 8000 генів кодують різноманітні молекули РНК. Кількість ДНК у ядрі перевищує потрібну для кодування всіх молекул білків та РНК у 8–10 разів. Причини цього явища різні. По-перше, ДНК, розташована в ядрі еукаріотів, містить багато послідовностей, кожна з яких повторюється до сотень тисяч разів. По-друге, значна частина ДНК взагалі не несе генетичної інформації (*некодуючі ділянки*). Це, наприклад, послідовності нуклеотидів, які розділяють сусідні гени.

З підвищенням рівня еволюційного розвитку розмір геному еукаріотів зростає переважно за рахунок саме некодуючих послідовностей. Так, гаплоїдний хромосомний набір нематод (круглих червів) містить близько 100 млн пар нуклеотидів, дрозофіли – 130 млн, курки – близько 1 млрд, ссавців (і в людини також) – приблизно 3,3 млрд пар нуклеотидів. Між видами, що належать до близьких систематичних груп, спостерігають високий ступінь подібності геномних нуклеотидних послідовностей. Так, геноми людини та миші подібні на 80 %, людини та шимпанзе – майже на 99 %. Порівняльний аналіз геномів різних організмів є важливим методом сучасної систематики, він дає змогу встановлювати ступінь їхньої спорідненості.

Ключові поняття та терміни: **спадковість, ген, екзони, інтрони, каріотип, геном, генотип, локус, алельні гени, плазміди.**

Перевірте здобуті знання

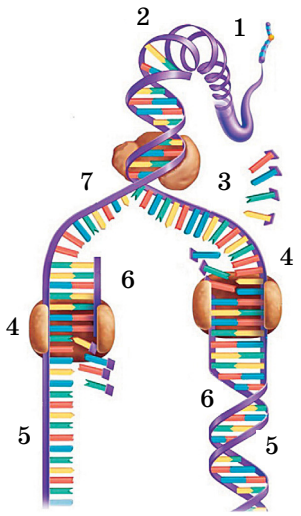
1. Що таке спадковість? 2. Що таке ген, геном і генотип? 3. Яка будова генів еукаріотів? 4. Поясніть сутність поняття «ознака» та її варіанти. 5. Які гени називають алельними?

Поміркуйте. Що спільного та відмінного в поняттях «геном» і «генотип»?

§22. РОЛЬ РІЗНИХ ТИПІВ МОЛЕКУЛ РНК У КОДУВАННІ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ СПАДКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ. ГЕНЕТИЧНИЙ КОД

Пригадайте, які є типи молекул нуклеїнових кислот. У чому полягає принцип комплементарності? Яка будова молекул білків? Які білки називають стандартними? Яка будова генів еукаріотів? Яка будова та функції ендоплазматичної сітки, рибосом, мітохондрій і пластид?

Ви вже знаєте, що різні типи молекул нуклеїнових кислот відіграють певну роль у процесах кодування, зберігання й реалізації спадкового матеріалу. Провідна роль у цих процесах належить молекулам ДНК, які здатні до самоподвоєння. Цей процес забезпечує точну передачу спадкової інформації від материнської клітини дочірнім.



Мал. 22.1. Процес реплікації молекули ДНК: за участю ферменту розшиваються водневі зв'язки між нуклеотидами материнської молекули ДНК і на кожному її ланцюзі за принципом комплементарності добудовується дочірній (знайдіть їх на малюнку): 1 – хромосома; 2 – ферменти розплітають подвійну спіраль материнської молекули ДНК; 3 – вільні нуклеотиди; 4 – специфічний фермент ДНК-полімера, який бере участь в утворенні дочірніх молекул ДНК; 5 – ланцюг материнської молекули ДНК слугує матрицею для синтезу нового; 6 – дочірній ланцюг; 7 – реплікаційна вилка

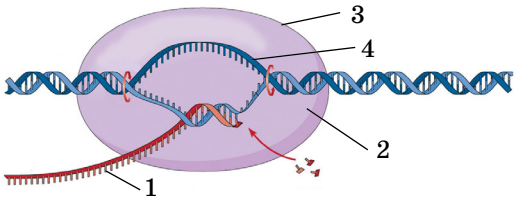
Процес самоподвоєння молекул ДНК, або **реплікація**, ґрунтується на принципі комплементарності: послідовність нуклеотидів у новоствореному ланцюзі молекули ДНК визначається розташуванням комплементарних нуклеотидів в одному з ланцюгів материнської. Під час реплікації два ланцюги материнської молекули ДНК за участю відповідних ферментів розплітаються, і кожен з них стає матрицею для синтезу нового ланцюга. Спеціальний фермент забезпечує послідовне приєднання нуклеотидів до ланцюга, що синтезується. Цей фермент каталізує також реакцію утворення ковалентного зв'язку між сусідніми нуклеотидами (мал. 22.1).

Цікаво знати

Крім ядра, у мітохондріях і пластидах еукаріотичних клітин відбувається реплікація відповідно мітохондріальної та хлоропластної ДНК. Подвоєння молекул ДНК передує поділу цих органел.

Тип нуклеотиду, що приєднується (**А**, **Т**, **Г** або **Ц**), визначається послідовністю нуклеотидів того ланцюга молекули ДНК, який слугує матрицею: приєднаний нуклеотид має бути комплементарним нуклеотиду, розташованому у відповідній точці матричного ланцюга. У результаті утворюються дві дочірні ідентичні молекули ДНК, кожна з яких є точною копією материнської (мал. 22.1).

Усі види молекул РНК (як-от мРНК, тРНК, рРНК) синтезуються також за принципом комплементарності на молекулах ДНК (мал. 22.2).



Мал. 22.2. Синтез молекули мРНК (1) на одному з ланцюгів молекули ДНК (2). Ці процеси забезпечує специфічний фермент РНК-полімераза (3). Другий ланцюг ДНК (4) у цей час залишається неактивним

Отже, в біологічних системах певні біохімічні реакції мають особливості, коли одна молекула слугує основою – матрицею – для синте-

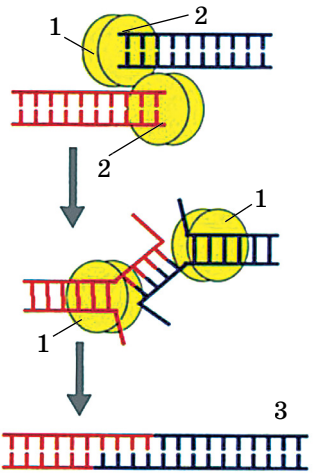
зу іншої. Так, молекула ДНК слугує матрицею для синтезу різних типів молекул РНК, молекула мРНК – білкових молекул. Такі біохімічні процеси називають **реакціями матричного синтезу**. Вони нагадують промислові методи, коли з однієї форми-матриці отримують багато деталей. Наприклад, за допомогою однієї матриці можна надрукувати багато банкнот або відкарбувати багато монет. Так само і під час реакцій матричного синтезу нові молекули утворюються згідно з планом будови молекули-матриці: мономери молекули, що синтезується, розміщуються в точній відповідності до розташування мономерів у молекулі-матриці.

Реакції матричного синтезу є основою однієї з головних властивостей біологічних систем – здатності до самовідтворення.

Важливою властивістю молекул ДНК є їхня здатність до відновлення – **репарації**. Під час репарації ДНК виправляються пошкодження та помилки. Наприклад, помилки в послідовності нуклеотидів новосинтезованого ланцюга ДНК можуть виникати (з певною невисокою частотою) під час реплікації, коли нуклеотид виявляється некомплементарним нуклеотиду матриці. Молекули ДНК можуть пошкоджуватися під впливом різноманітних хімічних сполук (як деяких власних молекул клітини, так і таких, що потрапили ззовні), радіації, ультрафіолетового опромінення тощо. У таких випадках ферменти системи репарації зазвичай вирізають невеличку ділянку ланцюга з пошкодженим або помилковим нуклеотидом, після чого особливий фермент ДНК-полімераза вбудовує нормальний фрагмент, використовуючи інший ланцюг як матрицю (мал. 22.3).

Генетичний код та його властивості. В організмах синтезується величезна кількість молекул різноманітних білків. Інформація про структуру кожного з них має зберігатись у спадковому матеріалі в клітинах. Єдина для всіх організмів система кодування спадкової інформації – **генетичний код** – зберігається у клітині у вигляді певної послідовності нуклеотидів молекул нуклеїнових кислот. Саме ця послідовність нуклеотидів і визначає порядок розташування амінокислотних залишків у поліпептидному ланцюзі під час його синтезу.

Учені виявили, що кожна амінокислота в поліпептидному ланцюзі кодується певною послідовністю з трьох нуклеотидів – так званим ***триплетом***. Чотири різні нуклеотиди ДНК або РНК можуть утворювати 64 комбінації ($4^3 = 64$). Тобто існує 64 різних триплети. Оскільки відомо лише 20 стандартних амінокислот, то можна припустити, що одна амінокислота може кодуватися кількома різними



Мал. 22.3. Процес репарації (виправлення) молекули ДНК: білки (1) розпізнають кінці пошкодженої молекули ДНК (2) і з'єднують їх; 3 – відновлений фрагмент молекули ДНК

триплетами (*таблиця 2*). Встановлено, що більшість стандартних амінокислот (18 з 20) кодується кількома триплетами (від двох до шести) і лише дві з них – одним.

Таблиця 2

ГЕНЕТИЧНИЙ КОД

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

Примітка. У таблиці наведено (не для запам'ятовування) назви амінокислот, закодовані триплетами мРНК: аланіну (АЛА), аргініну (АРГ), аспарагіну (АСН), аспарагінової кислоти (АСП), валіну (ВАЛ), гістидину (ГІС), гліцину (ГЛІ), глютаміну (ГЛН), глютамінової кислоти (ГЛУ), ізолейцину (ІЛЕ), лейцину (ЛЕЙ), лізину (ЛІЗ), метіоніну (МЕТ), проліну (ПРО), серину (СЕР), тирозину (ТИР), треоніну (ТРЕ), триптофану (ТРИ), фенілаланіну (ФЕН) та цистеїну (ЦИС), АУГ (кодує МЕТ) – стартовий триплет.

Те, що одна амінокислота може кодуватись кількома триплетами, має важливе біологічне значення, оскільки підвищує надійність генетичного коду. Отже, випадкова заміна залишку однієї азотистої основи в певному триплеті на інший не завжди супроводжуватиметься змінами в первинній структурі білка. У таблиці 2 знайдемо триплети, які кодують амінокислоту лейцин (ЛЕЙ). Припустімо, що в певній молекулі цю амінокислоту кодує триплет ЦУУ. Унаслідок змін у цьому триплеті останній нуклеотид (У) може замінюватися на інший, наприклад на А. Але триплет, що утворився – ЦУА, все одно кодуватиме амінокислоту лейцин.

За допомогою таблиці 2 можна визначити, яку саме амінокислоту кодує певний триплет. Перший нуклеотид у триплеті беруть з лівого вертикального стовпчика, другий – з верхнього горизонтального і третій – з правого вертикального. У місці перетину ліній міститься інформація про амінокислоту, яку слід визначити. Нагадуємо, що в таблиці 2 наведено триплети мРНК, а не ДНК.

Ще одна властивість генетичного коду полягає в тому, що кожний триплет кодує лише одну певну амінокислоту. Тобто ***генетичний код однозначний***. Крім того, ***генетичний код універсальний*** – єдиний для всіх організмів: від бактерій до людини.

Генетичний код не перекривається, генетична інформація у прокаріотів та еукаріотів зазвичай може зчитуватися лише в один спосіб. Послідовність нуклеотидів починає зчитуватися з певної точки в одному напрямку, що визначає порядок зчитування триплетів усього ланцюга нуклеотидів. Ця властивість забезпечує точне відтворення білкових молекул в особин різних поколінь. Початок процесу синтезу білкової молекули визначає триплет **АУГ**, тому його називають ***стартовим***. Генетична інформація зчитується послідовно – крок за кроком, при цьому кожен крок відповідає одному триплету (мал. 22.4). У генетичному коді є також три триплети (**УАА**, **УАГ**, **УГА**), кожний з яких сигналізує про припинення синтезу поліпептидного ланцюга, їх називають ***стоп-кодонами***.

АУГ	ЦЦА	ГАУ	ЦЦЦ	ГАА	…	УГА
мет	про	асп	про	глу		стоп-кодон

Мал. 22.4. Зчитування генетичної інформації

Аналізуючи таблицю 2, ви звернули увагу на те, що триплети УАА, УАГ, УГА не кодують жодної амінокислоти, на відміну від триплету АУГ.

Ключові терміни та поняття: **реплікація, реакції матричного синтезу, репарація молекул ДНК, генетичний код, триплет.**

Перевірте здобуті знання

1. Яка роль ДНК у кодуванні генетичної інформації? 2. Як відбувається реплікація молекул ДНК? 3. Як відбувається репарація молекул ДНК? 4. Що таке генетичний код і які його властивості? 5. Яке біологічне значення того факту, що більшість амінокислот, які входять до складу білків, закодовані не одним, а декількома триплетами? 6. Що таке реакції матричного синтезу? Яке біологічне значення реакцій цього типу?

Поміркуйте. Яке значення для існування організмів має здатність ДНК до репарації?

§23. БІОСИНТЕЗ БІЛКІВ

Пригадайте, які амінокислоти належать до замінних, а які – до незамінних? Яка будова та функції різних типів молекул РНК? Що таке екзони та інтрони? Які функції рибосом та зернистої ендоплазматичної сітки?

Як ви пам'ятаєте, генетичний код у клітині реалізується шляхом біосинтезу білкових молекул. Важлива роль у цих процесах належить

різним типам молекул РНК: мРНК, рРНК та тРНК. Організми здатні синтезувати нуклеотиди у результаті послідовних ферментативних реакцій. Попередниками нуклеотидів, які входять до складу нуклеїнових кислот, є амінокислоти.

Біосинтез білкових молекул. *Пригадаймо*: замінні амінокислоти можуть синтезуватись в організмі людини і тварин, незамінні – надходять до них лише з їжею. Білки їжі перетравлюються в органах травної системи, ці процеси завершуються в клітинах. Саме в клітинах з амінокислот синтезуються білки, властиві цьому організмові. Рослини та деякі мікроорганізми здатні самі синтезувати всі необхідні їм амінокислоти.

Механізм біосинтезу білків з'ясовано у 50-ті роки XX ст. Як і біосинтез нуклеїнових кислот, він відбувається за принципом матричних реакцій. Утворення кожної з 20 стандартних амінокислот – складний багатоступеневий процес, який каталізує багато ферментів.

Початковий етап біосинтезу білкової молекули пов'язаний із синтезом молекули мРНК на молекулі ДНК (див. мал. 22.2).

Процеси переписування спадкової інформації з молекули ДНК на молекулу мРНК називають *транскрипцією* (від лат. *транскриптіо* – переписування).

Особливий фермент роз'єднує подвійну спіраль ДНК, і на одному з її ланцюгів за принципом комплементарності синтезується молекула мРНК. Фермент також забезпечує приєднання комплементарних нуклеотидів до ланцюга РНК, що синтезується. При цьому напроти нуклеотидів з аденіном у складі матричного ланцюга ДНК в РНК включаються нуклеотиди з урацилом.

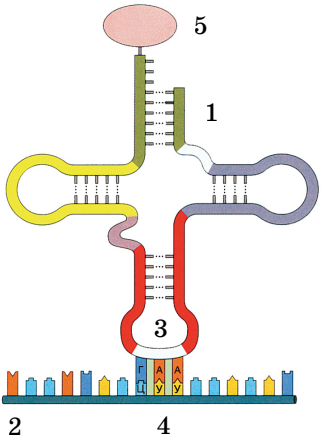
Наступні етапи біосинтезу білків мають назву **трансляція** (від лат. *трансляціо* – передача). Послідовність нуклеотидів у молекулі мРНК переводиться в послідовність амінокислотних залишків молекули білка, що синтезується. Так розшифровується інформація, записана у вигляді послідовності нуклеотидів мРНК.

Отже, молекула мРНК синтезується лише на одному з ланцюгів молекули ДНК. При цьому послідовність нуклеотидів молекули мРНК комлементарна послідовності нуклеотидів ланцюга ДНК, на якому вона синтезована, і збігається з послідовністю нуклеотидів іншого її ланцюга, який називають *кодуючим*, або *змістовним*:

АУГ_ГЦГ_АУЦ_ЦГГ – ділянка мРНК
ТАЦ_ЦГЦ_ТАГ_ГЦЦ – ланцюг ДНК, на якому здійснюється процес транскрипції
АТГ_ГЦГ_АТЦ_ЦГГ – другий ланцюг ДНК – кодуючий, або змістовний

Спочатку в цитоплазмі кожна з амінокислот, які мають увійти до складу молекули білка, за участі специфічного ферменту ковалентним зв'язком приєднується до певної молекули тРНК (мал. 23.1).

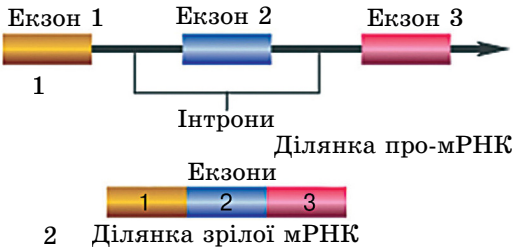
Молекула тРНК приєднує певну амінокислоту (відповідно до антикодону) і транспортує її до місця синтезу білкової молекули. У транспорті комплексу молекула «тРНК – амінокислота» беруть участь мікротрубочки та мікронитки цитоплазми.



Мал. 23.1. Взаємодія молекули тРНК (1) з молекулою мРНК (2). Антикодон (3) молекули тРНК взаємодіє з кодоном (4) молекули мРНК, 5 – амінокислота, яку транспортує молекула тРНК

Цікаво знати

Під час транскрипції на певній послідовності нуклеотидів одного з ланцюгів молекули ДНК – гені – синтезується попередник мРНК (**про-мРНК**) – молекула, яка містить ділянки, що відповідають як екзонам, так й інтронам. Потім інтрони за участі відповідних ферментів вирізаються і кінці сусідніх екзонів зшиваються. Цей процес своєрідного «дозрівання» молекули мРНК називають ***сплайсингом*** (від англ. *сплайс* – склеювати кінці будь-чого) (мал. 23.2). Після завершення цього процесу утворюється зріла молекула мРНК без інтронів, яка з ядра надходить у цитоплазму клітини. Така молекула переносить спадкову інформацію від ДНК до місця синтезу білкової молекули – рибосоми. Там молекула мРНК виконує функцію матриці (звідки походить її назва).



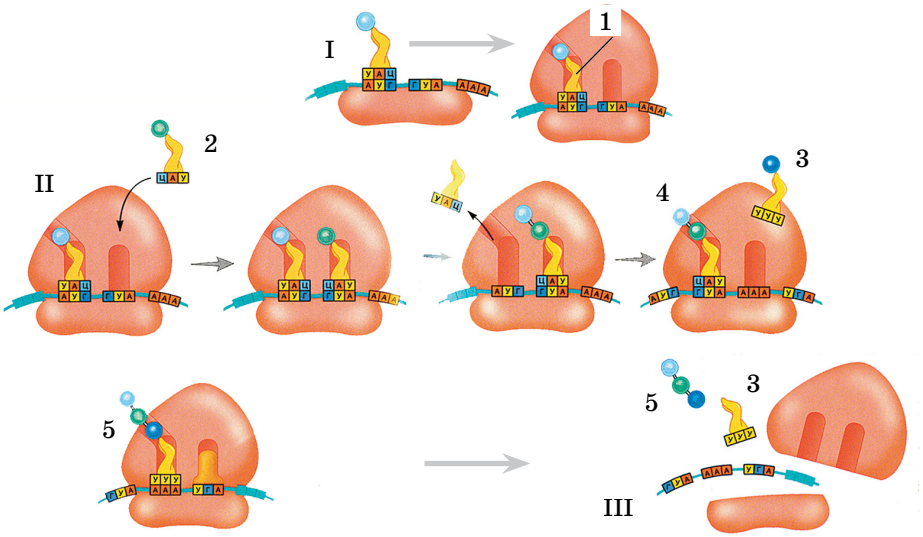
Мал. 23.2. Структура мРНК до (1) та після (2) процесу сплайсингу

Трансляція розпочинається з ***ініціації***: мРНК зв'язується з рибосомою, а згодом – і з амінокислотним залишком, приєднаним до певної молекули тРНК. При цьому молекула мРНК опиняється між двома субодиницями рибосоми. Структура молекули рРНК разом з білками забезпечує певне просторове розташування молекул мРНК і тРНК під час біосинтезу білкової молекули.

Спочатку рибосома зв'язується зі стартовим кодоном **АУГ** у складі молекули мРНК. Такий комплекс готовий до початку синтезу молекули білка. При цьому кодон (певний триплет у складі молекули мРНК) упізнається антикодоном – комплементарним триплетом у складі тРНК (знайдіть їх на мал. 23.1).

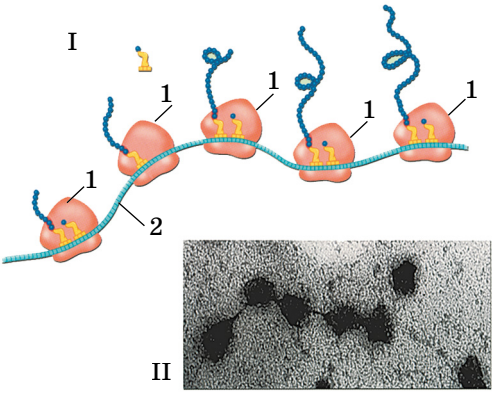
На наступних етапах біосинтезу білка поліпептидний ланцюг подовжується завдяки тому, що амінокислотні залишки послідовно зв'язуються між собою за допомогою особливих міцних ковалентних (пептидних) зв'язків. При цьому кожний наступний кодон мРНК упізнається антикодоном молекули тРНК, а рибосома каталізує приєднання амінокислоти, яку несе тРНК, до поліпептидного ланцюга. Далі рибосома здійснює один крок уздовж молекули мРНК (цей крок дорівнює одному триплету) для взаємодії з наступною тРНК.

Основні операції трансляції забезпечує ***функціональний центр рибосоми***. Його розміри відповідають довжині двох триплетів – у ньому водночас можуть перебувати два сусідніх кодони мРНК та дві молекули тРНК (мал. 23.3). В одній частині функціонального центру анти-



Мал. 23.3. Етапи біосинтезу білкової молекули. I. Ініціація: мала субодиниця рибосоми сполучається з мРНК; тРНК з антикодоном УАЦ утворює комплементарну пару з кодоном АУГ молекули мРНК. Велика субодиниця рибосоми сполучається з малою, тРНК опиняється в одній з ділянок функціонального центру рибосоми (1). Інша ділянка залишається вільною. II. Синтез поліпептидного ланцюга. До другої ділянки функціонального центру рибосоми прямує ще одна молекула тРНК з антикодоном ЦАУ (2). Дві молекули тРНК одночасно перебувають у функціональному центрі рибосоми. Перша молекула тРНК залишає функціональний центр рибосоми; амінокислота, яку вона транспортувала, сполучається пептидним зв'язком з амінокислотою, яку транспортувала друга молекула тРНК. Рибосома просувається вперед і друга молекула тРНК опиняється у першій ділянці (4). До другої ділянки підходить третя молекула тРНК (3). Третій триплет приєднується до поліпептидного ланцюга (5). Рибосома залишається на одному з кодонів (УГА), який дає сигнал про припинення біосинтезу. III. Завершення синтезу білкової молекули. Синтезована молекула поліпептидного ланцюга (5) та молекула тРНК (3) звільняються. Велика та мала субодиниці рибосоми роз'єднуються

кодон тРНК упізнає кодон мРНК, а в іншій – амінокислота звільняється від тРНК. Коли рибосома просувається вперед уздовж молекули мРНК, її місце займає друга, згодом – третя, четверта тощо, і біосинтез нових білкових молекул триває. Кількість рибосом, які одночасно можуть бути розташовані на молекулі мРНК, визначається її довжиною, однак не пере-



Мал. 23.4. Структура та функції полірибосоми. I. Декілька рибосом (1), об'єднані молекулою мРНК (2), утворюють полірибосому (полісому). II. Електронна мікрофотографія полірибосоми

вищує 20. Комплекс рибосом, об'єднаних молекулою мРНК, називають ***полірибосомою*** (скорочено – ***полісомою***). Таким чином, на одній полісомі водночас синтезується багато молекул певного білка (мал. 23.4).

Завдяки об'єднанню окремих рибосом у полісоми за один і той самий проміжок часу синтезується більше молекул білків.

Процес синтезу білкової молекули триває доти, доки рибосома не сягне стоп-кодону (*пригадаймо:* таких стоп-кодонів існує три – **УАА**, **УАГ**, **УГА**). Тоді **трансляція припиняється:** вільна рибосома розпадається на субодиниці, які згодом об'єднаються навколо іншої молекули мРНК (див. мал. 23.3, III). Синтезована молекула білка може надходити в цитоплазму або в порожнину ендоплазматичної сітки, якою транспортується в певну ділянку клітини.

Цікаво знати

Для підвищення надійності процесу завершення синтезу білкової молекули (термінації) стоп-кодони дублюються. Першим при цьому зазвичай є кодон **УАА** (основний термінуючий триплет), а за ним на дуже близькій відстані розташований один із запасних термінуючих триплетів – **УАГ** або **УГА**.

На заключному етапі біосинтезу синтезований білок набуває своєї природної просторової структури. За участі відповідних ферментів відщеплюються зайві амінокислотні залишки, до складу молекули можуть вводитись небілкові складові (ортофосфатні, карбоксильні та інші групи, вуглеводи, ліпіди тощо).

Лише набувши певної просторової структури, молекула білка стає функціонально активною.

Процеси синтезу білкових молекул потребують витрат енергії, яка звільняється під час розщеплення молекул АТФ.

Ключові терміни та поняття: **транскрипція, трансляція, функціональний центр рибосоми, полірибосома (полісома).**

Перевірте здобуті знання

1. Які основні етапи процесу біосинтезу білкових молекул? 2. Яку роль відіграють рибосоми в процесі біосинтезу білків? 3. Як генетична інформація, закодована в молекулі ДНК, реалізується під час синтезу білкової молекули? 4. Яке біологічне значення того, що на молекулі мРНК одночасно перебуває не одна, а декілька рибосом?

Поміркуйте. Гени кодують структуру білкових молекул або молекул РНК. Як вони впливають на перебіг синтезу інших молекул: вуглеводів, ліпідів тощо?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 2

Розв'язування елементарних вправ з реплікації, транскрипції та трансляції

Мета: навчитися розв'язувати елементарні вправи з молекулярної біології.

Вправа 1. Один з ланцюгів молекули ДНК складається з таких залишків нуклеотидів: ТАЦ ГАА ЦГЦ АТГ ЦГА ТЦЦ

Визначте послідовність нуклеотидів у дочірньому ланцюзі цієї молекули, синтезованому у процесі реплікації.

Розв'язок: За принципом комплементарності встановлюємо послідовність нуклеотидів у дочірньому ланцюзі молекули ДНК, який був синтезований на материнському ланцюзі:

Материнський ланцюг: ТАЦ ГАА ЦГЦ АТГ ЦГА ТЦЦ
Дочірній ланцюг: АТГ ЦТТ ГЦГ ТАЦ ГЦТ АГГ

Вправа 2. Один з ланцюгів молекули ДНК становить собою таку послідовність нуклеотидів: ТЦГ ГАА АЦГ ТАА ЦАГ ГТА ЦАТ ТАТ.

У який послідовності до функціонального центру рибосоми, яка пов'язана з молекулою мРНК, синтезованою на цьому ланцюзі, будуть підходити молекули тРНК, що транспортують амінокислоти?

Розв'язок. За принципом компліментарності встановлюємо послідовність молекули мРНК, яка була синтезована на зазначеній ділянці ланцюга ДНК:

АГЦ ЦУУ УГЦ АУУ ГУЦ ЦАУ ГУА АУА

Отже, послідовність молекул тРНК, які підходитимуть до функціонального центру рибосоми, буде такою: тРНК з антикодоном УЦГ, тРНК з антикодоном ГАА, тРНК з антикодоном АЦГ, тРНК з антикодоном УАА, тРНК з антикодоном ЦАГ, тРНК з антикодоном ГУА, тРНК з антикодоном ЦАУ, тРНК з антикодоном УАУ.

Вправа 3. Ділянка молекули ДНК має такий вигляд:

АТА ГТЦ ЦГА ГТА ТЦЦ
ТАТ ЦАГ ГЦТ ЦАТ АГГ

Який з двох ланцюгів молекули ДНК кодує поліпептид, що складається з таких амінокислотних залишків: ізолейцин – валін – аргінін – валін – серин?

Розв'язок. Використовуючи таблицю «Генетичний код», встановлюємо послідовність залишків нуклеотидів молекули мРНК, яка слугувала матрицею для синтезу даного поліпептиду:

АУА – ГУЦ – ЦАГ – ГУА – УЦЦ

Далі визначаємо, який саме ланцюг молекули ДНК кодує дану молекулу мРНК. Це ланцюг, комплементарний тому, на якому вона була синтезована: АТА ГТЦ ЦГА ГТА ТЦЦ.

****Вправа 4.*** Ланцюг молекули ДНК до порушення складався з такої послідовності залишків нуклеотидів:

ААА ААТ ТГГ ЦАГ ТТГ.

Після змін він набув вигляду:

ААА ААТ ТГГ ЦАТ ТТГ.

1. Порівнявши структуру молекули ДНК до та після пошкодження, знайдіть змінений триплет.

2. Визначте будову поліпептидів, які кодував ланцюг ДНК до та після пошкодження.

Розв'язок. 1. У четвертому нуклеотиді відбулася заміна нуклеотиду з **Г** на нуклеотид з **Т**.

2. Для того щоб визначити, з якої послідовності амінокислотних залишків складався поліпептид, який кодувала дана ділянка молекули ДНК до порушення,

визначаємо послідовність залишків нуклеотидів молекули мРНК, синтезованої на даному ланцюзі молекули ДНК:

УУУ УУА АЦЦ ГУЦ ААЦ

Використовуючи таблицю «Генетичний код», встановлюємо послідовність амінокислотних залишків у молекулі синтезованого поліпептиду: фенілаланін – лейцин – треонін – валін – треонін.

Після мутації послідовність залишків нуклеотидів у молекулі мРНК стане такою: УУУ УУА АЦЦ ГУА ААЦ.

Використовуючи таблицю «Генетичний код», встановлюємо послідовність амінокислотних залишків у молекулі поліпептиду, синтезованого після порушення: фенілаланін – лейцин – треонін – валін – треонін.

Порівнюючи амінокислотний склад поліпептидів, синтезованих до та після порушень, робимо висновок, що він не змінився. Це стало можливим тому, що генетичний код вироджений – 18 з 20 основних амінокислот кодуються декількома триплетами. Таким чином, заміна одного із нуклеотидів у складі певного триплету не завжди призводить до заміни амінокислоти у складі молекули синтезованого поліпептиду.

Вправа 5. Скільки амінокислот кодує молекула мРНК, якщо вона синтезована на ділянці молекули ДНК, що складається з таких нуклеотидів: ААГТЦАГЦАЦТЦЦАААТТ?

Вправа 6. Якою послідовністю нуклеотидів молекули мРНК кодується ділянка молекули білка, якщо він має таку будову: СЕРИН – ГЛІЦИН – АСПАРАГІН – ЦИСТЕЇН – СЕРИН – ЛІЗИН – ВАЛІН – АРГІНІН?

Вправа 7. Якою послідовністю нуклеотидів молекули ДНК кодується ділянка молекули білка, якщо він має таку будову: ЛІЗИН – ГЛІЦИН –ЦИСТЕЇН – ГЛУТАМІН – АСПАРАГІН – ТРЕОНІН?

Вправа 8. Яка послідовність амінокислот кодується такою послідовністю нуклеотидів ДНК: АГЦАТТЦЦАГТЦТГЦАТГ? Якою стане послідовність амінокислот, якщо через порушення із цієї молекули випаде перший нуклеотид?

Вправа 9. Яка послідовність амінокислот кодується такою послідовністю нуклеотидів мРНК: ГЦУГЦАУАААЦЦУГАЦАГЦУА? Якою стане послідовність амінокислот, якщо через порушення із цієї молекули випаде другий нуклеотид?

Вправа 10. Залишки нуклеотидів одного з ланцюгів молекули ДНК мають таку послідовність:

ТАЦ ГАЦ АЦГ ГЦГ АТТ ТАЦ АГГ ЦГГ ТЦГ АЦТ.

Яку кількість молекул амінокислот вона кодує?

Вправа 11. Послідовність амінокислотних залишків молекули поліпептиду така: АСПОРАГІН – ІЗОЛЕЙЦИН – ПРОЛІН – ТРЕОНІН – ВАЛІН – ЦИСТЕІН. Враховуючи, що більшість основних амінокислот кодується кількома триплетами, визначте можливі варіанти послідовності залишків нуклеотидів, які можуть кодувати цей поліпептид.

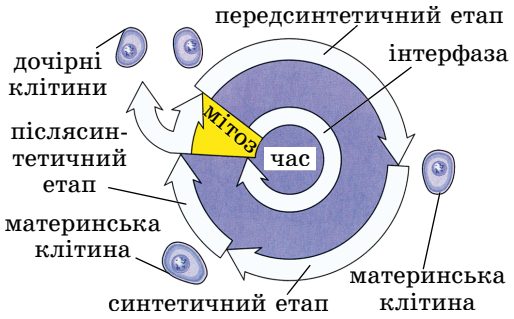
§24. КЛІТИННИЙ ЦИКЛ. МІТОЗ

Пригадайте, що таке вид, нейрони, ситоподібні трубки, хроматин, хромосоми, центріолі. Що таке центромера та кінетохор? Яка зовнішня будова кореня?

Період існування клітини від початку одного поділу до настання наступного або ж від початку останнього поділу клітини до її загибелі називають **клітинним циклом** (мал. 24.1). Його тривалість у різних організмів неоднакова: у бактерій за оптимальних умов вона становить 20–30 хв, у клітин еукаріотів – 10–80 год і більше (наприклад, інфузорія-туфелька може за оптимальних умов ділитися кожні 10–20 год).

Між двома послідовними поділами клітини існує певний період, який має назву ***інтерфаза*** (від лат. *інтер* – між і грец. *фазіс* – поява). В інших випадках інтерфаза триває від останнього поділу клітини до моменту її загибелі. Таке явище спостерігають у клітин багатоклітинних організмів, які втрачають здатність до поділу (нейрони, еритроцити, ситоподібні трубки тощо).

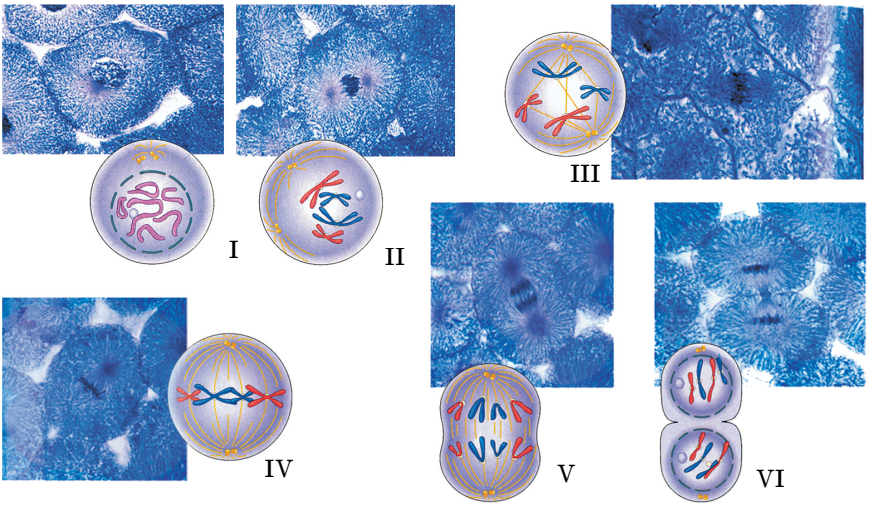
В інтерфазі клітина росте, у ній інтенсивно синтезуються білки та інші органічні сполуки, активно запасається енергія, потрібна для здійснення наступного поділу клітини. Найінтенсивніше процеси синтезу перебігають у період інтерфази, який називають *синтетичним* (мал. 24.1). У цей час подвоюються хроматиди (процес пов'язаний з подвоєнням молекул ядерної ДНК), центріолі, діляться мітохондрії та пластиди.



Мал. 24.1. Узагальнена схема клітинного циклу. ***Завдання.*** *Схарактеризуйте різні періоди інтерфази*

Період між завершенням попереднього поділу клітини і синтетичним періодом називають *передсинтетичним*, а між завершенням синтетичного періоду і початком наступного поділу – *післясинтетичним* (мал. 24.1). Тривалість інтерфази переважно становить до 90 % часу всього клітинного циклу. Стимулом для наступного поділу клітини часто є досягнення нею певних розмірів в інтерфазі. Основним способом поділу еукаріотичних клітин є **мітоз** (від грец. *мітос* – нитка) (мал. 24.2). Процес мітозу супроводжується утворенням особливого апарату – ***веретена поділу***, який забезпечує рівномірний розподіл спадкового матеріалу материнської клітини між двома дочірніми. У цьому процесі часто беруть участь центріолі (наприклад, у клітинах багатоклітинних тварин).

Фази мітотичного поділу. Мітоз складається із чотирьох послідовних фаз: профази, метафази, анафази і телофази (мал. 24.2). Його тривалість – від кількох хвилин до 2–3 год. **Профаза** (від грец. *про* – перед) починається з ущільнення ниток хроматину: вони вкорочуються й ущільнюються (спіралізуються) (мал. 24.2, I). Стають помітними щільні тільця – хромосоми, в них – первинна перетяжка (центромера), де



Мал. 24.2. Мітоз. I. Профаза: зникнення ядерної оболонки; II. Профаза: хромосоми опиняються у цитоплазмі; III. Початок метафази: нитки веретена поділу приєднуються до кінетохорів; IV. Завершення метафази: хромосоми розташовані по центру клітини; V. Анафаза: хроматиди кожної з хромосом розходяться до полюсів клітини. VI. Телофаза: формування оболонки ядер, поділ цитоплазми та утворення дочірніх клітин

розташований кінетохор. У цей час під світловим мікроскопом можна розглянути будову хромосом і підрахувати їхню кількість. Поступово зменшуються в розмірах і зникають ядерця. У більшості клітин під час поділу ядерна оболонка розпадається на фрагменти та зникає (за винятком деяких одноклітинних еукаріотів), і хромосоми опиняються в цитоплазмі (мал. 24.2, II). У цей самий час починає формуватися веретено поділу. Його нитки прикріплюються до кінетохорів, і хромосоми починають рухатись до центральної частини клітини (мал. 24.2, II).

Під час **метафази** (від грец. *мета* – після) завершується ущільнення хромосом і формування веретена поділу. Саме в цей час деталі будови хромосом стають помітними найчіткіше. Хромосоми наче «вишиковуються» в одній площині в центральній частині клітини, а їхні центромери розташовані на однакових відстанях від кожного з полюсів клітини. Наприкінці метафази дві структурні одиниці хромосом – хроматиди (їх ще називають сестринськими хромосомами) відокремлюються одна від одної (мал. 24.2, III, IV).

Анафаза (від грец. *ана* – знову, поза) – найкоротша фаза мітозу (мал. 24.2, V). У цей час діляться центромери, і окремі хроматиди кожної хромосоми починають рухатися до різних полюсів клітини. Кожна з хроматид відповідає половині спадкового матеріалу хромосоми у профазі, тобто хроматиди містять ідентичний спадковий матеріал.

Телофаза (від грец. *мелос* – кінець) триває від моменту припинення руху хроматид до утворення двох дочірніх клітин (мал. 24.2, VI). На початку телофази хромосоми деспіралізуються. Навколо кожного з двох скупчень хроматид формується ядерна оболонка, з'являються ядерця, і ядра дочірніх клітин набувають такого вигляду, який вони мали в інтерфазі. Протягом телофази поступово зникає веретено поді-

лу, ділиться цитоплазма материнської клітини й утворюються дві дочірні.

Біологічне значення мітозу. Мітотичний поділ забезпечує точну передачу спадкової інформації від материнської клітини дочірнім протягом низки послідовних клітинних циклів. Кожна з дочірніх клітин отримує по одній хроматиді від кожної хромосоми. Завдяки цьому зберігається і постійне число хромосом в усіх дочірніх клітинах, і сталий набір спадкової інформації.

Поспостерігайте за процесами життєдіяльності клітин, навчіться розпізнавати на схемах, постійних мікропрепаратах, мікрофотографіях фази мітотичного поділу клітин, виконавши лабораторне дослідження.

Процес мітозу забезпечує сталість каріотипу організмів певного виду, тобто саме існування біологічних видів протягом тривалих історичних проміжків часу.

Лабораторне дослідження фаз мітозу (на прикладі клітин кореня цибулі)

Обладнання і матеріали: мікроскопи, постійні мікропрепарати клітин корінців цибулі або інших рослин на різних стадіях мітотичного циклу, мікрофотографії різних стадій мітотичного поділу клітин.

1. Підготуйте мікроскоп до роботи.
2. За малого збільшення мікроскопа знайдіть на мікропрепараті корінця кореневий чохлик, зони поділу і розтягнення.
3. За великого збільшення мікроскопа знайдіть у зоні поділу клітини на стадіях інтерфази (прямокутні, оточені товстою клітинною стінкою), профази (у центральній частині клітини помітні хромосоми), метафази (помітне веретено поділу, хромосоми у центральній частині клітини складаються з двох хроматид кожна), анафази (хроматиди розташовані на полюсах клітини), телофази (хромосоми розкручуються, з'являється ядерна оболонка і перегородка між дочірніми клітинами).
4. Порівняйте побачене з мікрофотографіями різних стадій мітотичного поділу клітин.

Регуляція клітинного циклу. Головні події клітинного циклу – подвоєння молекул ДНК в інтерфазі та розходження сестринських хроматид в анафазі. Клітинний цикл чітко керується. Існують так звані *контрольні пункти*, у яких він перевіряється на правильність і в разі помилок може бути зупинений. Проходженням клітинного циклу через ці контрольні пункти керують спеціальні ферменти.

Вивчаючи попередній матеріал, присвячений будові та процесам життєдіяльності клітини, ви зрозуміли, що кожна клітина є цілісною саморегульованою біологічною системою. Насамперед, це стосується одноклітинних організмів, у яких окрема клітина є одночасно й самостійним організмом. У багатоклітинних організмів діяльність окремих клітин регулюють біологічно активні речовини (фітогормони у рослин, гормони та нейрогормони у тварин), а в більшості багатоклітинних тварин – ще й нервова система. Для клітин еукаріотів характерна чітка періодичність

фізико-хімічних процесів, які в ній відбуваються. Це, у свою чергу, визначає й періодичність біологічних процесів у нашому організмі: періоди сну та неспання, періодичність виділення травних ферментів протягом доби тощо.

На діяльність клітини можуть впливати й чинники зовнішнього щодо неї середовища. Наприклад, для синтезу хлорофілу в клітинах рослин потрібний доступ світла.

Цікаво знати

Кожна клітина як і цілісний організм характеризується певною тривалістю життя, запрограмованою спадково. Так, клітини кишківника живуть близько 5 діб; кореневі волоски рослин – близько 20 діб; еритроцити людини – близько 120; клітини печінки (гепатоцити) – близько 480; нейрони та м'язові клітини – десятки років.

Регуляцію клітинного циклу забезпечують складні молекулярні механізми.

Ключові терміни та поняття: **клітинний цикл, інтерфаза, мітоз, профаза, метафаза, анафаза, телофаза.**

Перевірте здобуті знання

1. З яких періодів складається клітинний цикл? 2. Що таке інтерфаза? Яке її значення для існування клітини? 3. Що таке мітоз? З яких фаз він складається? 4. Які події відбуваються під час профази? 5. Чим характеризується метафаза? 6. Що відбувається під час анафази? 7. Схарактеризуйте події телофази. 8. У чому полягає біологічне значення мітозу?

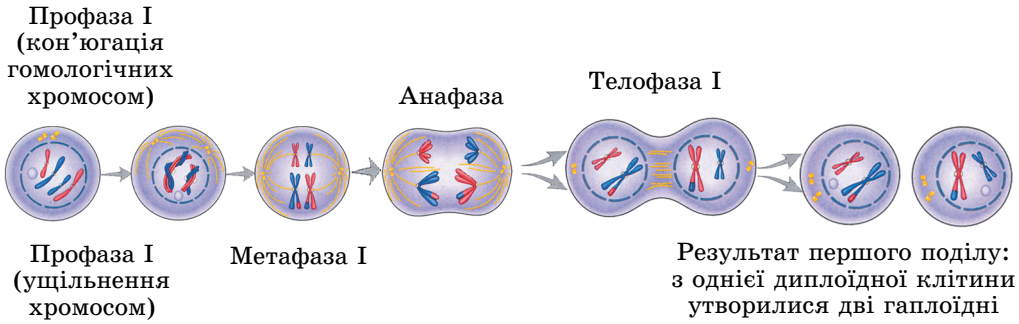
Поміркуйте. Чи могли б існувати тривалі історичні відрізки часу види, якби під час мітозу не відбувалася точна передача спадкової інформації від материнської клітини дочірнім? Відповідь обґрунтуйте.

Творче завдання. Запропонуйте свої варіанти застосування моделювання у дослідженнях будови та процесів життєдіяльності клітин.

§25. МЕЙОЗ

Пригадайте, чим відрізняються хромосомні набори статевих і нестатевих клітин багатоклітинних організмів. Які набори хромосом називають гаплоїдними, диплоїдними та поліплоїдними? Що таке алельні гени? Як відбувається мітотичний поділ?

Процес запліднення супроводжується злиттям ядер чоловічої і жіночої статевих клітин, які, здебільшого, мають гаплоїдний набір хромосом (**1**n). При цьому хромосомний набір запліднeної яйцеклітини подвоюється, тобто стає диплоїдним (**2**n). Якби кількість хромосом в організмів, яким притаманне статеве розмноження, з кожним поколінням подвоювалась, то кожне наступне покоління могло б становити новий біологічний вид. Але в природі нічого подібного не спостерігають: у видів, які розмножуються статевим шляхом, хромосомний набір постійний. Це свідчить про те, що в їхньому життєвому циклі існує особливий механізм, який забезпечує зменшення хромосомного набору статевих клітин удвічі, порівняно з нестатевими. Цей механізм дістав назву **мейоз.**



Мал. 25.1. Перший мейотичний поділ: з однієї диплоїдної клітини утворилося дві гаплоїдні. ***Завдання.*** *Уважно розгляньте малюнок та схарактеризуйте події, які відбуваються під час тих чи інших фаз першого мейотичного поділу*

Мейоз (від грец. мейозіс – зменшення) – особливий спосіб поділу еукаріотичних клітин, унаслідок якого їхній хромосомний набір зменшується вдвічі.

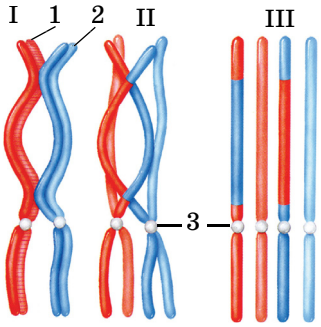
Цікаво знати

Мейоз спостерігають лише у тих організмів, у життєвому циклі яких відбувається статевий процес. У тих же еукаріотів, яким статеве розмноження не притаманне (як-от хлорела, амеба протей, евглена зелена), мейотичний поділ не спостерігають.

Під час мейозу, на відміну від мітозу, відбуваються два послідовні поділи, інтерфаза між якими вкорочена. Кожний із цих поділів, як і мітоз, складається із чотирьох послідовних фаз: профази, метафази, анафази і телофази (мал. 25.1, 25.3).

Під час **профази першого мейотичного поділу (профази I)** хромосоми починають ущільнюватися і набувають вигляду паличкоподібних структур (мал. 25.1, I). Потім гомологічні хромосоми зближуються і кон'югують між собою. У цей час здається, що в ядрі не диплоїдний, а гаплоїдний набір хромосом. Насправді, кожна його складова частина – це пара сполучених між собою гомологічних хромосом.

Під час кон'югації може відбуватись ***кросинговер*** (від англ. *кросинг-овер* – перехрест) – гомологічні хромосоми обмінюються своїми певними ділянками (мал. 25.2). У результаті утворюються нові комбі-



Мал. 25.2. Схема, що ілюструє процес кросинговеру: I – гомологічні хромосоми (1 та 2) зближуються, II – після кон'югації гомологічні хромосоми починають розходитися (3 – центромери), але залишаються сполученими у певних ділянках, III – хроматиди гомологічних хромосом, що після кросинговеру обмінялися своїми ділянками (знайдіть ці ділянки на малюнку). Так унаслідок процесу кросинговеру утворилися дві гомологічні хромосоми з різним набором спадкової інформації

нації спадкового матеріалу, тому гомологічні хромосоми можуть відрізнятися за набором алельних генів.

Кросинговер є одним з джерел спадкової мінливості організмів.

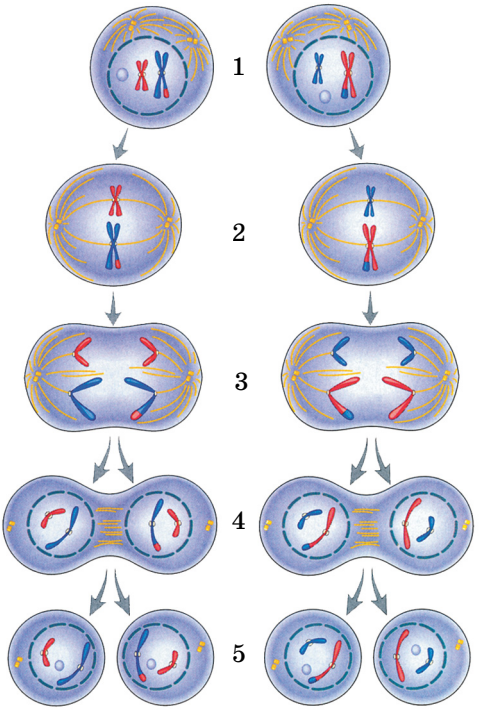
Через певний час гомологічні хромосоми починають відходити одна від одної. При цьому стає помітним, що кожна з них складається з двох хроматид, сполучених між собою в певних точках. Наприкінці профази I гомологічні хромосоми розходяться, зникають ядерця, руйнується ядерна оболонка і починає формуватися веретено поділу.

У **метафазі першого поділу мейозу (метафаза I)** нитки веретена поділу приєднуються до кінетохорів гомологічних хромосом. При цьому центромери гомологічних хромосом розташовані одна навпроти одної, а не на одній лінії, як під час мітозу (мал. 25.1).

Під час **анафази першого мейотичного поділу (анафаза I)** гомологічні хромосоми пересуваються до протилежних полюсів клітини. Кожна з них при цьму складається з двох хроматид. Отже, наприкінці анафази I біля кожного з полюсів клітини опиняється половинний набір хромосом. Якщо клітина до початку мейозу була диплоїдною (**2**n), то після завершення першого мейотичного поділу вона стає гаплоїдною (**1**n).

У **телофазі першого поділу мейозу (телофаза I)** формується ядерна оболонка. У клітинах тварин і деяких видів рослин хромосоми деспіралізуються і ділиться цитоплазма материнської клітини. Але в клітинах багатьох видів рослин цитоплазма може і не ділитися.

Інтерфаза між першим і другим мейотичними поділами вкорочена: молекули ДНК у цей період не подвоюються. У клітинах багатьох рослин інтерфаза майже від-



Мал. 25.3. Другий мейотичний поділ (показано події, що відбуваються з клітинами, які утворилися під час першого поділу). 1. Профаза II: у клітин, які мають гаплоїдний набір хромосом, зникають ядерні оболонки, ядерця і починається утворення ниток веретена поділу. 2. Метафаза II: зверніть увагу на розташування хромосом: воно таке саме, як і під час мітозу. 3. Анафаза II: до полюсів клітини розходяться окремі хроматиди кожної з хромосом. 4. Телофаза II: зникають веретена поділу, формуються ядерні оболонки, ядерця й поділяється цитоплазма. 5. Результат мейозу: з однієї диплоїдної материнської клітини утворилися 4 гаплоїдні дочірні

сутня, тому вони одразу переходять до другого мейотичного поділу (мал. 25.3).

Під час **профази другого мейотичного поділу (профази II)** хромосоми, кожна з яких, як ви пам'ятаєте, складається з двох хроматид, ущільнюються, зникають ядерця, руйнується ядерна оболонка, хромосоми починають пересуватись до центральної частини клітини, знову починає формуватись веретено поділу (мал. 25.3, 1).

У **метафазі другого мейотичного поділу (метафазі II)** завершується ущільнення хромосом і формування веретена поділу. Як і під час мітотичного поділу, центромери хромосом розташовані в одній площині в центральній частині клітини, і до кінетохорів прикріплюються нитки веретена поділу (мал. 25.3, 2).

В **анафазі другого мейотичного поділу (анафазі II)** діляться центромери, і хроматиди кожної з хромосом розходяться до різних полюсів клітини (мал. 25.3, 3).

Під час **телофази другого мейотичного поділу (телофази II)** хромосоми знову деспіралізуються, зникає веретено поділу, формуються ядерця і ядерна оболонка. Завершується телофаза II поділом цитоплазми (мал. 25.3, 4). У результаті другого мейотичного поділу кількість хромосом залишається такою самою, як і після першого, але число хроматид кожної з хромосом зменшується вдвічі. Тож і вміст молекул ДНК у кожній з дочірніх клітин також зменшується вдвічі порівняно з материнською.

Біологічне значення мейозу. Мейоз – досконалий механізм, який забезпечує сталість каріотипу видів, які розмножуються статевим способом.

Мейоз також забезпечує і спадкову мінливість організмів. По-перше, в профазі I може відбуватися обмін ділянками гомологічних хромосом. По-друге, в анафазі I гомологічні хромосоми, які можуть містити різний набір спадкової інформації, опиняються в різних дочірніх клітинах (мал. 25.3). Таким чином, клітини, які утворилися внаслідок мейотичного поділу, можуть мати відмінний одна від одної набір спадкової інформації.

Після двох послідовних мейотичних поділів диплоїдної материнської клітини утворюється чотири гаплоїдні дочірні. При цьому дочірні клітини можуть відрізнятись за набором спадкової інформації.

Ключові терміни та поняття: **мейоз, кон'югація хромосом, кросинговер.**

Перевірте здобуті знання

1. Зі скількох поділів складається процес мейозу? 2. Що таке кон'югація гомологічних хромосом і кросинговер? 3. Чому мейоз сприяє збільшенню спадкової мінливості організмів? 4. Яке біологічне значення мейозу?

Поміркуйте. Чому мейоз не відбувається в тих організмів, яким не властиве статеве розмноження?

Робота в групі. Порівняйте події, що відбуваються під час мітозу та мейозу. По черзі порівняйте фази мітозу та першого мейотичного поділу, а потім –

мітозу та другого мейотичного поділу. Відзначте риси подібності та розбіжності між ними.

§26. СТАТЕВІ КЛІТИНИ І ЗАПЛІДНЕННЯ

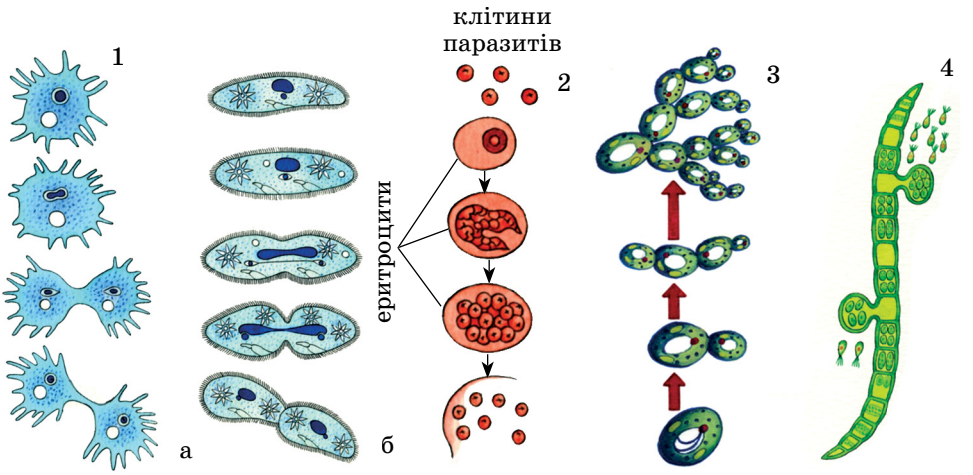
Пригадайте біологічне значення процесу розмноження. Які існують форми розмноження організмів? Як відбувається мітотичний поділ клітин? Що таке зигота, гаплоїдний, диплоїдний та поліплоїдний набір хромосом?

Розмноження – притаманна всім організмам властивість відтворення собі подібних. Завдяки цьому забезпечуються неперервність і спадковість життя. Основні форми розмноження живих істот – нестатеве та статеве. За ***нестатевого розмноження*** наступне покоління організмів розвивається з нестатевих клітин (їх ще називають *соматичними*; від грец. *сома* – тіло).

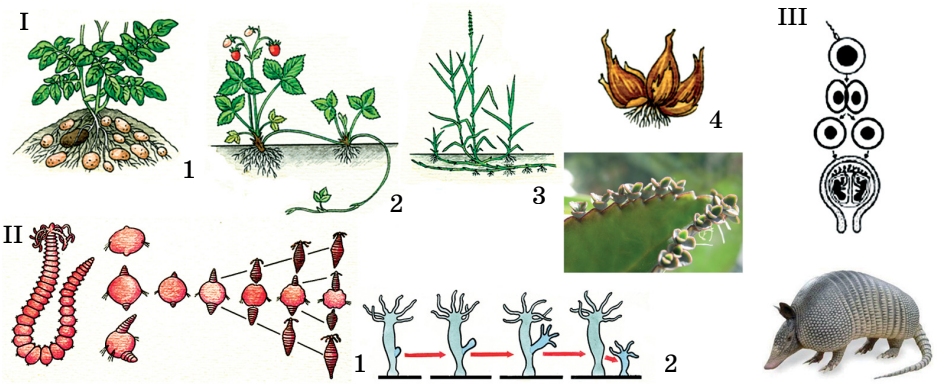
Нестатеве розмноження спостерігають як в одноклітинних організмів (прокаріотів та еукаріотів), так і в багатоклітинних еукаріотів (багатоклітинні водорості, вищі рослини, багатоклітинні гриби та тварини). Воно може відбуватися різними способами: поділом клітин навпіл або їхнім множинним поділом, брунькуванням, утворенням спор тощо (мал. 26.1).

Спосіб нестатевого розмноження, за якого в багатоклітинних організмів відокремлюються групи нестатевих клітин, називають *вегетативним* (мал. 26.2).

Особливим способом нестатевого розмноження організмів є ***поліембріонія*** (від грец. *поліс* – численний та *ембріон* – зародок) – розвиток кількох зародків з однієї запліднeної яйцеклітини (зиготи). У пев-



Мал. 26.1. Нестатеве розмноження: 1 – поділ клітини навпіл (а – амеби, б – інфузорії-туфельки); 2 – множинний поділ клітини малярійного плазмодія; 3 – брунькування клітин дріжджів; 4 – спороутворення у водорості улотрикса



Мал. 26.2. I. Способи вегетативного розмноження рослин: 1 – бульбами в картоплі; 2 – вусами в суниць; 3 – ділянками кореневища у пирію; 4 – дочірніми цибулинами; 5 – виводковими бруньками в бріофілюма. II. Вегетативне розмноження та поліембріонія у тварин: 1 – фрагментацією з наступним брунькуванням окремих сегментів тіла у додекацерії; 2 – брунькуванням у гідри. III. Поліембріонія трапляється у ссавців-панцирників

ний момент зародок розпадається на окремі клітини. Згодом із кожної такої клітини розвивається самостійний організм (мал. 26.2, III).

Біологічне значення нестатевого розмноження. У деяких груп організмів – це єдина можливість залишити нащадків. У видів, здатних і до статевого розмноження, цим способом можуть давати нащадків особини, які з певних причин виявилися ізольованими від інших. Завдяки нестатевому розмноженню особини певного виду за незначний проміжок часу можуть значно збільшувати чисельність.

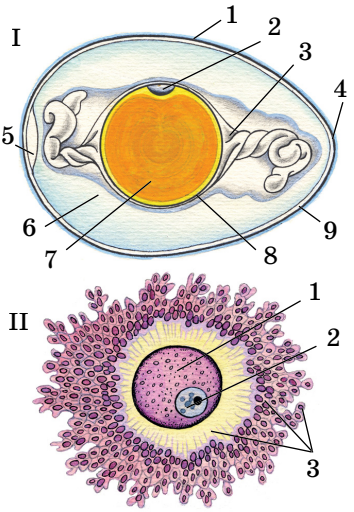
Статевий процес – це поєднання в одній клітині спадкового матеріалу двох клітин. Він забезпечує урізноманітнення спадкового матеріалу нащадків і генофонду популяції в цілому. А що різноманітніший генофонд популяції, то більше в неї шансів пристосуватись до змін умов навколишнього середовища (*поміркуйте* чому).

Статевий процес притаманний більшості видів еукаріотів, його спостерігають й у прокаріотів.

Процес злиття двох спеціалізованих статевих клітин (гамет) називають **копуляцією** (від лат. *копуляціо* – сполучення).

Будова статевих клітин. Функція статевих клітин (гамет) – передача спадкової інформації від особин батьківського покоління нащадкам. Порівняно з нестатевими клітинами вони мають удвічі менший набір хромосом, зазвичай гаплоїдний. У запліднений яйцеклітині (зиготі) відновлюється набір хромосом, характерний для соматичних клітин. Розглянемо особливості будови статевих клітин на прикладі хребетних тварин.

Жіночі статеві клітини – **яйцеклітини** – часто мають значний запас поживних речовин та оточені кількома оболонками. *Пригадаймо*: у птахів яйцеклітина послідовно вкрита товстою білковою оболонкою, двома тонкими підшкаралупними, твердою шкаралупою з карбонату кальцію та зовнішньою плівкою, або надшкаралупною оболонкою



Мал. 26.3. Будова яйцеклітин. I. Будова яйця птахів: 1 – шкаралупа; 2 – зародковий диск; 3 – канатик; 4 – надшкаралупна оболонка; 5 – повітряна камера; 6 – білкова оболонка; 7 – жовток; 8 – жовткова оболонка; 9 – підшкаралупні оболонки. II. Будова яйцеклітини ссавців: 1 – цитоплазма; 2 – ядро; 3 – вторинні оболонки

(мал. 26.3, I). Поверхневі оболонки виконують захисну функцію, а білкова, окрім того, слугує джерелом води для розвитку зародка. Згодом її споживає пташеня перед виходом з яйця.

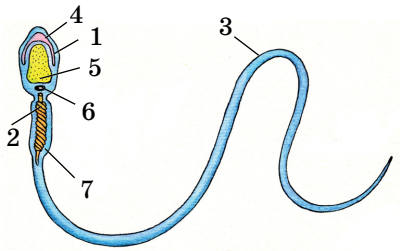
Яйцеклітини ссавців також оточені кількома оболонками, які виконують захисну та живильну функцію (мал. 26.3, II). У них оболонок менше, ніж у рептилій чи птахів, чий зародок здатний тривалий час розвиватися поза організмом матері.

Цікаво знати

Розміри яйцеклітини залежать від кількості запасних поживних речовин у цитоплазмі. Наприклад, у більшості ссавців, зародки яких отримують поживні речовини від організму матері через плаценту, розміри яйцеклітин (без урахування зовнішніх оболонок) варіюють від 50 мкм (мишоподібні гризуни – полівки) до 180 мкм (вівця). У людини діаметр яйцеклітини – близько 90 мкм. Якщо в яйцеклітині міститься значний запас поживних речовин (жовток), її діаметр може сягати до 5–7 см (акули), 8 см (страуси) тощо. А з урахуванням зовнішніх оболонок розміри таких яйцеклітин ще більші. Наприклад, яйце африканського страуса понад 15 см завдовжки і масою 1,5 – 2 кг.

Чоловічі гамети, які мають джгутики і здатні до активного руху (зелені водорості, вищі спорові рослини, більшість тварин тощо), зазвичай називають **сперматозоїдами**. У червоних водоростей, хвойних і покритонасінних рослин, грибів, частини тварин (нематоди, річкові раки, краби) чоловічі гамети позбавлені джгутиків, їх зазвичай називають *сперміями*.

Сперматозоїд ссавців має коротку *головку*, в якій містяться ядро, клітинний центр та невелика кількість цитоплазми (мал. 26.4, 1). Спадкова інформація упакована дуже щільно. У передній частині головки є особлива органела – ***акросома*** (мал. 26.4, 4). Ця органела виникає завдяки функціонуванню комплексу Гольджі і містить ферменти, які розчиняють оболонку яйцеклітини, забезпечуючи проникнення до неї сперматозоїда.



Мал. 26.4. Будова сперматозоїда ссавців: 1 – головка; 2 – шийка; 3 – хвіст; 4 – акросома; 5 – ядро; 6 – центріоля; 7 – мітохондрії

За головкою розташований видовжений *хвіст*. Його передня звужена частина має назву *шийка* (мал. 26.4, 2). У ній міститься передня центріоль (інша центріоль розташована за межами шийки). За шийкою розташовані впорядковані мікротрубочки, навколо яких зосереджені мітохондрії. Вони постачають енергію для роботи джгутика, завдяки чому сперматозоїд пересувається у рідкому середовищі.

Цікаво знати

Жіночі гамети найчастіше більші за розмірами, ніж сперматозоїди, оскільки в них запасаються поживні речовини, потрібні для розвитку зародка. Натомість чоловічі гамети дрібніші, бо переносять лише частину спадкового матеріалу. Крім того, великі розміри сперматозоїдів ускладнили б їхнє пересування.

Процес формування статевих клітин має назву **гаметогенез** (від грец. *гамете* – дружина, *гаметес* – чоловік та *генезис* – походження). Цей процес зазвичай відбувається в статевих залозах (*гонадах*): жіночих – яєчниках та чоловічих – сім'яниках.

Ключові терміни та поняття: **статевий процес, розмноження нестатеве та вегетативне, поліембріонія, копуляція.**

Перевірте здобуті знання

1. Яке біологічне значення процесу розмноження? 2. Які форми нестатевого розмноження ви знаєте? 3. Чим характеризується вегетативне розмноження? 4. У чому полягає суть поліембріонії? 5. Яке біологічне значення нестатевого розмноження? 6. У чому полягає особливість статевого процесу? 7. Чим характеризується будова жіночих статевих клітин птахів? 8. Яка будова чоловічих статевих клітин у ссавців?

Поміркуйте. Яке значення того, що в процесі еволюції розміри чоловічих гамет зменшувались, а жіночих – збільшувались?

§27. ПРОЦЕСИ ЗАПЛІДНЕННЯ

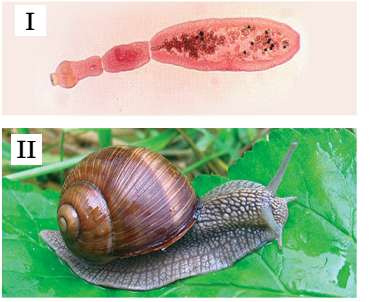
Пригадайте, як відбуваються процеси запліднення в різних груп тварин і рослин. Що таке акросома? Які рослини називають однодомними та дводомними? Які є пристосування рослин до різних способів запилення? Яка будова пилкового зерна та насінного зачатка у квіткових рослин?

Запліднення – це процеси злиття чоловічої і жіночої статевих клітин з утворенням зиготи, з якої розвивається новий організм. У статевому процесі зазвичай беруть участь дві особини. Тварини, особини яких мають лише один тип статевих залоз – або чоловічі (сім'яники), або жіночі (яєчники), відповідно, утворюють лише один тип статевих клітин. Таких тварин називають ***роздільностатевими*** (*наведіть приклади*).

Особини різних статей тварин можуть бути подібні зовнішньо (більшість медуз, багатощетинкові черви, двостулкові молюски тощо) або різнитися між собою. Явище, за якого самці та самки різняться між собою дістало назву ***статевий диморфізм***. Воно повністю проявляється в період статевої зрілості й пов'язане з розбіжностями в будові статевих органів і розвитком вторинних статевих ознак. *Пригадаймо*: ***вторинні статеві ознаки*** – сукупність особливостей, за якими, додат-

ково до власне статевих органів, відрізняють особин різних статей; їхній розвиток зумовлений впливом статевих гормонів. Ці ознаки допомагають особинам різних статей відшукати і впізнати одне одного, стимулюють шлюбну поведінку тощо.

Розвиток чоловічих і жіночих статевих залоз можливий і в одній особині. Таких тварин називають ***гермафродитами*** (мал. 27.1). У виноградного слимака, наприклад, є лише одна статева залоза, що почергово продукує то жіночі, то чоловічі статеві клітини (мал. 27.1, II).

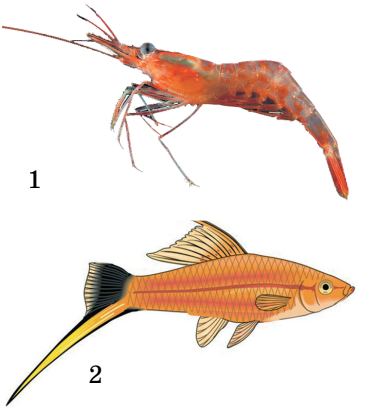


Мал. 27.1. Явище гермафродитизму.
I. Ехінокок: у кожному його членику закладаються комплекси чоловічих і жіночих статевих органів.
II. Виноградний слимак

Біологічне значення гермафродитизму. У гермафродитних організмів підвищується ймовірність залишити нащадків (*поміркуйте чому*), зменшуються витрати енергії на пошуки партнера для розмноження. Тому гермафродитизм частіше трапляється серед тварин, які ведуть прикріплений або малорухомий спосіб життя (певні види ракоподібних, двостулкових молюсків тощо) та паразитів. Наприклад, у стьожкових червів тіло може складатись з кількох тисяч члеників, у кожному з яких водночас функціонують жіночі та чоловічі статеві залози (мал. 27.1, I). Це забезпечує феноменальну плодючість: в одному членику бичачого ціп'яка міститься 125–175 тис. яєць, за місяць цей паразит виділяє приблизно 50 млн яєць, за рік – понад 400 млн, за 10 років – понад 4 млрд!

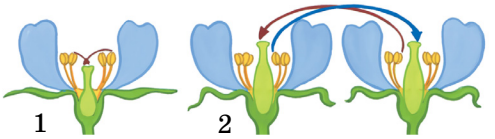
Цікаво знати

Трапляються випадки, коли організм спочатку функціонує як особина однієї статі, а через деякий час – іншої (мал. 27.2). Наприклад, за відсутності в акваріумі самців самки мечоносців набувають ознак, притаманних самцям. А у деяких креветок, наприклад, північної, особини, які розвиваються з ікринок, спочатку існують як самці, а через певний час змінюють свою стать на протилежну (мал. 27.2, 1).



Мал. 27.2. Організми, які протягом життя можуть змінювати стать:
1 – креветка північна;
2 – риба-мечоносець

Види запліднення. Розрізняють процеси самозапліднення та перехресного запліднення. **Самозапліднення** – процес злиття чоловічої та жіночої гамет, утворених однією особиною. Зрозуміло, що цей процес у тварин притаманний гермофродитам, у квіткових рослин – самозапильним видам. Під час самозапилення пилок потрапляє на приймочки маточок квіток тієї самої рослини (у різних сортів пшениці, помідорів, гороху посівного тощо) (мал. 27.3, 1).



Мал. 27.3. Схема самозапилення (1) та перехресного запилення (2) у квіткових рослин

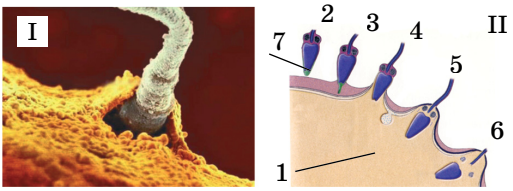
Самозапліднення не сприяє урізноманітненню спадкових ознак. Тому в більшості гермафродитів існують механізми, які запобігають цьому: неодночасне дозрівання чоловічих і жіночих статевих клітин, певні особливості будови статевої системи тварин, явище дводомності в рослин тощо.

Перехресне запліднення пов'язане з тим, що сперматозоїд (спермій) запліднює яйцеклітину іншої особини.

У разі перехресного запліднення в заплідненій яйцеклітині поєднується спадковий матеріал, притаманний обом батькам. Оскільки він зазвичай різний, то дочірня особина за спадковим матеріалом буде відрізнятися від кожного з батьків. Завдяки цьому урізноманітнюється генофонд популяції.

За **зовнішнього запліднення** статеві клітини зливаються поза статевими органами, переважно в навколишньому середовищі. Воно характерне для більшості водних видів (багатощетинкові черви, двостулкові молюски, багато видів кісткових риб та амфібій) і деяких наземних чи ґрунтових тварин (наприклад, дощових червів). Це пов'язано з тим, що поза організмом на статеві клітини несприятливо впливають різні екологічні фактори (висока чи низька температура, пересихання, ультрафіолетові промені тощо). Водне середовище певним чином згладжує ці негативні впливи. Крім того, вода сприяє пересуванню рухливих чоловічих гамет. Яйцеклітини часто виділяють у довкілля особливі речовини, які приваблюють сперматозоїди лише відповідного біологічного виду, що запобігає міжвидовим схрещуванням.

Внутрішнє запліднення відбувається в органах жіночої статевої системи. Воно притаманне більшості наземних тварин (черевоногі молюски, комахи, рептилії, птахи, ссавці), а також багатьом мешканцям ґрунту, водойм або паразитам (плоскі черви, нематоди, хрящові риби тощо). У такий спосіб гамети уникають негативного впливу умов довкілля, зростає ймовірність запліднення. Внутрішнє запліднення часто забезпечують особливі органи парування, за допомогою яких статеві клітини потрапляють в органи жіночої статевої системи.



Мал. 27.4. Проникнення сперматозоїда в яйцеклітину. I. Мікрофотографія. II. Схема: 1 – яйцеклітина; 2–6 – послідовні стадії взаємодії сперматозоїда з оболонкою яйцеклітини та проникнення в неї (зверніть увагу на те, що хвіст сперматозоїда з мітохондріями залишається за межами яйцеклітини); 7 – акросома

У процесі запліднення сперматозоїд проникає в яйцеклітину. Це може відбуватись завдяки

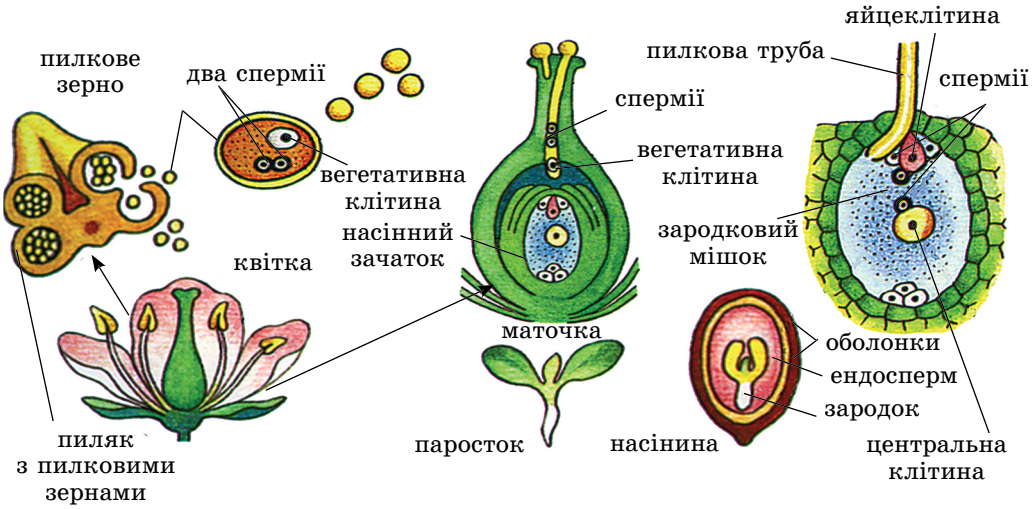
ферментам, які виділяє акросома (мал. 27.4), рідше – через особливий отвір в її оболонці.

Контакту сперматозоїда та яйцеклітини передує їхнє взаємовпізнавання: запліднення зазвичай можливе лише тоді, коли чоловіча та жіноча гамети належать одному видові організмів. Після потрапляння сперматозоїда всередину яйцеклітини її оболонка стає непроникною для інших сперматозоїдів, ядра обох гамет зливаються. Так утворюється зигота. У запліднений яйцеклітині активуються процеси обміну та починається її поділ.

Особливості процесів запліднення у рослин. *Пригадаймо:* у водоростей та вищих спорових рослин (мохів, папоротей, плаунів та хвощів) для запліднення потрібне водне середовище, у якому сперматозоїди пересуваються до яйцеклітини. У насінних рослин (голонасінних та покритонасінних) заплідненню передує процес запилення (мал. 27.3).

Найскладніше серед рослин процес запліднення відбувається в покритонасінних (квіткових), його називають подвійним. Пилкове зерно потрапляє на приймочку маточки, під впливом її біологічно активних речовин набрякає та проростає пилковою трубкою (мал. 27.5). Біологічно активні речовини залозистих клітин приймочки взаємодіють зі сполуками зовнішньої оболонки пилкового зерна, розпізнаючи їх на сумісність. Це забезпечує проростання пилку лише свого виду.

До пилкової трубки з пилкового зерна переходять три гаплоїдні клітини – велика вегетативна та дві дрібніші – спермії (мал. 27.5). Вегетативна клітина бере участь у формуванні пилкової трубки, яка через особливий отвір в оболонках насінного зачатка (пилковхід) проникає до видовженого зародкового мішка. Один зі сперміїв зливається з яйцеклітиною, унаслідок чого виникає диплоїдна зигота, з якої згодом утворюється зародок. Другий спермій проникає в диплоїдне ядро



Мал. 27.5. Подвійне запліднення у квіткових рослин. ***Завдання.*** *Схарактеризуйте процеси, які відбуваються під час подвійного запліднення*

в центрі зародкового мішка. Так виникає триплоїдна клітина, з якої в подальшому розвивається особлива зародкова тканина – ***ендосперм*** (від грец. *ендон* – усередині та *сперма* – сім'я). Поживні речовини клітин ендосперму слугують для живлення зародка.

Цікаво знати

Подвійне запліднення в покритонасінних (квіткових) рослин відкрив у 1898 році професор Київського університету Святого Володимира (нині – імені Тараса Шевченка – **С.Г. Навашин** (мал. 27.6)

Мал. 27.6. **Сергій Гаврилович Навашин** (1857–1930) – видатний український ботанік

Біологічне значення запліднення. Під час утворення статевих клітин їхній хромосомний набір зменшується вдвічі, а під час запліднення – відновлюється. Крім того, з кожної пари гомологічних хромосом одна – успадкована від одного з батьків, друга – від іншого. Отже, половину спадкового матеріалу майбутня особина отримує від одного з батьків, половину – від другого. Тому такі нащадки генетично відмінні від кожного з батьків. Винятком є лише самозаплідні організми.

Біологічне значення запліднення полягає у відновленні хромосомного набору, притаманного особинам певного виду, та є одним із джерел спадкової мінливості.

Партеногенез. Хоча запліднення є характерною ознакою статевого розмноження, дочірні організми можуть розвиватись і з незаплідненої яйцеклітини за допомогою ***партеногенезу*** (від грец. *партенос* – дівчина і *генезис* – походження).

Є організми, для яких партеногенез – єдиний спосіб розмноження (деякі види комах-горіхотворок); в інших (сріблястий карась, ящірки, рачки артемії) – існують двостатеві та партеногенетичні популяції. У життєвому циклі попелиць і дафній закономірно чергуються покоління, які розмножуються статевим шляхом і партеногенетично. Партеногенез також відомий у вищих спорових і насінних рослин.

У разі партеногенезу новий організм розвивається зі статевої клітини – яйцеклітини, хоча розвитку дочірньої особини не передує запліднення. Тому партеногенез є різновидом статевого розмноження.

Ключові терміни та поняття: **самозапліднення та перехресне запліднення, самозапилення та перехресне запилення, зовнішнє та внутрішнє запліднення у тварин, подвійне запліднення у квіткових рослин, партеногенез.**

Перевірте здобуті знання

1. Які організми називають гермафродитами? У чому полягає біологічне значення гермафродитизму? 2. Яке біологічне значення процесу запліднення? Які форми запліднення відомі у тварин? 3. Які процеси відбуваються під час проникнення сперматозоїда до яйцеклітини? 4. Яке значення процесу подвій-

ного запліднення в покритонасінних рослин? 5. У чому полягають суть і біологічне значення партеногенезу?

Поміркуйте. 1. Які механізми спрямовані на унеможливлення запліднення яйцеклітини тварин одного виду сперматозоїдами іншого? 2. Поміркуйте, що спільного і відмінного між типовим нестатевим розмноженням і партеногенезом. 3. Обґрунтуйте переваги внутрішнього запліднення над зовнішнім.

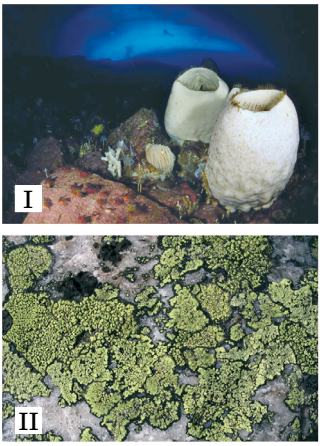
§28. ЕТАПИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ОРГАНІЗМІВ

Пригадайте, з яких фаз складається клітинний цикл. Що таке гормони і яке їхнє фізіологічне значення? Які органи та клітини утворюють імунну систему людини? Що таке розвиток комах з повним і неповним перетворенням?

У багатоклітинних організмів після запліднення розвиток нової особини розпочинається послідовними поділами зиготи з подальшою диференціацією клітин, формуванням тканин та органів.

Індивідуальний розвиток, або **онтогенез** (від грец. *онтос* – існуюче і *генезис* – походження), – розвиток особини від зародження до завершення життя (смерті або поділу особини на дочірні). У різних груп організмів онтогенез має свої особливості та тривалість. Наприклад, вік дерев мексиканського кипариса сягає 10 000 років, драцени – 6000. Є «довгожителі» й серед тварин. Так, одна особина річкової щуки прожила понад 300 років; деякі види черепах живуть до 150 років; риба білуга та нільський крокодил – до 100, двостулковий молюск тридакна – до 200 років.

В онтогенезі виділяють зародковий, або ембріональний, і післязародковий, або постембріональний, періоди. **Ембріональний** (від грец. *ембріон* – зародок) **період** – час, коли нова істота зароджується та розвивається всередині материнського організму, яйця, насінини тощо. Він завершується народженням (виходом з оболонок яйця, проростанням насінини). **Постембріональний** (від грец. *пост* – після та *ембріон*) **період** супроводжується збільшенням розмірів (ростом), якісними змінами (розвитком). Він триває від моменту народження і до смерті особини (або до моменту поділу материнського організму на дочірні).



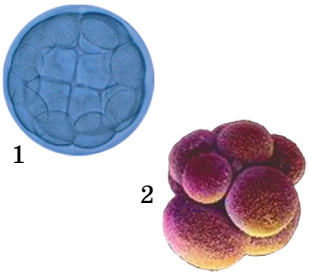
Мал. 28.1. Організми-довгожителі: I. Губка роду Аноксикалікс; II. Лишайник ризокарпон географічний

Цікаво знати

Вік одного з видів губок роду Аноксикалікс може становити 10 тис. років (мал. 28.1, I). Це найбільший вік серед усіх тварин. Ризокарпон географічний – довгожитель серед лишайників. Його вік може сягати до 4500 років (мал. 28.1, II).

Етапи ембріонального розвитку тварин. Процеси ембріонального розвитку тварин починаються з дроблення зиготи (або незаплідненої яйцеклітини в разі партеногенезу).

Дроблення – низка послідовних мітотичних поділів зиготи (мал. 28.2). Утворені вна-



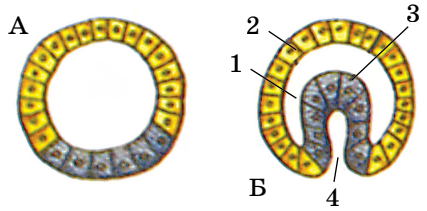
Мал. 28.2. Стадії ембріонального розвитку, які утворилися внаслідок дроблення:
1 – бластула;
2 – морула

слідок дроблення клітини – ***бластомери*** (від грец. *бластом* – зародок і *мерос* – частина) – в інтерфазі не ростуть, тому в цей час маса та об'єм зародка не змінюються, а залишаються такими, як у зиготи.

Дроблення завершується утворенням **бластули** (мал. 28.2, 1), яка має вигляд порожнистого утвору різної форми, стінки якого утворені зазвичай одним шаром бластомерів.

У деяких жалких, плоских червів, членистоногих, більшості ссавців унаслідок дроблення утворюється стадія ***морули*** (від лат. *морум* – ягода шовковиці). Вона передує стадії бластули, однак становить собою скупчення бластомерів, більш або менш щільно притиснутих один до одного (мал. 28.2, 2).

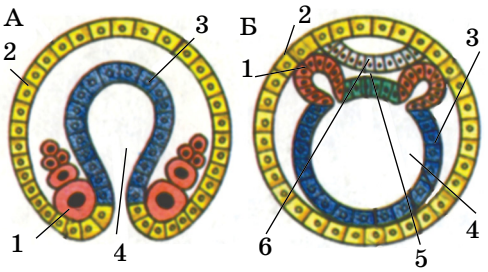
Після утворення бластули починається формування **гаструли** (від грец. *гастер* – шлунок). Спочатку виникають два шари клітин: зовнішній – ***ектодерма*** (від грец. *ектос* – ззовні та *дерма* – шкіра) та внутрішній – ***ентодерма*** (від грец. *ентос* – усередині). Ці шари називають ***зародковими листками*** (мал. 28.3). На етапі двошарової гаструли завершується ембріональний розвиток жалких (поліпів і медуз). У дорослих особин цих тварин тіло складається лише з двох шарів клітин.



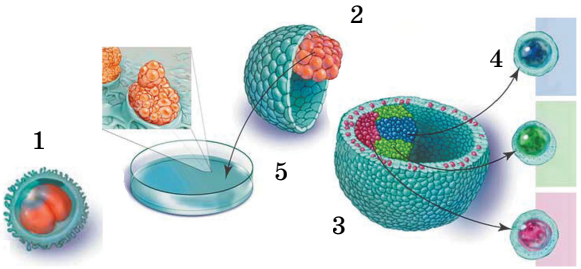
Мал. 28.3. Процес утворення гаструли:
А. Бластула. Б. Утворення гаструли вгинанням шару бластомерів:
1 – порожнина бластули (бластоцель);
2 – ектодерма; 3 – ентодерма;
4 – первинний рот, який веде у порожнину первинної кишки

У більшості тварин після завершення процесу утворення двошарової гаструли між зовнішнім (ектодермою) і внутрішнім (ентодермою) зародковими листками формується третій (середній) зародковий листок – ***мезодерма*** (від грец. *мезос* – середній) (мал. 28.4).

Під час формування гаструли відбувається **гістогенез** (від грец. *хістос*– тканина та *генезис* – походження) – сукупність процесів,



Мал. 28.4. Способи утворення мезодерми: А – клітини зародка переміщуються у простір між екто- та ентодермою та розташовуються з боків первинного роту; Б – бічні вирости стінки первинної кишки вип'ячуються у порожнину бластули: 1 – клітини, які дають початок мезодермі; 2 – ектодерма; 3 – ентодерма; 4 – порожнина первинної кишки; 5 – клітини, які дають початок хорді; 6 – нервова пластинка, з якої формуватиметься нервова трубка



Мал. 28.5. Стовбурові клітини: 1 – поділ стовбурових клітин; їхні нащадки (2) диференціюються (3) і можуть давати початок клітинам різних тканин (4); 5 – стовбурові клітини можуть культивувати на штучних поживних середовищах

які забезпечують формування різних тканин з похідних різних зародкових листків. У цих процесах важливу роль відіграють міжклітинні взаємодії, вплив біологічно активних речовин тощо.

Клітини, що беруть участь у гістогенезі, бувають стовбуровими, напівстовбуровими (клітини-попередники) та диференційованими (зрілими).

Стовбурові клітини недиференційовані і дають початок новим клітинам під час формування або оновлення (регенерації) тканин (мал. 28.5). Наприклад, у ссавців зі стовбурових клітин кровотворних органів виникають еритроцити, лейкоцити та клітини, з яких утворюються тромбоцити. Після поділу материнської стовбурової клітини одна з двох дочірніх клітин диференціюється, а друга залишається стовбуровою. Стовбурові клітини, на відміну від інших, здатні послідовно ділитися практично необмежену кількість разів. Крім того, вони стійкі до різних несприятливих чинників.

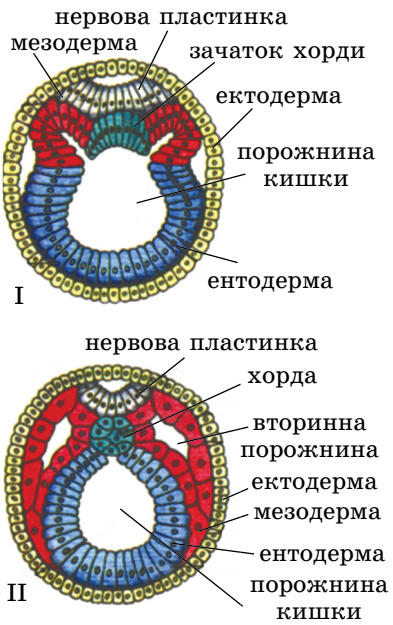
Диференціація (від лат. *диференція* – розбіжність) – виникнення під час онтогенезу різних типів клітин з початково однорідних. Завдяки диференціації клітин згодом формуються різні тканини та органи.

Напівстовбурові клітини (клітини-попередники) – диференційовані клітини, що зберігають здатність до поділу. ***Диференційовані клітини*** входять до складу певних тканин і не здатні до поділу.

Водночас із формуванням тканин (гістогенезом) відбувається й **органогенез** (від грец. *органон* – орган та *генезис*) – розвиток органів та їхніх систем.

Особливості органогенезу хордових тварин. В органогенезі хордових після формування тришарової гаструли виділяють послідовні фази утворення нервової трубки та формування інших органів (мал. 28.6).

Нервова трубка починає утворюватися після закладання мезодерми. З ектодерми формується нервова пластинка; її бічні краї загинаються та з'єднуються в нервову трубку. Особливі біологічно активні речовини визначають, який саме з кінців нервової трубки розвинеться в головний мозок. Ектодерма над нервовою трубкою зростається і дає початок епітелію шкіри. У зародків хребетних передній кінець нервової трубки ділиться на п'ять первинних мозкових пухирів, які відповідають певним частинам головного мозку. В обидва боки від майбутнього проміжного мозку видуваються очні пухирі, з яких розвиваються очі.



Мал. 28.6. Органогенез – процес формування органів у зародка. ***Завдання.*** *Проаналізуйте будову гаструли (I) та нейрули (II) та знайдіть зміни, які відбуваються на стадії нейрули*

Процес утворення нервової пластинки та нервової трубки називають нейруляцією, а зародок хордових тварин на цій стадії – нейрулою (мал. 28.6, II).

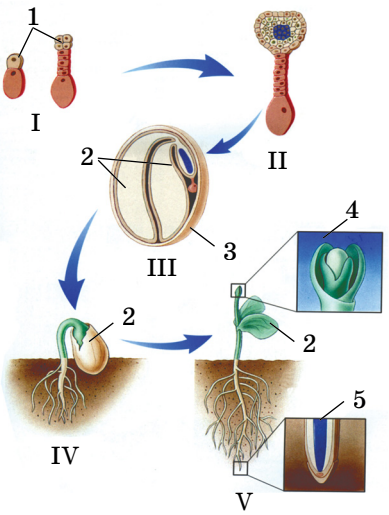
Водночас із утворенням нервової трубки під нею формуються хорда та кишківник. *Пригадаймо*: хорда – еластична скелетна вісь у хордових тварин. Лише в деяких груп тварин (осетроподібні та двоякодишні риби тощо) вона зберігається протягом усього життя. У більшості хорда існує лише в зародків, а в дорослих її заступає хрящовий або кістковий хребет.

У формуванні різних тканин, органів та їхніх систем беруть участь різні зародкові листки. З *ектодерми* виникають нервова тканина, елементи органів чуття, зовнішній шар покривів (епідерміс) та шкірні залози, передня та задня кишки у безхребетних тварин, зовнішні зябра амфібій тощо. *Ентодерма* дає початок органам травлення та травним залозам (печінці, підшлунковій залозі), плавальному міхуру, легеням, частинам деяких залоз внутрішньої секреції (гіпофіза, щитоподібної залози та ін.). З *мезодерми* беруть початок м'язові, хрящова та кісткова тканини, кровоносні та лімфатичні судини, серце, статеві залози, протоки видільних органів, сполучнотканинні шари шкіри (дерма), плевра, епітелій порожнини тіла, навколосерцева сумка (перикард).

Умови, які забезпечують нормальний розвиток зародка тварин. Розвиток багатоклітинних тварин становить собою складні та узгоджені між собою процеси: поділ клітин, їхню міграцію, взаємодію та диференціацію. Вони регулюються завдяки активності генів, впливу біологічно активних речовин та міжклітинним взаємодіям.

Будь-який негативний вплив, що порушує регуляторні механізми, може спричиняти порушення розвитку і навіть загибель зародка. Тому вагітним жінкам слід таких впливів уникати, насамперед це стосується тютюнокуріння, застосування електронних цигарок, вживання алкоголю та наркотичних речовин.

Особливості ембріонального розвитку вищих рослин. У вищих рослин зигота внаслідок поділу утворює зародкову твірну тканину, з якої згодом формуються інші зародкові тканини й органи. *Пригадаймо*: зародок у покритонасінних складається із зародкових корінця та пагона, який несе перші листки – одну або дві сім'ядолі (мал. 28.7). На верхівці зародкових пагона та кореня розташовані конуси наростання,



Мал. 28.7. Розвиток насінини покритонасінних та її проростання: I – початкові етапи ембріонального розвитку (1 – зародок); II – формування тканин; III – формування насінини (2 – сім'ядолі; 3 – шкірка насінини); IV – надземний тип проростання (сім'ядолі виносяться на поверхню ґрунту); V – за рахунок твірної тканини відбувається подальший розвиток тканин та органів (верхівкова твірна тканина: 4 – пагона; 5 – кореня)

утворені клітинами твірної тканини. Вони забезпечують ріст у довжину цих органів. У голонасінних і покритонасінних зародок – складова частина насінини, яка вкрита покривами (шкіркою) і містить запас поживних речовин.

Ключові терміни та поняття: **онтогенез, ембріональний та постембріональний періоди розвитку, дроблення, бластула, гаструла, екто-, ento- та мезодерма, гісто- та органогенез.**

Перевірте здобуті знання

1. Дайте визначення поняття онтогенез. 2. Які виділяють періоди онтогенезу? 3. Що таке дроблення? 4. Яка будова бластули? 5. Яка будова гаструли? 6. Що таке гістогенез та органогенез?

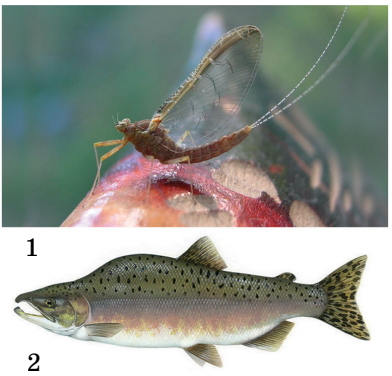
Поміркуйте. Чим можна пояснити те, що бластомери під час дроблення не ростуть?

§29. ПІСЛЯЗАРОДКОВИЙ РОЗВИТОК І РІСТ ОРГАНІЗМІВ

Пригадайте типи післязародкового розвитку тварин. Як відбувається післязародковий розвиток покритонасінних рослин? Що таке регенерація? Що таке гормони, нейрогормони та фітогормони? Що таке життєвий цикл? Що таке партеногенез?

Післязародковий (постембріональний) розвиток тварин і людини – це період життя, який починається після народження або виходу з оболонок, що вкривають зародок, і триває до смерті особини (або її поділу на дочірні). За цей час організм росте, розвивається, набуває здатності до розмноження, старіє та вмирає.

Деякі тварини (мал. 29.1) та більшість багатоклітинних однорічних рослин одразу після розмноження гинуть. У них є два періоди постембріонального розвитку: ***передрепродуктивний*** (організми ще статево недозрілі) та ***репродуктивний*** (коли набувають здатності до статевого розмно-



Мал. 29.1. Тварини, які гинуть одразу після розмноження: 1 – комаха-одноденка; 2 – горбуша

ження). В інших (більшість хребетних тварин, річковий рак, багаторічні рослини тощо) репродуктивний період триває досить довго. Після нього смерть настає не одразу, а через деякий час (від кількох днів у комах до кількох років і десятків років у великих ссавців, дерев тощо). Це ***період старіння***, коли поступово знижується рівень обміну речовин та настають необоротні зміни в організмі.

Поняття про життєвий цикл. Безперервність існування видів забезпечують життєві цикли. Розрізняють життєві цикли прості й складні. Під час ***простих життєвих циклів*** не відбувається закономірної зміни різних поколінь (наприклад, статевого та нестатевого) й організми не зазнають значної перебудови. Це життєві цикли багатьох одноклітинних організмів (як-от амеба протей, евглена зелена), гідри, більшості нематод, молюсків, хордових тощо.

Для ***складних життєвих*** циклів характерне чергування різних поколінь, кожне з яких відрізняється від інших особливостями будови, онтогенезу, наборами хромосом, способами розмноження тощо. Так, у деяких бурих і червоних водоростей та вищих спорових рослин змінюються статеве (переважно гаплоїдне) та нестатеве (переважно диплоїдне) покоління. У життєвому циклі багатьох одноклітинних (форамініфери, малярійний плазмодій) та деяких багатоклітинних тварин (наприклад, аурелії) також спостерігають закономірне чергування поколінь, які розмножуються статевим і нестатевим способами.

Життєвий цикл **– це період між однаковими фазами розвитку двох або більшої кількості послідовних поколінь.**

У плоских червів (сисунів), деяких членистоногих (дафній, попелиць тощо) у життєвому циклі чергуються покоління, які розмножуються статево і шляхом партеногенезу. Чергування статевих і партеногенетичних поколінь має важливе біологічне значення для істот, які мешкають у мінливих умовах довкілля і нездатні переживати несприятливі періоди в активному стані. Статеве розмноження забезпечує безперервність існування виду в мінливих умовах довкілля, а партеногенез дає змогу повною мірою використовувати сприятливі періоди швидкого нарощування чисельності популяції.

Ключові терміни та поняття: **прості та складні життєві цикли.**

Перевірте здобуті знання

1. Назвіть періоди постембріонального розвитку багатоклітинних тварин. 2. Які життєві цикли називають простими та складними? 3. Які варіанти чергування поколінь відомі в складних життєвих циклах тварин і рослин?

Поміркуйте. У життєвому циклі квіткових рослин чергуються статеве і нестатеве покоління. Поміркуйте, чим представлене кожне із цих поколінь.

ТЕМА 5. ЗАКОНОМІРНОСТІ УСПАДКУВАННЯ ОЗНАК

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- класичні методи генетичних досліджень;
- основні закономірності спадковості;
- роль генотипу та факторів навколишнього середовища у формуванні фенотипу організмів;
- генетику статі й успадкування, зчеплене зі статтю;
- форми мінливості організмів; види мутацій, їхні причини та наслідки;
- спадкові захворювання людини та генетичне консультування.

§30. ГЕНЕТИКА – НАУКА ПРО ЗАКОНОМІРНОСТІ СПАДКОВОСТІ Й МІНЛИВОСТІ ОРГАНІЗМІВ

Пригадайте, що таке хромосоми, ген, геном, каріотип. Що таке гомологічні хромосоми, алельні гени, локуси? Що таке антигени та антитіла? Які є групи крові людини? Чим вони визначаються? Яка будова плазматичної мембрани? Які функції можуть виконувати рецепторні молекули в складі клітинних мембран?

Генетика – наука про закономірності спадковості та мінливості. Чому діти схожі на своїх батьків? Чому різні особини одного виду більш або менш схожі між собою, а різних видів – здебільшого ні? Це відбувається тому, що всім організмам притаманна універсальна властивість – ***спадковість***, завдяки якій забезпечується генетичний зв'язок між різними їх поколіннями.

Ви самі спостерігали, що протягом життя ваш організм, як і організми інших людей, змінюється. Те саме стосується й організмів інших видів. До того ж важко знайти дві особини одного виду, які б точно нагадували одна одну. Це пов'язано з іншим універсальним біологічним явищем – ***мінливістю***.

Спадковість **– здатність організмів передавати свої ознаки та особливості індивідуального розвитку нащадкам.**
Мінливість **– здатність організмів набувати нових ознак у процесі індивідуального розвитку.**

Отже, спадковість і мінливість – протилежні властивості організмів. Завдяки спадковості підтримується стабільність біологічних видів. А завдяки мінливості виникають нові ознаки та їхні варіанти, отже, стає можливим утворення нових видів та історичний розвиток біосфери в цілому.

Мал. 30.1. Учені, які стояли біля витоків генетики: 1. **Грегор Йоганн Мендель** (1822–1884) – чеський священик та дослідник, установив основні закони спадковості; 2. **Гуго де Фріз** (1848–1935) – нідерландський ботанік і генетик; ввів термін «мутація»; 3. **Карл Корренс** (1864–1933) – німецький біолог, відомий фахівець у галузі ботаніки та мікології; 4. **Еріх Чермак** (1871–1962) – австрійський учений-генетик, працював у галузі схрещування культурних рослин; 5. **Вільям Бетсон** (1861–1926) – англійський учений, який запропонував назву «генетика»

Два загальнобіологічних явища – спадковість і мінливість – є предметом досліджень науки ***генетики*** (від грец. *генезис* – походження). Датою її народження вважають 1900 р., коли троє вчених – нідерландський Г. де Фріз, німецький К. Корренс та австрійський Е. Чермак – під час досліджень з гібридизації рослин незалежно один від одного перевідкрили закони спадковості, які ще 1865 р. встановив чеський дослідник Г. Мендель. Назву «генетика» новій науці запропонував 1906 р. англійський учений В. Бетсон (мал. 30.1).

Основні генетичні терміни. Людський організм складається з мільярдів нестатевих клітин, кожна з яких має ідентичний набір генів. Кожна нестатева клітина (крім деяких, *пригадайте* яких) містить ядро з ідентичним набором хромосом – каріотипом. У складі кожної пари гомологічних хромосом одна успадкована від матері, друга – від батька. Кожна хромосома містить молекулу ДНК, у якій закодована інформація про будову білків і молекул РНК.

Мал. 30.2. Приклади різних фенів: різні варіанти забарвлення черепашки одного з видів наземного черевоногого молюска роду Анікса

Різні алелі певного гена визначають різні варіанти певних ознак – ***фенів***. Приклади окремих фенів: жовте чи зелене забарвлення насіння гороху посівного, блакитний чи карий колір очей людини тощо (мал. 30.2).

Фени (від грец. *фаіно* – являю, виявляю) – окремі варіанти певної ознаки.

Унаслідок взаємодії генотипу з факторами навколишнього середовища формується певний **фенотип**, тобто сукупність усіх ознак і властивостей організму. На малюнку 30.3 зображено два варіанти феноти-

пу денного метелика – рябокрилки мінливої. Якщо дорослий метелик виходить з лялечки, яка розвивалася за низьких температур (весняна форма), основне тло його крил має цегляне забарвлення (1). Якщо ж лялечка розвивалася за підвищеної температури (літня форма), тло крил метелика темне (2).

Упродовж життя генотип особини залишається незмінним. А фенотип протягом індивідуального розвитку зазвичай змінюється.

Мал. 30.3. Весняна (1) та літня (2) форми метелика рябокрилки мінливої

Типи взаємодій алельних генів між собою. У певних генів існує багато алелів: десятки, в окремих випадках – навіть сотні. У диплоїдного організму (у якого кожна хромосома має собі парну – гомологічну) може бути або два однакових алеля певного гена, або два різних. При цьому одні алелі певного гена можуть пригнічувати прояв інших. Тоді проявляється лише один варіант ознаки, а інший – наче зникає.

Явище пригнічення прояву одного алеля іншим називають *домінуванням*. Алель, що завжди проявляється в присутності іншого у вигляді варіанта ознаки, яку він визначає, називають *домінантним* (від лат. *домінантіс* – панівний), а той, який не проявляється, – *рецесивним* (від лат. *рецесус* – відступ, видалення).

Наприклад, у помідорів алель, який визначає червоне забарвлення плодів, домінує над алелем жовтого (мал. 30.4); у людини алель, який визначає карий колір очей, домінує над алелем блакитного. Домінантні алелі позначають великими літерами латинського алфавіту (**A**, **B**, **C**, **D** тощо), а відповідні їм рецесивні – малими (**a**, **b**, **c**, **d** тощо).

Можливі варіанти поєднання алельних генів у генотипі організмів. Припустімо, що в організмів певного виду один з генів представлений лише двома алелями: домінантним (**A**) та рецесивним (**a**). У нестатевих (соматичних) клітинах диплоїдного організму одночасно можуть бути лише два алелі одного гена. Тому варіантів поєднання цих алелів (генотипів) може бути лише три: **AA**, **Aa** та **aa**. Як ви помітили, у першому та третьому варіантах у генотипі особин є два однакових алелі – це генотипи **AA** та **aa**. Таких особин називають *гомозиготними* (або *гомозигота-*

Мал. 30.4. Домінантні та рецесивні варіанти ознак організмів: алель, який визначає червоне забарвлення плодів помідорів, домінує над алелем, що визначає жовте

ми). Особин, у генотипі яких представлені два різних алелі – один домінантний (**А**), другий – рецесивний (**а**), – називають *гетерозиготними* (або *гетерозиготами*).

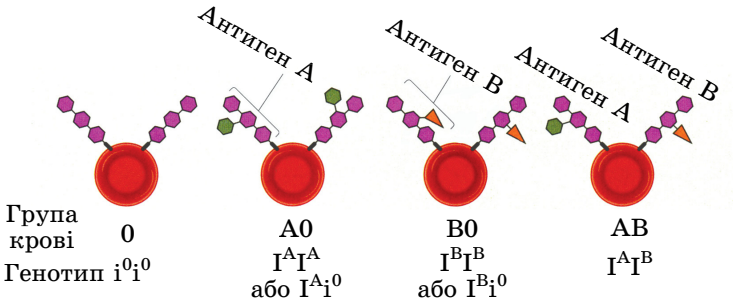
Гомозигота (від грец. *гомос* – однаковий та *зиготос* – сполучений разом) – це клітина чи особина з диплоїдним або поліплоїдним набором хромосом, гомологічні хромосоми якої несуть ідентичні алелі певного гена.
Гетерозигота (від грец. *гетерос* – інший) – це клітина або особина з диплоїдним або поліплоїдним набором хромосом, гомологічні хромосоми якої несуть різні алелі певного гена.

Трапляються випадки, коли у формуванні певного варіанта ознаки беруть участь обидва алельні гени. Прикладом може слугувати успадкування груп крові улюдини. *Пригадаймо*: у складі мембран еритроцитів містяться антигени – аглютиногени. Їх позначають латинськими літерами **А** і **В**. У плазмі крові є антитіла – аглютиніни, які позначають грецькими літерами α і β. Якщо зустрічаються сполуки А і α або В і β, між ними відбувається реакція, що нагадує реакцію *антиген – антитіло*, й еритроцити склеюються між собою.

Наявність сполук-антигенів того або іншого типу в мембрані еритроцитів зумовлюють алелі, які прийнято позначати $\mathbf{I^A}$ та $\mathbf{I^B}$, алель $\mathbf{i^0}$ є неактивною формою відповідного гена. Алелі $\mathbf{I^A}$ та $\mathbf{I^B}$ повністю домінують над алелем $\mathbf{i^0}$, тому в людей з генотипом $\mathbf{I^Ai^0}$ або $\mathbf{I^Bi^0}$ проявляються тільки домінантні алелі й відповідно формуються друга (**А**) або третя (**В**) групи крові. Але алелі $\mathbf{I^A}$ та $\mathbf{I^B}$ не домінують одна над одною. У людини, в генотипі якої одночасно зустрічаються алелі $\mathbf{I^A}$ та $\mathbf{I^B}$, формується четверта група крові (**АВ**), а в мембранах еритроцитів наявні антигени обох типів (мал. 30.5).

Участь обох алельних генів у визначенні певного варіанта ознаки гетерозиготної особини називають кодомінантністю (від лат. *ко* – разом і *домінантіс*).

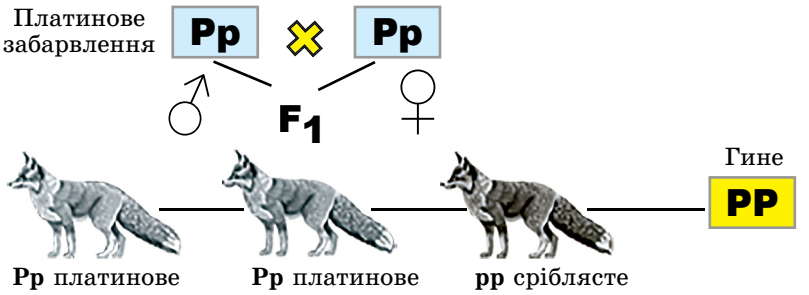
Коли жоден з алелів не домінує над іншим, спостерігають ***неповне домінування*** (його ще називають ***проміжним характером успадкування***). Наприклад, унаслідок схрещування гомозиготних рослин ротиків, одна з яких мала червоне забарвлення віночка квітки, інша – біле, гібриди першого покоління матимуть рожеві квітки (мал. 30.6).



Мал. 30.5. Різні варіанти антигенів у мембранах еритроцитів людини

Мал. 30.6. Приклад неповного домінування алелів, які визначають забарвлення віночка у ротиків:
1, 2 – батьківські форми; 3 – гібрид першого покоління

Є алелі, які, проявляючись у фенотипі, призводять до загибелі організму на певній стадії його розвитку. Їх називають ***летальними*** (від лат. *леталіс* – смертельний). Наприклад, платинове забарвлення хутра лисиць є наслідком мутації відповідного гена. Це забарвлення визначає домінантний алель (**P**). Але зародки з генотипом (**PP**) гинуть на ранніх етапах розвитку (мал. 30.7). Найчастіше летальні алелі рецесивні, тому можуть проявлятися у фенотипі зазвичай лише в гомозиготному стані.



Мал. 30.7. Успадкування платинового забарвлення хутра у лисиць

Ключові терміни та поняття: **спадковість, мінливість, алельні гени, домінантний та рецесивний варіанти ознаки, гомозигота, гетерозигота, фенотип, проміжний характер успадкування.**

Перевірте здобуті знання

1. Що таке спадковість і мінливість? 2. Поясніть сутність понять ознака та її варіанти. 3. Які гени називають алельними? Чим вони характеризуються? 4. Як алельні гени можуть взаємодіяти між собою? 5. Які організми називають гомозиготами та гетерозиготами? 6. Що спільного та відмінного у явищах кодомінантності та неповного домінування?

Поміркуйте. Виявлено загальнобіологічну закономірність, згідно з якою гетерозиготи більш життєздатні порівняно з гомозиготами. Поміркуйте чому.

§31. КЛАСИЧНІ МЕТОДИ ГЕНЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Пригадайте, як відбуваються мітотичний і мейотичний поділи клітини. Які особливості будови хромосом? Що таке генотип і фенотип? Що таке популяція? Що досліджує наука систематика? Які таксономічні одиниці використовують у систематиці тварин і рослин?

Методи генетичних досліджень. Одним з перших у генетичних дослідженнях почали застосовувати **гібридологічний метод**. Він поля-

гає у схрещуванні (гібридизації) організмів, які різняться певними варіантами однієї чи кількох спадкових ознак. Отриманих у результаті цього нащадків називають ***гібридами*** (від лат. *гібрида* – суміш). На гібридизації базується ***гібридологічний аналіз*** – дослідження характеру успадкування різних варіантів ознак за допомогою системи схрещувань. Для цього підраховують кількість особин з певним фенотипом серед нащадків, отриманих унаслідок схрещування.

Схрещування – це поєднання генетичного матеріалу різних особин в одній.

Схрещування може бути моногібридним, дигібридним і полігібридним. *Моногібридне схрещування* – це гібридизація батьківських форм, які відрізняються різними варіантами лише однієї досліджуваної спадкової ознаки (наприклад, забарвленням насіння); *дигібридне* – двох ознак (наприклад, забарвленням насіння та структурою його поверхні), *полігібридне* – трьох (наприклад, забарвленням насіння, структурою його поверхні та забарвленням віночка) і більше ознак.

Процес схрещування позначають відповідними символами. На малюнку 31.1 зображено квітки трьох рослин гороху посівного з різними варіантами генотипів. За умови повного домінування два варіанти генотипу – **АА** (гомозигота за домінантним алелем А) та **Аа** (гетерозигота) – визначають один і той самий варіант фенотипу – фіолетове забарвлення віночка. А ось біле забарвлення віночка однозначно вказує на генотип особини – це гомозигота за рецесивним алелем гена.

Для встановлення генотипу особини з домінантним фенотипом (гомозигота чи гетерозигота) її схрещують з особиною, гомозиготною за рецесивним алелем. Такий варіант схрещування називають ***аналізуючим***.

Припустімо, що популяція гороху посівного складається з особин, які мають генотипи **АА**, **Аа** та **аа**. При цьому домінантний алель визначає високе стебло, рецесивний – низьке. Таким чином, особини з високим стеблом можуть мати генотипи **АА** та **Аа**, а з низьким – лише **аа**. Щоб з'ясувати генотип особин з високим стеблом, їх слід схрестити з особинами, які мають низьке стебло. Схематично покажемо хід схрещування. Якщо особина, генотип якої хочуть перевірити, була гомозиготною за домінантним алелем, хід схрещування буде таким:

Мал. 31.1. Генотипи і фенотипи трьох рослин гороху посівного з фіолетовим (1, 2) і білим (3) забарвленням віночка

P	♀ AA		♂ aa	
гамети	A	A	a	a
F_1	Aa	Aa	Aa	Aa

Зверніть увагу на символічні позначення, які використовують дослідники. Батьківські особини позначають латинською літерою **P** (від лат. *парентес* – батьки); символами ♀ та ♂ – відповідно жіночу і чоловічу статі. Якщо організми гермафродитні (деякі тварини) або мають двостатеві квітки (різноманітні рослини), можна довільно позначити одну з таких особин як чоловічу, другу – як жіночу.

Аналізуюче схрещування базується на тому, що особини, гомозиготні за рецесивним алелем певного гена, завжди мають лише певний варіант фенотипу й утворюють гамети одного типу.

Хід схрещування зручно записувати за допомогою **решітки Пеннета.** Її так назвали на честь англійського генетика **Реджинальда Крандалла Пеннета** (1875–1967), який уперше запропонував записувати подібним чином хід схрещування. По горизонталі записують гамети однієї (у роздільностатевих організмів – батьківської) особини, а по вертикалі – іншої (материнської). У місцях перетину горизонтального та вертикального рядків указують генотипи нащадків. Перше покоління нащадків позначають $\mathbf{F_1}$ (від лат. *філії* – сини). Запишемо за допомогою решітки Пеннета хід схрещування батьківських особин, гомозиготних за домінантним і рецесивним алелями:

♀ / ♂	a	a
A	Aa	Aa
A	Aa	Aa

Отже, якщо серед нащадків, отриманих унаслідок аналізуючого схрещування, розщеплення за фенотипом не спостерігають, то батьківська особина, генотип якої перевіряли, була гомозиготною за домінантним алелем. Якби вона була гетерозиготною, то хід аналізуючого схрещування мав би такий вигляд:

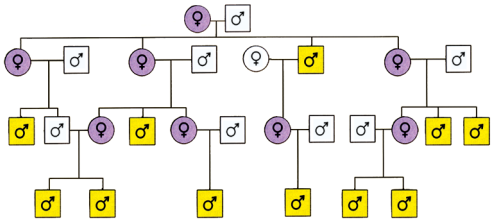
♀ / ♂	a	a
A	Aa	Aa
a	aa	aa

Якщо внаслідок аналізуючого схрещування серед нащадків спостерігають розщеплення за фенотипом у співвідношенні 1 : 1, то особина, чий генотип визначали, була гетерозиготною.

У селекції аналізуюче схрещування дає змогу визначити генотип особин, яких планують використати для отримання нащадків з певним фенотипом.

Генеалогічний метод полягає у вивченні родоводів організмів, щоб простежити характер успадкування різних варіантів певних ознак у ряді поколінь. У медичній генетиці чи селекції за його допомогою встановлюють генотип особин і вираховують імовірність прояву того чи іншого варіанта ознаки у майбутніх нащадків. Родоводи складають у вигляді схем за певними правилами: організм жіночої статі позначають колом, чоловічої – квадратом. Позначки особин одного покоління розташовують у ряд і з'єднують між собою горизонтальними лініями, а позначки предків і нащадків – вертикальними. Позначки особин, які мають досліджувану ознаку (наприклад з хворобою), зафарбовують. Що більше поколінь людей або інших організмів включає родовід, то він повніший і результати генеалогічного аналізу достовірніші. Отже, генеалогічний метод включає два основних етапи: складання власне родоводу та здійснення генеалогічного аналізу успадкування тих чи інших варіантів ознак.

Медична генетика **– наука про спадкові хвороби та порушення розвитку людини.**



Мал. 31.2. Частина родоводу королеви Вікторії: ♂ – здоровий чоловік; ♂ – чоловік, хворий на гемофілію; ♀ – здорова жінка; ♀ – жінка – носій рецесивного алеля, який визначає хворобу

На малюнку 31.2 наведено частину родоводу англійської королеви Вікторії, серед нащадків якої були і російські імператори. За ним можна простежити успадкування небезпечного спадкового захворювання – гемофілії, або нездатності крові зсідатися (*пригадайте*, які фактори сприяють процесу зсідання крові).

Застосування **популяційно-статистичного методу** дає змогу встановити генетичну структуру популяцій, тобто які з можливих алелів усіх генів організмів певного виду поширені в певній популяції, з якою частотою вони зустрічаються. Цей метод використовують і в медичній генетиці для вивчення поширення алелів, які зумовлюють спадкові захворювання чи порушення розвитку в людини.

Цікаво знати

Завдяки популяційно-статистичному методу було виявлено, що алель, який визначає **дальтонізм** (порушення сприйняття людиною кольорів), трапляється у 13 % жінок (з них хвороба проявляється лише у 0,5 %) та у 7 % чоловіків (хворіють усі). Рецесивний алель, який зумовлює **альбінізм** (вроджену відсутність пігментації шкіри та райдужної оболонки ока), трапляється із частотою 0,0001–0,00005 (1 альбінос припадає на 10 000–20 000 людей з нормальною пігментацією) (мал. 31.3).

Мал. 31.3. Людина-альбінос: зверніть увагу на особливості фенотипу

Цитогенетичний метод базується на дослідженні особливостей хромосомного набору (каріотипу) організмів. Він дає змогу виявляти порушення, пов'язані зі зміною як кількості хромосом, так і будови окремих з них. Каріотип вивчають у клітині на стадії метафази (*пригадайте*: у цей період клітинного циклу структура хромосом виражена найчіткіше).

Біохімічні методи використовують для діагностики спадкових захворювань, пов'язаних з порушенням обміну речовин. За їхньою допомогою виявляють білки, а також проміжні продукти обміну, не властиві в нормі певному організму, що свідчить про наявність змінених (мутантних) генів. Відомо понад 1000 спадкових захворювань людини, які спричиняють такі змінені гени (наприклад, цукровий діабет).

Близнюковий метод полягає у порівнянні варіантів ознак в однояйцевих близнят, які завжди однієї статі, бо мають однакові генотипи (*пригадайте,* як виникають однояйцеві близнята). Дослідження таких організмів дає змогу з'ясувати роль чинників довкілля у формуванні фенотипу. В однояйцевих близнят часто спостерігають спільні захворювання, такі як бронхіальна астма, кір (збіг – понад 90 %), шизофренія, цукровий діабет (близько 50%), туберкульоз (понад 50 %) тощо.

Метод дерматогліфіки ґрунтується на вивченні рельєфу шкіри на пучках пальців (мал. 31.4), долонях і поверхні підошви людини. Цей метод широко використовують для діагностики деяких спадкових захворювань (наприклад, на долонях людей із синдромом Дауна є лише одна поперечна та одна поздовжня згинальні борозни), у криміналістиці для доведення причетності до скоєння злочину.

Мал. 31.4. Рельєф шкіри на пучках пальців унікальний для кожної людини

Методи генетичної інженерії базуються на досягненнях молекулярної біології. За їхньою допомогою учені виділяють з організмів окремі гени або синтезують їх штучно, перебудовують певні гени і вводять їх у геном іншої клітини або організму. Крім того, учені можуть сполучати гени різних видів в одній клітині, тобто поєднувати в одній особині спадкові ознаки, притаманні цим видам. Організми, отримані в такий спосіб, називають ***трансгенними*** (від лат. *транс* – через і грец. *генос* – рід, походження), або ***генетично модифікованими*** (скорочено – **ГМО**).

Згідно з Декларацією прав людини і різними міжнародними угодами заборонено будь-яке втручання у спадкову інформацію людини різноманітними експериментальними методами досліджень, навіть якщо при цьому поставлені гуманні цілі. Це пов'язано з тим, що таке втручання може мати непередбачувані наслідки.

Ключові терміни та поняття: **гібридизація, гібриди, аналізуюче схрещування, генетично модифіковані організми.**

Перевірте здобуті знання

1. На чому базується гібридологічний метод? Що таке моно-, ди- та полігібридне схрещування? 2. Для чого застосовують аналізуюче схрещування? 3. З якою метою використовують генеалогічний метод? 4. Схарактеризуйте цитогенетичний метод. 5. Для чого в генетичних дослідженнях використовують популяційно-статистичний, близнюковий, біохімічні методи? 6. На чому базуються методи генної інженерії?

Поміркуйте. Двоє однояйцевих близнят-чоловіків узяли шлюб з однояйцевими близнятами – жінками. Чи будуть діти від кожного шлюбу так само схожі між собою, як однояйцеві близнята? Відповідь поясніть.

Навчальний проєкт: Складання власного родоводу або родоводу родини видатних людей і демонстрація успадкування певних ознак (за допомогою вчительки/вчителя).

§32. ЗАКОНОМІРНОСТІ СПАДКОВОСТІ, ЯКІ ВСТАНОВИВ Г. МЕНДЕЛЬ

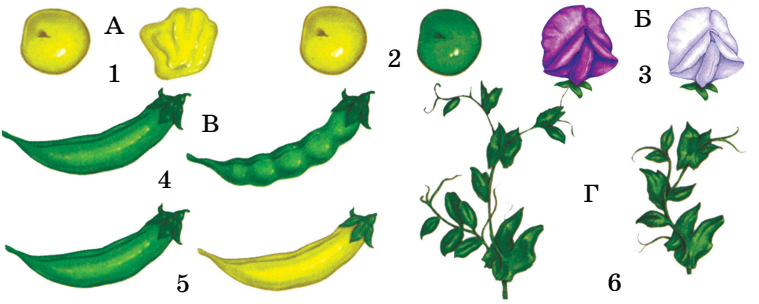
Пригадайте, які варіанти ознак називають домінантними, а які – рецесивними. Що таке генотип і фенотип? Які набори хромосом називають гаплоїдним, диплоїдним і поліплоїдним? Яке схрещування відносять до моно-, ди- та полігібридного? У чому полягає гібридологічний метод генетичних досліджень? Для чого застосовують аналізуюче схрещування? Як відбувається мейотичний поділ?

Ми вже згадували, що основні закономірності спадковості встановив видатний чеський учений Г. Мендель (див. мал 30.1,1). Як це інколи буває, геніальні ідеї вченого дещо випередили свій час. Адже коли він проводив свої дослідження, ще нічого не було відомо про гени, хромосоми, механізми розподілу спадкового матеріалу під час поділу клітини.

Дослідження Г. Менделя. Для своїх генетичних досліджень Г. Мендель вибрав дуже вдалий об'єкт – горох посівний – рослину з родини Бобові. *По-перше*, багато сортів цієї культурної рослини відрізняються варіантами певних спадкових ознак (забарвленням насіння, віночка квіток, довжиною стебла, структурою поверхні насіння тощо) (мал. 32.1). *По-друге*, життєвий цикл гороху посівного досить короткий, що дає можливість простежити передачу спадкової інформації нащадкам протягом багатьох поколінь. Крім того, горох посівний – рослина, здатна до самозапилення. Тому нащадки кожної особини, яку розмножували за допомогою самозапилення, є прикладами чистих ліній. Горох посівний можна запилювати й перехресно. Це дає змогу здійснювати гібридизацію чистих ліній (*поміркуйте*, як можна запобігти самозапиленню квіткових рослин).

Попередники Г. Менделя також намагалися простежити успадкування різних варіантів ознак досліджуваних організмів, але успіху не досягли. На відміну від них, Г. Мендель сконцентрував свою увагу не на всьому комплексі різноманітних спадкових ознак, а лише на окремих.

Ще одна особливість дослідів Г. Менделя – це чистота наукового досліду. Перед тим як схрещувати рослини, він переконувався, що має справу із чистими лініями. Крім того, результати досліджень Г. Мендель обробляв статистично, підраховуючи в кожному поколінні гібри-

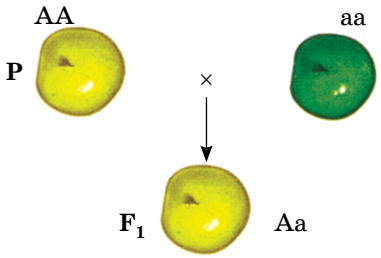


Мал. 32.1. Приклади різних варіантів ознак, властивих гороху посівному: А. Насіння: 1 – гладенька або зморшкувата поверхня; 2 – жовте або зелене забарвлення; Б. Квітки: 3 – фіолетове або біле забарвлення віночка; В. Плоди: 4 – боби опуклі або з перетяжками; 5 – боби зеленого або жовтого кольору; Г. Стебло: 6 – довге або коротке

дів кількість нащадків з тими чи іншими варіантами ознак (*пригадайте*, як називають ці методи). Це дало змогу встановити закономірності передачі різних варіантів спадкових ознак у ряді поколінь гібридів, які розмножувалися статевим шляхом.

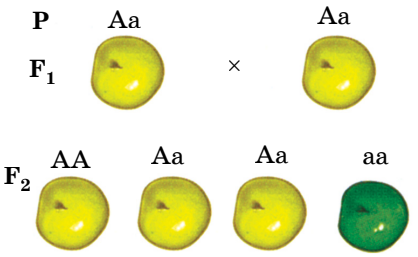
Чисті лінії – це генотипово однорідні нащадки однієї особини, гомозиготні за досліджуваними генами. Їх отримують унаслідок самозапилення рослин або близькоспорідненого схрещування тварин упродовж кількох поколінь.

Закономірності успадкування ознак, встановлені Г. Менделем. Свої дослідження Г. Мендель розпочав з ***моногібридного схрещування***: він схрестив між собою дві чисті лінії гороху посівного, які відрізнялися за кольором насіння, що мало відповідно жовтий або зелений колір (**P** – батьківські форми). Насіння, яке утворювали нащадки, отримані внаслідок такого схрещування (**F_1** – гібриди першого покоління), виявилося одноманітним – воно було лише жовтого кольору (мал. 32.2). Так Г. Мендель встановив **закон одноманітності гібридів першого покоління**: у фенотипі гібридів першого покоління проявляється лише один з двох варіантів ознаки, а саме – домінантний. Цю закономірність ще називають **законом домінування**.



Мал. 32.2. Моногібридне схрещування: прояв закону одноманітності гібридів першого покоління

Потім Г. Мендель вирощував рослини з насіння, отриманого від гібридів першого покоління, і схрещував їх між собою. Їхні нащадки (гібриди другого покоління – **F_2**) утворили 8023 насінини, з яких 6022 були жовтого кольору, а 2001 – зеленого. Таким чином, серед насіння, утвореного гібридами другого покоління, знову з'явилися насінини зеленого кольору (рецесивний варіант ознаки), які становили приблизно 1/4 від загальної кількості насіння, тоді як частка насіння жовтого кольору (домінант-

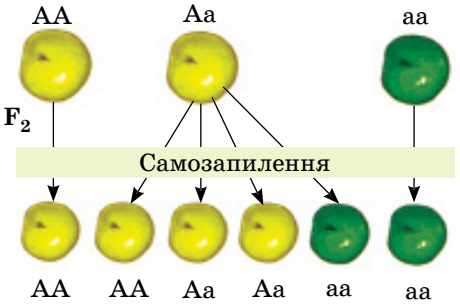


Мал. 32.3. Прояв закону розщеплення

ний варіант ознаки) складала приблизно 3/4.

Г. Мендель здійснив такі самі досліди і з вивчення успадкування інших ознак й отримав подібні результати. Цю закономірність названо **законом розщеплення**: при схрещуванні гібридів першого покоління між собою серед їхніх нащадків спостерігають ***явище розщеплення ознак***: у фенотипі 1/4 гібридів другого покоління проявляється рецесивний, а 3/4 – домінантний варіанти ознак (мал. 32.3).

Згідно із законом розщеплення у разі повного домінування серед гібридів другого покоління (F_2) спостерігають розщеплення за фенотипом у співвідношенні 3 (домінантний варіант ознаки) : 1 (рецесивний варіант ознаки).

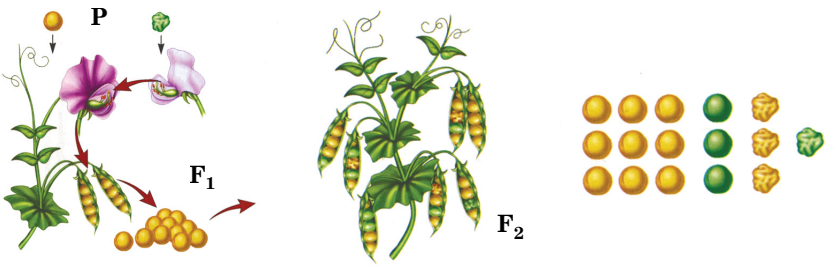


Мал. 32.4. Розщеплення за генотипом та фенотипом серед нащадків другого покоління гібридів гороху посівного в разі самозапилення

Г. Мендель простежив за успадкуванням домінантного й рецесивного варіантів ознак і в наступних поколіннях гібридів (мал. 32.4). Він звернув увагу на той факт, що з насіння зеленого кольору виростали рослини, які в разі самозапилення утворювали насіння лише зеленого кольору. А рослини, які проросли з насіння жовтого кольору, «поводили» себе по-різному: 1/3 з них при самозапиленні утворювала насіння лише жовтого кольору, а 2/3 формували насіння як жовтого, так і зеленого кольорів, у співвідношенні 3:1. Таким чином, насіння жовтого кольору, хоча й подібне за фенотипом, але може розрізнятися за генотипом. Натомість насіння, у фенотипі якого проявився рецесивний варіант ознаки (зелений колір), подібне за генотипом.

Серед насінин з домінантним варіантом ознаки траплялися як гомозиготні, так і гетерозиготні особини.

У подальших дослідженнях Г. Мендель ускладнив умови проведення досліду: він обрав рослини, які відрізнялися різними варіантами двох (*дигібридне схрещування*) або більшої кількості (*полігібридне схрещування*) досліджуваних спадкових ознак. Зокрема, він схрестив між собою чисті лінії гороху посівного, представники яких формували жовте насіння з гладенькою поверхнею та зелене – зі зморшкуватою (мал. 32.5). Отримані гібриди першого покоління (F_1) утворювали лише насіння жовтого кольору з гладенькою поверхнею (домінантні



Мал. 32.5. Прояв закону незалежного комбінування ознак. Розщеплення за фенотипом ознак гороху посівного (колір та структура поверхні насінини) в разі дигібридного схрещування у гібридів другого покоління (F_2)

варіанти обох досліджуваних ознак). Таким чином, Г. Мендель спостерігав прояв закону одноманітності гібридів першого покоління.

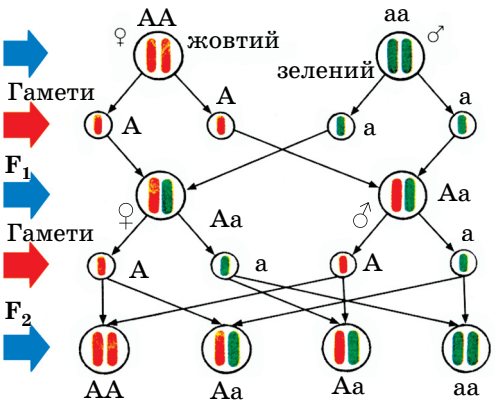
Розщеплення – це прояв обох варіантів ознаки (як домінантного, так і рецесивного) у фенотипі нащадків гібридних особин.

Схрестивши гібриди першого покоління між собою, Г. Мендель виявив серед гібридів другого покоління (F_2) чотири фенотипові групи в таких співвідношеннях: приблизно 9 частин рослин утворювали насіння жовтого кольору з гладенькою поверхнею (315 насінин), 3 частини – жовтого кольору зі зморшкуватою поверхнею (101 насінина), ще 3 частини – зеленого кольору з гладенькою поверхнею (108 насінин), а 1 частина – зеленого кольору зі зморшкуватою поверхнею (32 насінини). Таким чином, гени, які визначають забарвлення насіння та характер його поверхні, успадковуються незалежно.

Щоб пояснити отримані результати, Г. Мендель простежив успадкування різних варіантів кожної з двох ознак окремо. Співвідношення насіння різного кольору, яке утворювали гібриди другого покоління, виявилося таким: приблизно 12 частин насіння мало жовтий колір, а 4 – зелений. Тобто розщеплення за ознакою кольору, як і в разі моногібридного схрещування, становило 3 : 1. Те саме він спостерігав і при розщепленні за ознакою характеру поверхні насіння: приблизно 12 частин насіння мало гладеньку поверхню, а 4 – зморшкувату. Таким чином, розщеплення за ознакою характеру поверхні насіння також було 3 : 1.

На підставі отриманих результатів Г. Мендель сформулював **закон незалежного комбінування ознак:** при ди- або полігібридному схрещуванні розщеплення за кожною ознакою відбувається незалежно від інших. Тобто дигібридне схрещування за умови, що один з алельних генів повністю домінує над іншим, становить, по суті, два моногібридних, які ніби накладаються одне на одне, тригібридне – три і т. д.

Цитологічні основи і статистичний характер законів спадковості. Гіпотезу, яку запропонував Г. Мендель, згодом було підтверджено експериментально. Згідно з нею, гамети гібридного (гетерозиготного) диплоїдного організму «чисті», тобто кожна з його гамет має лише



Мал. 32.6. Цитологічні основи моногібридного схрещування.
Завдання. *Прослідкуйте за тим, як різні алелі певного гена розходяться до різних гамет*

один алель певного гена і не може одночасно нести два чи більшу їх кількість. Ці погляди Г. Менделя розвинув англійський генетик В. Бетсон (див. мал. 30.1, 5). Їх названо **законом (гіпотезою) чистоти гамет.**

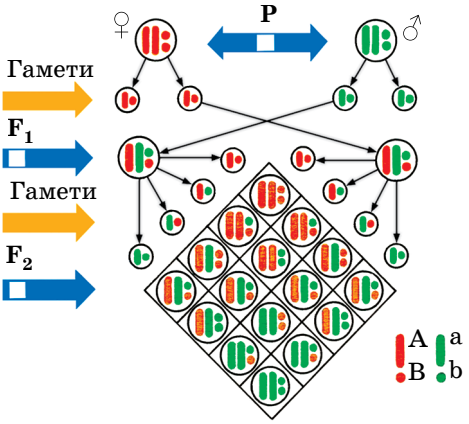
Гомозиготна особина формує лише один тип статевих клітин (вони мають лише домінантний або лише рецесивний алель певного гена), тоді як гетерозиготна – два типи в рівних кількостях (50 % з домінантним алелем певного гена і 50 % – з рецесивним). За допомогою малюнка 32.6 простежимо за «поведінкою» гомологічних хромосом під час моногібридного схрещування гомозиготних особин гороху посівного. Одна із цих особин гомозиготна за домінантним алелем, інша – за рецесивним.

Для спрощення припустімо, що такі особини мають лише одну пару гомологічних хромосом (тобто кількість хромосом у диплоїдному наборі дорівнює двом: **2n = 2**), а кожна з них містить лише один ген. Хромосома з домінантним алелем (**A**) позначена на малюнку жовтим кольором, а з рецесивним (**a**) – зеленим. Нащадки, отримані від схрещування гомозиготних за домінантним і рецесивним алелями особин (гібриди першого покоління), будуть гетерозиготними (їхній генотип – **Aa**). Це відбувається тому, що одну хромосому з домінантним алелем вони отримують від одного з батьків, а іншу, з рецесивним – від іншого. Отже, такі рослини будуть одноманітними як за генотипом, так і за фенотипом.

Унаслідок схрещування гібридів першого покоління між собою в їхніх нащадків (гібридів другого покоління) можливі три варіанти генотипів: четверта їхня частина матиме хромосоми лише з домінантними (гомозиготи за домінантним алелем – **AA**), половина – одну хромосому з домінантним, другу – з рецесивним (гетерозиготи – **Aa**) і чверть – хромосоми лише з рецесивними (гомозиготи за рецесивним алелем – **aa**) алелями. За фенотипом 3/4 насіння, яке утворюють гібриди другого покоління, матимуть жовте забарвлення (гомозиготи за домінантним алелем і гетерозиготи), а 1/4 – зелене (гомозиготи за рецесивним алелем).

Алелі певного гена під час поєднання у зиготі після запліднення не змішуються, а передаються наступному поколінню у «чистому» вигляді.

Так само можна продемонструвати й цитологічні основи та статистичний характер закону незалежного комбінування ознак (мал. 32.7).



Мал. 32.7. Цитологічні основи незалежного комбінування варіантів ознак при дигібридному схрещуванні: хромосоми, що несуть домінантний алель, – жовтого кольору, рецесивний – зеленого. ***Завдання.*** *За допомогою вчительки/вчителя прослідкуйте за тим, як алелі різних неалельних генів розходяться до різних гамет*

Ключові терміни та поняття: **чисті лінії, закони одноманітності гібридів першого покоління, розщеплення, незалежного комбінування ознак, чистоти гамет.**

Перевірте здобуті знання

1. Як створюють чисті лінії? 2. Сформулюйте закон одноманітності гібридів першого покоління. 3. Про що стверджує закон розщеплення? 4. Сформулюйте закон незалежного комбінування ознак. 5. Про що говорить закон чистоти гамет?

Поміркуйте. Один зі способів нестатевого розмноження – вегетативний. Чому за такого типу розмноження не спостерігають розщеплення ознак у потомстві?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3

Складання схем схрещування

Мета: розв'язуючи типові задачі з генетики, навчитися складати схеми схрещування.

Приклади розв'язування задач

Задача 1. У помідорів алель, який визначає кулясту форму плодів **(A)**, домінує над алелем, який визначає грушоподібну **(a)**. Від схрещування рослин, які утворюють кулясті плоди, утворилося 489 кущів, які утворювали кулясті плоди, та 183, що формували грушоподібні плоди. Визначте генотипи батьківських форм та нащадків.

Алгоритм розв'язування задачі на моногібридне схрещування

1. Оскільки при схрещуванні помідорів, які утворювали кулясті плоди, отримано нащадків, які формували як кулясті, так і грушоподібні, ми можемо зробити припущення, що ці рослини були гетерозиготними (їхній генотип – **Aa**).

2. Аналізуємо характер розщеплення серед гібридів першого покоління (F_1): 489 кущів, які утворювали кулясті плоди (домінантний фенотип), та 183 кущі, які формували грушоподібні плоди (рецесивний варіант ознаки), це приблизно 3 : 1.

Записуємо хід схрещування:

P (батьки)	**♀ Aa**	×	**♂ Aa**
Гамети	**A a**		**A a**
F_1 (гібриди першого покоління)	**AA Aa**		**Aa aa**

Першим у генотипі записують домінантний алель, потім – рецесивний.

Те саме записуємо за допомогою решітки Пеннета:

♀ / ♂	**A**	**a**
A	AA	Aa
a	Aa	aa

3. Робимо висновок: такий характер розщеплення (згідно із законом розщеплення) спостерігають при схрещуванні гетерозиготних особин (**Aa** × **Aa**).

Задача 2. У помідорів домінантний алель **(A)** визначає високе стебло, рецесивний **(a)** – низьке. Селекціонери схрестили чисту лінію помідорів з високим стеблом із низькорослими рослинами. Усі гібриди першого покоління **(F_1)** мали високе стебло, а серед гібридів другого покоління **(F_2)** 19 651 особина мала високе стебло, а 6237 – низьке. Визначте генотипи батьківських форм, гібридів першого та другого поколінь.

Задача 3. У курей породи віандот трояндоподібну форму гребеня визначає домінантний алель, а просту – рецесивний. При схрещуванні курей з простою формою гребеня всі нащадки її успадковують, а серед нащадків курей з трояндоподібною формою були особини з обома типами гребенів. Яке схрещування має здійснити фермер, який бажає отримати курей виключно з трояндоподібною формою гребеня?

§33. ЯВИЩЕ ЗЧЕПЛЕНОГО УСПАДКУВАННЯ. ХРОМОСОМНА ТЕОРІЯ СПАДКОВОСТІ

Пригадайте, що таке аналізуюче схрещування. Що таке неповне домінування (проміжний характер успадкування), кодомінантність і летальні алелі? Які хромосоми називають гомологічними й негомологічними? Як відбувається мейоз та кросинговер? Яка будова молекул ДНК?

Учені, намагаючись повторювати досліди Г. Менделя на різних організмах (не тільки на рослинах, а й на тваринах), часто спостерігали варіанти розщеплення, які не відповідали очікуваним згідно зі встановленими ним законами спадковості. Деякі з причин цього ми згадували раніше: це неповне домінування (проміжний характер успадкування), кодомінантність, вплив летальних алелів. Крім того, однією з основних причин відхилень варіантів розщеплення від передбачених законами спадковості є **явище зчепленого успадкування.**

Явище зчепленого успадкування. *Пригадаймо*: закон незалежного комбінування ознак здійснюється за таких умов:

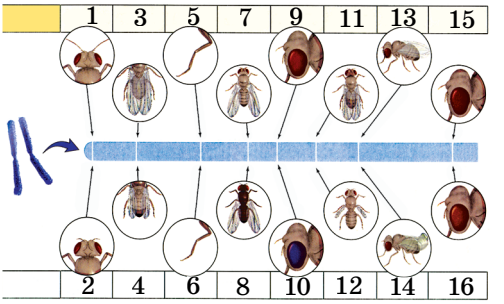
- розвиток різних варіантів ознак зумовлений алельними генами, розташованими в ідентичних локусах гомологічних хромосом;
- гамети, які мають по одній хромосомі з кожної пари гомологічних хромосом, несуть лише один алельний ген з певної їхньої кількості;

- гени, які контролюють розвиток ознак, що успадковуються незалежно, розташовані в негомологічних хромосомах.

Але кількість спадкових ознак організмів значно перевищує кількість їхніх хромосом у гаплоїдному наборі. Наприклад, у гаплоїдному наборі мухи дрозофіли усього чотири хромосоми, а кількість генів, які визначають різні спадкові ознаки, становить близько 10 тис. Відповідно, у кожній хромосомі є не один, а багато генів. Таким чином, одночасно з ознаками, які успадковуються незалежно одна від одної, існують і такі, які успадковуються зчеплено, оскільки контролюються генами, розташованими в одній хромосомі.

Гени, розташовані в одній хромосомі, утворюють *групу зчеплення*.

На малюнку 33.1 наведено частину генетичної карти хромосоми мухи дрозофіли з позначенням генів, що входять до складу цієї групи зчеплення. Кількість груп зчеплення в організмів певного виду дорівнює кількості нестатевих хромосом (аутосом) у галоїдному наборі і типів статевих хромосом. Наприклад, у самки дрозофіли кількість груп зчеплення становить 4, оскільки в її каріотипі представлений лише один тип статевих хромосом – Х-хромосоми. А у самців кількість груп зчеплення 5 (оскільки Х- та Y-хромосоми відрізняються за набором генів). Так само у жінок кількість груп зчеплення становить 23 (22 аутосоми + Х-хромосома), а у чоловіків – 24 (22 аутосоми + Х-хромосома та 22 аутосоми + Y-хромосома).



Мал. 33.1. Група зчеплення, позначена на генетичній карті хромосоми дрозофіли (цифрами позначені відповідні алельні гени): 1 – довгі вусики; 2 – короткі вусики; 3 – довгі крила; 4 – короткі крила; 5 – довгі лапки; 6 – короткі лапки; 7 – сіре тіло; 8 – чорне тіло; 9 – червоні очі; 10 – фіолетові очі; 11 – нормальні крила; 12 – редуковані крила; 13 – рівні крила; 14 – вигнуті крила; 15 – червоні очі; 16 – коричневі очі

Генетичними картами хромосом **називають схеми, на яких показано порядок розташування генів у хромосомі та відносні відстані між ними. Такі карти мають не тільки теоретичний інтерес, а й широке використання у селекції та генній інженерії.**

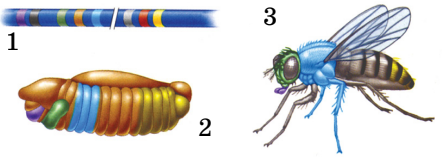
Явище зчепленого успадкування досліджував видатний американський генетик **Т. Х. Морган** (мал. 33.2). Як свого часу Г. Мендель, Т. Х. Морган вдало обрав об'єкт для експериментів – муху дрозофілу (мал. 33.3). Цих комах легко утримувати в лабораторіях, для них характерні висока плодючість і швидка зміна поколінь (за оптималь-

Мал. 33.2. **Томас Хант Морган** (1866–1945): американський генетик, лауреат Нобелівської премії з фізіології та медицини 1933 року «За відкриття, пов'язані з роллю хромосом у спадковості». Т. Х. Морган та його учні обґрунтували хромосомну теорію спадковості

них умов утримання нове покоління з'являється кожні півтора-два тижні), невелика кількість хромосом (у диплоїдному наборі – 8).

Т. Х. Морган також припустив, що завдяки кросинговеру спостерігають явище ***рекомбінації***. Хоча гени, які розташовані в одній хромосомі, успадковуються зчеплено, під час утворення статевих клітин, у процесі мейозу, гомологічні хромосоми здатні обмінюватися своїми гомологічними ділянками (*явище кросинговеру*) (див. мал. 22.5). Кросинговер підсилює мінливість, забезпечуючи утворення нових варіантів поєднань алелів. При цьому можливий обмін декількома алельними генами або ділянками одного гена, обох або однієї нитки ДНК.

Мал. 33.3. Дрозофіла – класичний об'єкт генетичних досліджень: 1 – ділянка хромосоми; 2 – лялечка; 3 – доросла комаха (кольорами схематично показано гени й ознаки, розвиток яких вони визначають)



Рекомбінацією називають нові варіанти сполучення спадкового матеріалу в геномі нащадків, відмінні від таких у батьківських форм. Одним з джерел виникнення рекомбінацій є кросинговер (*пригадаймо*, він відбувається в профазі I).

Завдяки дослідженням Т. Х. Моргана та його колег була сформульована одна з основоположних теорій біології – **хромосомна теорія спадковості:**

- гени розташовані в хромосомі по її довжині в лінійному порядку, тобто один за одним;
- кожна з негомологічних хромосом має свій унікальний набір генів;
- кожний ген розташований у хромосомі у певному місці – локусі; алельні гени займають у гомологічних хромосомах ідентичні локуси;
- усі гени однієї хромосоми утворюють групу зчеплення, завдяки чому відбувається зчеплене успадкування деяких ознак;
- сила зчеплення між двома генами, розташованими в одній хромосомі, обернено пропорційна відстані між ними; що більша відстань, то частіше відбувається кросинговер;
- у довгих хромосомах є гени, розташовані на їхніх різних полюсах; ознаки, які вони визначають, можуть успадковуватися незалежно, так само як і ознаки, що визначаються генами, розташованими в негомологічних хромосомах;

- частота кросинговеру між двома генами, розташованими в одній хромосомі, є величиною відносно постійною для кожної конкретної пари генів[1];
- зчеплення між генами однієї групи порушується внаслідок обміну ділянками гомологічних хромосом у профазі першого мейотичного поділу (процес кросинговеру).

Відносну постійність частоти кросинговеру між різними парами генів однієї групи зчеплення використовують як показник відстані між окремими генами, а також для визначення послідовності їх розташування в хромосомі. Зокрема, визначення частот кросинговеру між різними парами генів використовують для складання генетичних карт хромосом (див. мал. 33.1).

Хромосомна теорія спадковості багато в чому визначила подальший розвиток не лише генетики, а й біології в цілому. Ця теорія, зокрема, дала змогу з'ясувати матеріальну основу законів спадковості, встановлених Г. Менделем, і те, чому в певних випадках характер успадкування тих чи інших ознак від них відхиляється.

Ключові терміни та поняття: **зчеплене успадкування, група зчеплення, хромосомна теорія спадковості.**

Перевірте здобуті знання

1. За яких умов виконується закон незалежного комбінування ознак? 2. Із чим пов'язане явище зчепленого успадкування ознак? 3. Чим визначається кількість груп зчеплення в організмів певного виду? 4. Яке біологічне значення кросинговеру? Які закономірності виявили вчені під час дослідження процесу кросинговеру? 5. Яке значення хромосомної теорії спадковості? 6. Як складають генетичні карти хромосом?

Поміркуйте. 1. Поясніть, як можна довести, що гени розташовані в хромосомі в лінійному порядку. 2. Дрозофіла стала класичним об'єктом для генетичних досліджень. Які ще тварини могли б стати класичним об'єктом генетичних досліджень?

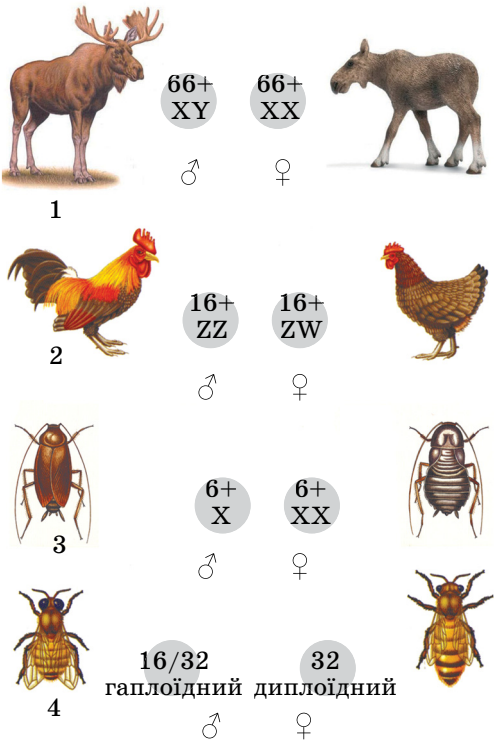
§34. ГЕНЕТИКА СТАТІ. УСПАДКУВАННЯ, ЗЧЕПЛЕНЕ ЗІ СТАТТЮ

Пригадайте, чим відрізняються хромосомні набори чоловіка й жінки. Що таке чисті лінії? Які рослини називають дводомними? Які статеві гормони утворюються в організмі людини? Які ознаки називають вторинними статевими?

Визначення статі організмів під час їхнього індивідуального розвитку – одна з найцікавіших проблем біології.

Визначення статі у різних організмів. Ще наприкінці XIX ст. учені звернули увагу на те, що хромосомні набори самців і самок різняться за будовою хромосом однієї з пар. У диплоїдних нестатевих клітинах

[1] Утім, на неї можуть впливати деякі фактори зовнішнього і внутрішнього середовища (зміни в будові окремих хромосом, які ускладнюють або унеможливлюють процес кросинговеру, висока або низька температура, рентгенівські промені, деякі хімічні сполуки тощо); у деяких організмів виявлено залежність частоти кросинговеру від віку (наприклад, у дрозофіли) або статі (миші, кури).



Мал. 34.1. Механізми визначення статі у тварин: 1 – X–Y у ссавців (в людини, зокрема); 2 – Z–W у птахів[1]; 3 – X–0 у деяких комах; 4 – гапло-диплоїдний у бджіл (в самців (трутнів) гаплоїдний набір хромосом (16), у самок (цариць і робочих особин) – диплоїдний (32))

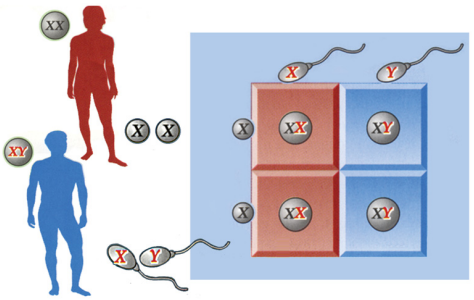
самок багатьох видів тварин хромосоми всіх пар подібні за будовою, тоді як у самців хромосоми однієї з пар відрізняються за розмірами та особливостями будови. *Пригадаймо*: такі хромосоми називають статевими, або **гетерохромосомами**. Наприклад, у самців дрозофіл одна зі статевих хромосом має паличкоподібну форму **(X-хромосома)**, друга – гачкоподібну **(Y-хромосома)**. У самок дрозофіл обидві статеві хромосоми мають однакову будову **(X-хромосоми)**, тож їхній каріотип можна умовно позначити як **6A** (символом «**A**» позначають нестатеві хромосоми – аутосоми, однакові за будовою в особин різної статі) + **XX** (дві X-хромосоми), а каріотип самців – **6A** + **XY** (одна X- та одна Y-хромосома). Різні набори хромосом притаманні й дводомним рослинам.

Оскільки під час мейозу гомологічні хромосоми розходяться до різних гамет, то в особин однієї статі формується лише один тип гамет (***гомогаметна стать***; від грец. *гомойос* – однаковий і *гамете* – жінка або *гаметес* – чоловік), тоді як у особин протилежної – два (***гетерогаметна стать***; від грец. *гетерос* – інший).

У багатьох організмів гомогаметною статтю є жіноча, а гетерогаметною – чоловіча (мухи, клопи, жуки, ссавці, більшість видів риб, деякі амфібії тощо), а в інших – навпаки (метелики, рептилії, птахи, деякі риби та амфібії) (мал. 34.1). У деяких видів особини різних статей відрізняються за кількістю статевих хромосом. Так, у коників або таргана чорного в диплоїдному наборі самки є обидві статеві хромосоми, а самця – лише одна.

У більшості роздільностатевих організмів стать майбутньої особини визначається в момент запліднення. Вона залежить від того, скільки і які зі статевих хромосом поєднуються в зиготі.

[1] В організмів, у яких гетерогаметна стать не чоловіча, а жіноча, статеві хромосоми мають інше умовне позначення: статеві хромосоми, які трапляються в обох статей, позначають літерою **Z**, а ту, яка трапляється лише в гетерогаметної статі, – **W**.



Мал. 34.2. Механізм визначення статі у людини. ***Завдання.*** *Проаналізуйте малюнок і зверніть увагу на те, що ймовірність народження в родині хлопчика або дівчинки становить 50 %; але є родини, в яких народжуються виключно хлопчики або дівчатка; за допомогою вчительки/вчителя спробуйте пояснити це явище*

У процесі розвитку статі у ссавців можна виділити два основні етапи. Хромосомний склад зиготи визначає, у якому напрямі розвиватимуться статеві залози. Наприклад, якщо в каріотипі зиготи ссавців присутні **X**- та **Y**-хромосоми, статеві зачатки розвиватимуться у сім'яники. У свою чергу, сім'яники виділятимуть чоловічий статевий гормон тестостерон, який циркулює по зародку й зумовлює розвиток за чоловічим типом. Якщо ж в каріотипі зиготи поєдналися дві **X**-хромосоми, статеві зачатки розвиватимуться у яєчники. І такий зародок розвиватиметься в жіночий організм (мал. 34.2).

Існують й інші механізми визначення статі організмів. Наприклад, у деяких безхребетних тварин (коловерток, багатощетинкового черва – динофілюса тощо) стать майбутньої особини визначається ще до моменту запліднення. Ці тварини можуть утворювати яйцеклітини двох типів: великі, багаті на жовток, і дрібні, з невеликим запасом поживних речовин. З яйцеклітин першого типу розвиваються лише самки, а другого – самці.

У деяких видів черепах, ящірок і крокодилів на формування статі впливає температура, за якої розвиваються яйця. У крокодилів та ящірок у разі підвищення температури довкілля з яєць вилуплюється більше самців, у черепах – самок.

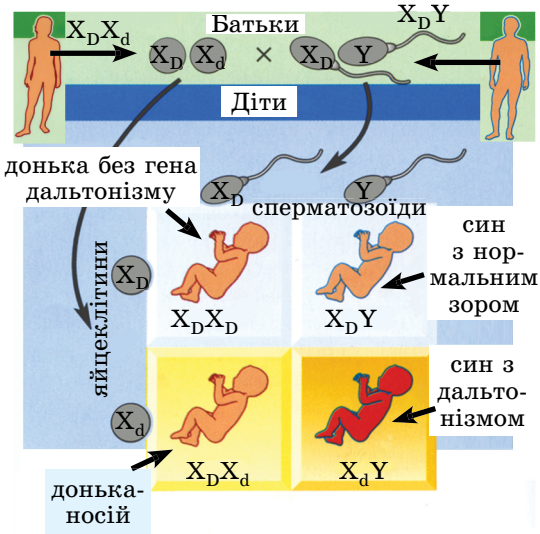
У таких суспільних комах, як медоносні бджоли, джмелі, мурашки, стать залежить від кількості наборів хромосом зиготи. Самки цих комах утворюють яйця двох типів: запліднені й незапліднені (партеногенетичні). З незапліднених яєць розвиваються самці, а із запліднених – самки. Таким чином, самки мають диплоїдний набір хромосом, самці – гаплоїдний (див. мал. 34.1, 4).

Явище успадкування ознак, зчеплених зі статтю, вивчав Т. Х. Морган. Він звернув увагу на те, що особини різної статі, які відрізняються набором статевих хромосом, можуть відрізнятись не тільки набором ознак, які називають вторинними статевими, а й частотою зустрічальності певних ознак.

Так, Т. Х. Морган схрестив чисті лінії самок дрозофіли, які мали червоний пігмент очей, із самцями, які були його позбавлені: вони мали білі очі. Усі гібриди першого покоління мали червоні очі. А серед гібридів другого покоління, отриманих унаслідок схрещування гібридів першого покоління між собою, усі самки мали червоні очі, тоді як половина самців мала червоні очі, а друга – білі.

Такі результати різних варіантів схрещування Т. Х. Морган пояснив тим, що ген, який визначає пігментацію очей, розташований у

Мал. 34.3. Визначення черепахового забарвлення у кішок: 1 – локалізація гена, який визначає забарвлення шерсті котів; 2 – кішка із черепаховим забарвленням шерсті



Мал. 34.4. Механізм успадкування дальтонізму в людини (подібний механізм успадкування й такого захворювання, як гемофілія)

Х-хромосомі, а Y-хромосома його позбавлена й тому на успадкування цієї ознаки не впливає.

Цікаво знати

У кішок зчеплено зі статтю успадковуються певні види забарвлення шерсті. Відомо, що коти ніколи не мають черепахового забарвлення (руді й чорні плями на білому тлі): вони мають або темні плями, або руді. Це пояснюють тим, що алельні гени, які визначають руде або чорне забарвлення шерсті, розташовані лише в Х-хромосомі. При цьому жоден з алелів не домінує над іншим, тому кішки, гетерозиготні за цим геном, мають черепахове забарвлення шерсті (мал. 34.3).

У людини зчеплено зі статтю успадковується майже 150 ознак, зокрема деякі захворювання (дальтонізм, гемофілія тощо). ***Дальтонізм*** (нездатність розпізнавати деякі кольори) визначається рецесивним алелем, розташованим у Х- і відсутнім у Y-хромосомі. Тому чоловік із цим рецесивним алелем у Х-хромосомі завжди хворіє на дальтонізм. У жінок відповідне порушення сприйняття кольорів виявляється лише в особин, гомозиготних за рецесивним алелем. Гетерозиготні жінки фенотипово здорові, хоча і є носіями цього алеля (мал. 34.4). Так само успадковується і ***гемофілія*** (нездатність крові зсідатися, унаслідок чого людина може загинути навіть за незначних ушкоджень кровоносних судин). Рецесивний алель, який зумовлює це захворювання, передається з покоління в покоління гетерозиготними жінками-носіями (див. мал. 31.2).

Ключові терміни та поняття: **гомо- та гетерогаметна стать, явище успадкування, зчепленого зі статтю.**

Перевірте здобуті знання

1. Які можливі механізми визначення статі в роздільностатевих організмів? 2. Яку стать називають гетерогаметною, а яку – гомогаметною? 3. Чим визначається успадкування, зчеплене зі статтю? 4. Чому в популяціях особини однієї статі можуть кількісно переважати особин іншої?

Поміркуйте. Чим можна пояснити той факт, що гетерогаметна стать менш життєздатна порівняно з гомогаметною?

§35. ГЕНОТИП ОРГАНІЗМУ ЯК ЦІЛІСНА ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА

Пригадайте, що таке ген, геном, генетичний код, рекомбінація, транскрипція, кросинговер, мутації. У чому полягає автономія мітохондрій і пластид у клітині? Що таке плазміди, нуклеоїд? Хто такі альбіноси?

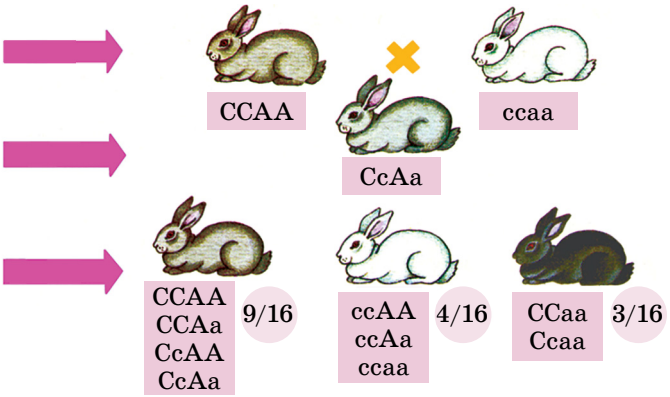
Тривалий час ген вважали неподільною одиницею спадкової інформації. Але згодом з'ясували, що мутації можуть зачіпати не цілісний ген, а лише певну його частину. Наприклад, під час кросинговеру гомологічні хромосоми можуть обмінюватися як цілісними генами, так і їхніми частинами. Мінімальна ділянка молекули нуклеїнової кислоти, яка може розділятися під час кросинговеру, становить усього 1–2 пари нуклеотидів.

Також тривалий час у генетиці існувало правило, згідно з яким кожний ген визначає структуру одного певного білка («один ген – один білок»). Проте подальші дослідження показали, що відношення «ген–ознака» значно складніші. Це пов'язано з явищами взаємодії неалельних генів і множинної дії генів.

Типи взаємодій між собою неалельних генів. Ми згадували такі варіанти взаємодії алельних генів: повне домінування, неповне домінування (проміжний характер успадкування), кодомінантність. Але на формування певних варіантів ознак може впливати також взаємодія неалельних генів. Така взаємодія може відбуватись у різних формах.

Наприклад, у тварин (мишей, кролів) для формування певного забарвлення шерсті потрібна взаємодія двох неалельних генів, один з яких визначає наявність пігменту, а другий – його розподіл по волосині. Так, у кроля синтез темного пігменту визначає домінантний алель **С**. Інший, неалельний, ген визначає характер розподілу пігменту по волосині. Якщо в генотипі кроля присутній домінантний алель цього гена (**А**), пігмент концентрується біля основи волосини й тварина має сіре забарвлення хутра. Якщо ж кріль гомозиготний за рецесивним алелем цього гена (генотипи – **ССаа**, **Ссаа**), то пігмент рівномірно розподіляється по волосині й забарвлення стає чорним. Якщо ген, який відповідає за синтез темного пігменту, гомозиготний за рецесивним алелем, то пігмент взагалі не синтезується і народжуються білі особини (альбіноси; генотипи **ссАА**, **ссАа**, **ссаа**) (мал. 35.1).

Один з типів взаємодії неалельних генів проявляється в тому, що для прояву у фенотипі певного варіанта ознаки потрібна взаємодія домінантних алелів двох або більшого числа неалельних генів (у випадку з кролями – для формування сірого забарвлення). Так, фіолетове



Мал. 35.1. Формування забарвлення хутра в кролів унаслідок взаємодії неалельних генів

забарвлення плодів баклажана залежить від взаємодії домінантних алелів двох неалельних генів, завдяки чому утворюється пігмент антоціан. Якщо хоча б один із цих генів гомозиготний за рецесивним алелем, пігмент не утворюється і плоди формуються безбарвними.

Явище, за якого для формування певного варіанту ознаки потрібна присутність у генотипі домінантних алелів двох неалельних генів, має назву *комплементарність*. Відповідно неалельні гени, домінантні алелі яких потрібні для формування певного варіанта ознаки, називають *комплементарними* (від лат. *комплементум* – доповнення).

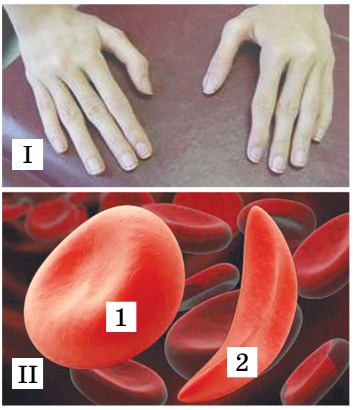
Цікаво знати

У людини розвиток нормального слуху також визначається домінантними алелями двох неалельних генів, один з яких відповідає за нормальний розвиток завитки внутрішнього вуха, а другий – слухового нерву. Якщо хоча б один із цих генів гомозиготний за рецесивним алелем, людина не чує від народження.

Явище, за якого алелі одного гена пригнічують прояв у фенотипі алелів іншого, неалельного, гена, називають *епістазом* (від грец. *епістазіс* – зупинка, перешкода).

Множинна дія генів. Раніше ми розглядали варіанти, коли алелі одного гена впливали на формування різних варіантів однієї ознаки (наприклад, забарвлення насіння, структури його поверхні, забарвлення віночка). Але більшості генів притаманна властивість, коли певний їхній алель впливає на формування варіантів кількох різних ознак. Це явище називають ***множинною дією***, або ***плейотропією*** (від грец. *плейон* – численний і *тропос* – поворот).

Наприклад, у людини відоме захворювання – **арахнодактилія** (у перекладі з грецької – «павучі пальці») (мал. 35.3, I). При цьому домінантний мутантний алель впливає на формування видовжених пальців на руках і ногах, зумовлює неправильне положення кришталика ока і вроджені вади серця. Прикладами множинної дії генів у людини є також серпоподібноклітинна анемія (недокрів'я) (мал. 35.3, II).



Мал. 35.3. Приклади множинної дії генів: I – прояв арахнодактилії; II – прояв серпоподібноклітинної анемії: еритроцити здорової людини (1) і хворої на серпоподібноклітинну анемію (2)

Цікаво знати

У разі серпоподібноклітинної анемії рецесивний алель, який виник наслідок мутації, зумовлює заміну одного амінокислотного залишку на інший під час синтезу поліпептидного ланцюга молекули гемоглобіну. Унаслідок цього у людини формуються еритроцити неправильної серпоподібної форми (мал. 35.3, II) і спостерігають порушення у серцево-судинній, травній, видільній і нервовій системах. Серпоподібноклітинна анемія поширена переважно в тих регіонах, де населення хворіє на малярію (наприклад, в Африці). При цьому хворі на серпоподібноклітинну анемію мають підвищену стійкість до зараження збудником малярії – малярійним плазмодієм.

Причиною множинної дії генів є те, що кожний ген контролює певний етап обміну речовин. Оскільки різноманітні процеси обміну речовин часто взаємопов'язані, то порушення, які виникли на одному з його етапів, неодмінно впливатимуть на наступні й, зрештою, на формування різних ознак організму.

Формування фенотипу може залежати й від цитоплазматичної спадковості.

Цитоплазматична спадковість. У клітинах еукаріотів спадковий матеріал зберігається не лише в ядрі клітини. Тому цим організмам притаманна ще й цитоплазматична спадковість. Зокрема, цитоплазматична спадковість еукаріотів пов'язана з успадкуванням ознак, які кодуються позаядерними генами, розташованими в певних органелах (мітохондріях, пластидах).

Пригадаймо: пластиди і мітохондрії мають власний спадковий матеріал – кільцеві молекули ДНК, а також апарат, який забезпечує синтез власних білків. Позаядерні гени взаємодіють з ядерними і перебувають під контролем ядерної ДНК. У клітин прокаріотів існують позахромосомні фактори спадковості – плазміди. Це кільцеві молекули ДНК, розташовані за межами ядерної зони – нуклеоїду (див. мал. 21.5, 2).

Цитоплазматична спадковість, пов'язана з генами пластид, відома для різних видів рослин. Серед них є форми з мозаїчними (строкатими) листками. Ця ознака

Мал. 35.4. Механізм прояву цитоплазматичної спадковості в рослин

передається по материнській лінії і зумовлена тим, що частина пластид не здатна утворювати пігмент хлорофіл. Після поділу клітин з безбарвними пластидами в листках утворюються білі плями, які чергуються із зеленими ділянками (мал. 35.4). Пластиди розмножуються поділом, тому їм притаманна генетична неперервність: зелені пластиди дають початок зеленим, а безбарвні, нездатні синтезувати хлорофіл, – безбарвним.

Цитоплазматична, або позаядерна, спадковість полягає в здатності певних структур цитоплазми зберігати й передавати нащадкам частину спадкової інформації батьків.

Отже, генотип особин кожного виду є цілісною системою: хоча він і складається з окремих генів, які можуть відокремлюватись один від одного й успадковуватись незалежно. Цілісність генотипу, яка склалася в процесі тривалого історичного розвитку виду, проявляється в тому, що формування варіантів більшості ознак організму є наслідком взаємодії як алельних, так і неалельних генів, а алелі більшості генів впливають на розвиток певних варіантів декількох ознак. Крім того, формування фенотипу організмів залежить і від явища цитоплазматичної спадковості.

Ключові терміни та поняття: **взаємодія неалельних генів, множинна дія генів, цитоплазматична спадковість.**

Перевірте здобуті знання

1. Які типи взаємодії неалельних генів ви знаєте? Наведіть приклади. 2. Що собою становить множинна дія генів? 3. Чим зумовлена цитоплазматична спадковість? 4. У чому полягає цілісність генотипу?

Поміркуйте. Які еволюційні основи цитоплазматичної спадковості?

§36. ФОРМИ МІНЛИВОСТІ. МОДИФІКАЦІЙНА МІНЛИВІСТЬ – НАСЛІДОК ВЗАЄМОДІЇ ГЕНОТИПУ ТА УМОВ ДОВКІЛЛЯ

Пригадайте, яких близнят відносять до однояйцевих? Що називають породою тварин і сортом рослин?

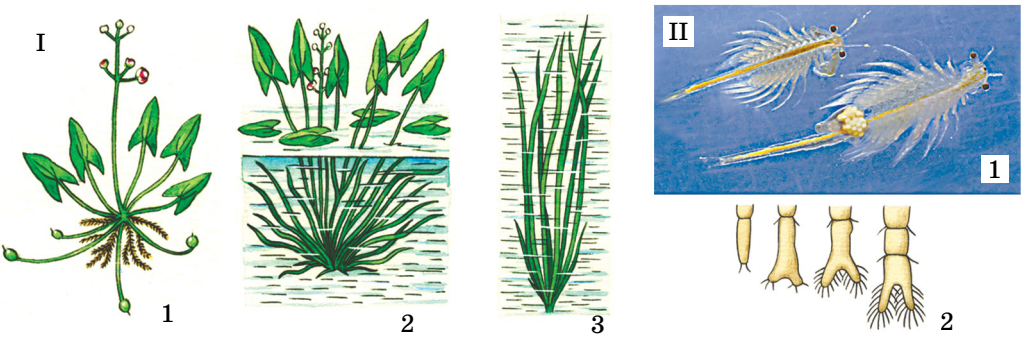
Ви вже знаєте, що завдяки **мінливості** організми як у процесі індивідуального (розвитку однієї особини), так й історичного (у процесі еволюції виду) розвитку здатні набувати нових ознак. Мінливість буває неспадковою, або модифікаційною, та спадковою.

Модифікаційні зміни (модифікації) – це реакції організмів на зміну інтенсивності дії певних чинників довкілля.

Неспадкова, або модифікаційна (від лат. *модус* – міра, вигляд і *фаціо* – роблю), мінливість – це зміни фенотипу, набуті під час індивідуального розвитку організму, спричинені впливом умов довкілля і не пов'язані зі змінами генотипу.

Модифікаціям притаманні наступні властивості.

● **Модифікації однакові для всіх генотипово однорідних істот.** Спадкова програма будь-якого організму реалізується не тільки під контролем генів, а й під впливом навколишнього середовища. Наприклад, у всіх занурених у воду особин рослини стрілолиста (цю рослину ще називають стрілицею) (мал. 36.1, I) утворюються довгі й тонкі листки, а в тих, що ростуть на суходолі, – стрілоподібні. У рослин, частково занурених у воду, формуються листки обох типів.



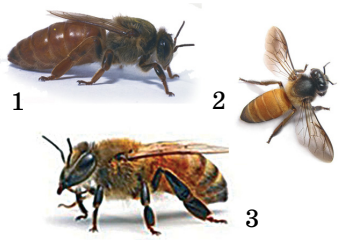
Мал. 36.1. Модифікаційна мінливість. I. Стрілолист (1) та модифікації його листків: 2 – листки стрілоподібної форми, що виросли над водою; 3 – стрічкоподібні листки, що розвинулися під водою. II. 1. Рачки артемії (зовнішній вигляд). 2. Опушення черевця артемії за різних умов солоності (зліва направо: від більшої солоності до меншої; поміркуйте, чому в особин артемії з прісних водойм черевце має густіше опушення)

● **Ступінь прояву модифікацій прямо залежить від інтенсивності й тривалості дії певного екологічного чинника на організм.** Так, у дрібного рачка артемії ступінь опушеності задньої частини черевця залежить від солоності води: вона то більша, що нижча концентрація солей у воді (мал. 36.1, II). З власного досвіду ви знаєте: що більше часу проводити на сонці, то інтенсивніша засмага. Що вище людина піднімається в гори і що триваліше вона перебуває в умовах високогір'я, то більша концентрація еритроцитів у її крові.

● **Модифікації можуть зникати протягом життя особини, якщо припиняється дія фактору, який їх спричиняє.** Наприклад, засмага, набута влітку, поступово зникає протягом осінньо-зимового періоду. Після нетривалого перебування в умовах високогір'я кількість еритроцитів у крові знижується до норми, коли людина повертається в долину (*пригадайте*, скільки еритроцитів у нормі міститься в 1 мл крові).

● **Деякі модифікації, які виникли на ранніх етапах індивідуального розвитку, можуть зберігатися протягом усього життя особини.** Наприклад, викривлення кісток нижніх кінцівок у людини, яка в дитинстві перехворіла на рахіт (*пригадайте*, що спричиняє таке захворювання), зберігається протягом усього її життя. Але діти батьків, хворих на рахіт, не матимуть такого порушення фізичного розвитку, якщо вчасно отримуватимуть потрібну кількість вітаміну **D**.

Інший приклад модифікацій, які зберігаються протягом усього життя, – це диференціація личинок медоносної бджоли із диплоїдним набором хромосом на цариць і робочих особин (мал. 36.2). Ті з личи-



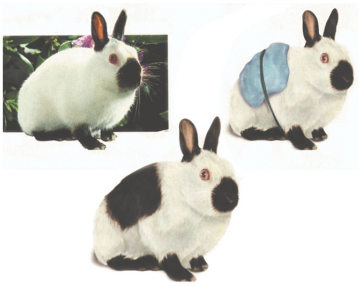
Мал. 36.2. Різні категорії особин (касти) у медоносної бджоли: 1 – цариця; 2 – трутень (самець); 3 – робоча особина

нок, що розвиваються у великих комірках стільників і живляться лише «молочком», яке виробляють особливі залози робочих особин, розвиваються в цариць. А ті, яких вигодовують пергою (сумішшю меду і пилку) у комірках звичайних розмірів, згодом стають робочими особинами – нездатними до розмноження самками. Отже, диференціація личинок жіночої статі залежить від якості їхнього живлення. Якщо на ранніх етапах розвитку поміняти місцями личинок, з яких мали б розвинутися цариця та робоча особина, то відповідно зміняться характер їхнього живлення та подальший тип розвитку.

• **Модифікаційна мінливість зазвичай забезпечує пристосування до змінних умов середовища життя.** Наприклад, зміна форми листків стрілолиста зі стрілоподібної на підводну стрічкоподібну захищає ці рослини від ушкодження течією. Заміна шерсті ссавців під час осіннього линяння на густішу забезпечує захист організму від дії низьких температур, а засмага людини – від шкідливої дії сонячного випромінювання. Усе це дає підстави вважати, що такі пристосувальні модифікації виникли в процесі історичного розвитку виду як певні реакції на зміни умов довкілля, з якими постійно стикаються організми. *Пригадаймо*: пристосування організмів до умов середовища життя називають ***адаптаціями*** (від лат. *адато* – пристосовую).

Статистичні закономірності модифікаційної мінливості. Модифікаційна мінливість підпорядковується певним статистичним закономірностям (*пригадайте*, у чому полягають статистичні методи досліджень).

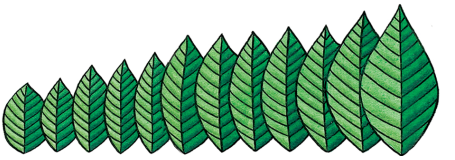
Межі модифікаційної мінливості ознаки визначаються генотипом і мають назву **норми реакції.** Серед ознак є такі, різні варіанти яких майже повністю визначає генотип (наприклад, розташування очей, кількість пальців кінцівок, група крові, характер жилкування листків тощо). На ступінь прояву варіантів багатьох кількісних ознак (наприклад, зріст і маса організмів, площа листкової пластинки тощо) впливають переважно умови довкілля. Наприклад, температура впливає на забарвлення шерсті кролів (мал. 36.3). У сіамських кішок так само кожна ділянка шкіри має власний температурний поріг, який визначає те чи інше забарвлення шерсті.



Мал. 36.3. Горностаєве забарвлення хутра кролів: на спинному боці тіла виголили ділянки, до яких прикладали лід; під впливом низьких температур на них відростала не біла, а темна шерсть

Норма реакції має певні межі для кожної ознаки. Найвужча норма реакції властива ознакам, які визначають життєздатність організмів (наприклад, взаєморозта-

шування внутрішніх органів), а для таких, що мають менш важливе значення, – може бути ширшою (маса тіла, зріст).



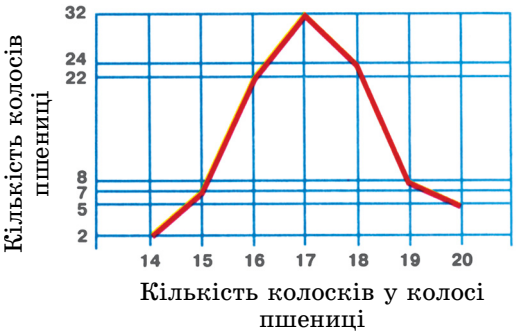
Мал. 36.4. Варіаційний ряд листків лавровишні

Для вивчення мінливості певної ознаки складають ***варіаційний*** (від лат. *варіаціо* – зміна) ***ряд*** – послідовність кількісних показників певної ознаки (*варіант*), розміщених у порядку зростання чи зменшення (мал. 36.4). Довжина ряду свідчить про розмах модифікаційної мінливості. Він залежить від умов навколишнього середовища: що вони стабільніші, то коротший варіаційний ряд, і навпаки.

Розподіл варіант можна зобразити графічно у вигляді ***варіаційної кривої*** (мал. 36.5). Варіаційна крива показує межі модифікаційної мінливості та частоту зустрічальності окремих варіант. За її допомогою можна встановити середні показники й норму реакції певної ознаки.

Оскільки організм – відкрита система, його спадкова програма реалізується завдяки взаємодії генотипу та умов навколишнього середовища. Умови середовища життя зумовлюють ступінь прояву спадкової ознаки. Тому в особин з однаковими генотипами у різних умовах можуть формуватися відмінні фенотипи.

Уважно розгляньте малюнок 36.5 і зверніть увагу: найбільша кількість варіант припадає на середню частину ряду, тобто середнє значення певної ознаки. Такий розподіл пояснюють тим, що мінімальні й максимальні значення певної ознаки проявляються, коли більшість екологічних факторів діє в одному напрямі: найбільш чи найменш сприятливому. Але зазвичай одні чинники сприяють розвитку ознаки, інші, навпаки, гальмують. Саме тому ступінь розвитку певної ознаки в більшості особин популяції та виду усереднений. Так, більшість людей має середній зріст, і лише небагато з них дуже високі або занадто низькі.



Мал. 36.5. Варіаційна крива кількості колосків у колосі пшениці

Закріпіть свої знання про модифікаційну мінливість, виконавши лабораторне дослідження.

Лабораторне дослідження мінливості в рослин і тварин

Завдання 1. ***Вивчення мінливості рослин***

Обладнання і матеріали: гербарні зразки (пшениця, ячмінь, кукурудза тощо), насіння різних видів (квасолі, кукурудзи, соняшнику та ін.), бульб картоплі, листки (дуба, клена, липи тощо), лінійка або міліметровий папір, ручні лупи.

1. Порівняйте кілька (3–5) особин одного виду або їхніх частин (листки злаків, насіння квасолі, бульби картоплі тощо) за фенотипом (зовнішній вид, розміри та ін.). Запишіть результати досліджень у зошит.

2. Виявіть відмінності в будові різних представників одного виду. Поясніть причини, які зумовили ці розбіжності.

Ключові терміни та поняття: **модифікаційна мінливість, модифікації, норма реакції, варіаційний ряд, варіаційна крива.**

Перевірте здобуті знання

1. Які властивості притаманні модифікаційній мінливості? 2. Чому більшість модифікацій має пристосувальне значення? 3. Що визначає норму реакції організмів? 4. Що таке варіаційний ряд і варіаційна крива? 5. Яке біологічне значення модифікаційної мінливості?

Поміркуйте. Чому саме модифікації, які виникли на ранніх етапах розвитку особини, зберігаються протягом усього її життя?

§37. ВИДИ МУТАЦІЙ ТА ПРИЧИНИ ЇХ ВИНИКНЕННЯ

Пригадайте, які набори хромосом називають гаплоїдними, диплоїдними і поліплоїдними. Що таке аутосоми, гетерохромосоми, гомо- та гетерозиготи? Що таке вегетативне розмноження?

Крім неспадкової (модифікаційної) мінливості, яка не успадковується, існує і **спадкова мінливість**, пов'язана зі змінами в геномі. Вона може бути комбінативною та мутаційною.

Комбінативна мінливість зумовлена виникненням різних комбінацій алельних генів (*рекомбінацій*):

- унаслідок кросинговеру під час кон'югації гомологічних хромосом (див. мал. 25.2);
- унаслідок випадкового поєднання алельних генів при злитті гамет під час запліднення.

Комбінативна мінливість зумовлює появу особин одного виду з різними варіантами фенотипу.

Мутаційна мінливість. Ми вже згадували, що підвалини ***вчення про мутації*** заклав голландський учений Г. де Фріз. Подальші дослідження показали, що здатність до мутацій – універсальна властивість усіх живих істот.

Мутації **(від лат.** ***мутаціо*** **– зміна) – стійкі зміни генетичного матеріалу, які виникають раптово й можуть призводити до зміни тих чи інших спадкових ознак організму.**

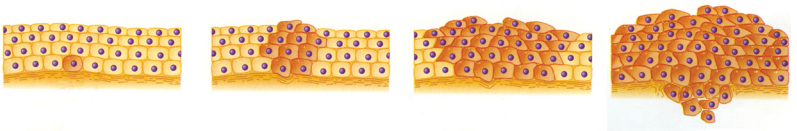
Мутації можуть виникати у будь-яких клітинах організму і спричиняти різноманітні зміни генетичного матеріалу. Відповідно змінюється і фенотип особин.

Мутації поділяють на генеративні та соматичні. ***Генеративні мутації*** виникають у статевих клітинах і можуть успадковуватися під час статевого розмноження. ***Соматичні мутації*** відбуваються в нестатевих (соматичних) клітинах і за статевого розмноження нащадкам не

передаються. Вони можуть успадковуватися лише за нестатевого розмноження, зокрема вегетативного.

Цікаво знати

Соматичні мутації можуть призводити до важких захворювань. Наприклад, мутації клітин червоного кісткового мозку людини спричиняють ***лейкоз*** – злоякісне розмноження нетипових лейкоцитів, а клітин інших тканин – утворення пухлин (мал. 37.1).



Мал. 37.1. Утворення пухлини внаслідок мутації соматичної клітини (зверніть увагу на причину – неконтрольований поділ клітин)

Залежно від характеру впливу на життєдіяльність організмів розрізняють летальні, сублетальні й нейтральні мутації. ***Летальні мутації***, проявляючись у фенотипі, призводять до загибелі особини ще під час зародкового розвитку або набуття здатності до розмноження. ***Сублетальні мутації*** знижують життєздатність, спричиняючи загибель певної частини особин (від 10 до 50 %). ***Нейтральні мутації*** (від лат. *нейтраліс* – той, що не належить ані тому, ані іншому) у звичних для організмів умовах існування не впливають на їхню життєздатність. У певних випадках, особливо за змін умов існування, нейтральні мутації можуть виявитися корисними або шкідливими.

Залежно від характеру змін генетичного матеріалу розрізняють мутації, пов'язані з:

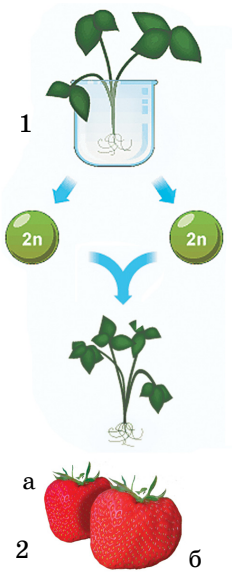
- кратним збільшенням або зменшенням кількості хромосомних наборів;
- зміною кількості окремих гомологічних хромосом;
- зміною будови окремих хромосом;
- порушенням нормальної послідовності розташування нуклеотидів у молекулах нуклеїнових кислот (*точкові мутації*).

Збільшення кількості хромосомних наборів зумовлює ***поліплоїдію*** (від грец. *поліплоос* – багаторазовий та *ейдос* – вид). Поліплоїдію найчастіше спостерігають у рослин, рідше – у тварин (переважно тих, які розмножуються вегетативно чи партеногенетично). Поліплоїдія може виникати внаслідок: подвоєння числа хромосом, яке не супроводжується наступним поділом клітини; утворення гамет з не зменшеним унаслідок порушення процесу мейозу числом хромосом. Її може також спричинити злиття нестатевих клітин або їхніх ядер.

Цікаво знати

Поліплоїдія часто сприяє збільшенню розмірів організмів, прискоренню процесів життєдіяльності й підвищенню продуктивності (мал. 37.2). Цей метод використовують у селекції рослин під час виведення високопродуктивних сортів (м'якої пшениці, цукрового буряку, суниць садових тощо).

Мутації, які супроводжуються **зменшенням числа наборів хромосом**, мають протилежні наслідки. Гаплоїдні форми, порівняно з дипло-



Мал. 37.2. 1. Схема утворення поліплоїдних полуниць: завдяки застосуванню алкалоїду колхіцину отримують гамети з диплоїдним набором хромосом. При їхньому злитті виникає тетраплоїдна зигота (4 *n*), з якої розвивається рослина. 2. Диплоїдні (2 *n*) (а) та поліплоїдні (4 *n*) (б) плоди полуниці

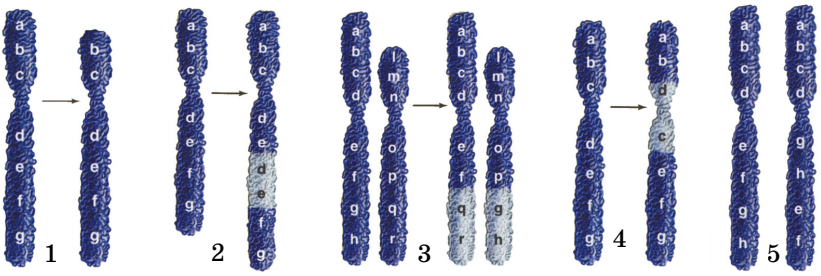
їдними, менші за розмірами; їхні продуктивність і плодючість знижені.

Мутації, пов'язані зі **зміною числа окремих гомологічних хромосом**, значно впливають на фенотип мутантних особин. Наприклад, зародок людини з хромосомним набором 44 аутосоми (**A**) + **X**-хромосома розвивається в жіночий організм зі значними порушеннями фізичного розвитку (крилоподібна згортка шкіри на шиї, зміни у будові кісток, кровоносної і сечостатевої систем, не розвиваються статеві залози). Зародки з хромосомним набором **44A + XXX** розвиваються в жінок, які можуть лише незначно відрізнятися від жінок з нормотиповим розвитком.

Особливий вид мутацій, пов'язаних зі зміною числа окремих хромосом, – їхнє ***злиття*** або ***розділення***. Злиття хромосом полягає у з'єднанні двох негомологічних хромосом в одну. Зрідка спостерігають розщеплення однієї хромосоми на дві.

Відомі різні типи **зміни будови окремих хромосом**. Для таких мутацій характерні значні за масштабами зміни нуклеотидних послідовностей ДНК.

У разі ***втрати ділянки*** хромосома стає коротшою і втрачає певні гени (мал. 37.3, 1). Унаслідок цього у фенотипі гетерозиготних організмів можуть проявлятися рецесивні алелі, розташовані в ділянці іншої незміненої гомологічної хромосоми. Так, у людини в разі втрати короткого плеча п'ятої хромосоми (*пригадаймо*: в каріотипі організмів пев-



Мал. 37.3. Хромосомні мутації. 1. Втрата певної ділянки хромосоми. 2. Вбудовування додаткового фрагмента в гомологічну хромосому. 3. Мутації, за яких дві негомологічні хромосоми обмінюються своїми ділянками. 4. Тип мутацій, коли ділянка хромосоми, яка утворилася внаслідок двох розривів, повертається на 180° і за допомогою ферментів знову вбудовується в хромосому. 5. Переміщення ділянки всередині хромосоми або в іншу хромосому. Завдання. Простежте за змінами, які відбуваються з хромосомами

ного виду кожна негомологічна хромосома має свій номер) спостерігають ***синдром «котячого крику»***. Плач малюків із цим порушенням нагадує нявкання котів, для них характерні маленькі розміри голови, уповільнений ріст і інтелектуальні порушення. Утрата ділянки 21-ї хромосоми людини викликає важку форму білокрів'я (лейкозу).

У хромосому може ***вбудуватися додатковий фрагмент***, який належав гомологічній або негомологічній хромосомі (мал. 37.3, 2).

Як втрата певної ділянки, так і подвоєння певних фрагментів хромосоми можуть бути спричинені порушенням процесу кон'югації гомологічних хромосом під час мейозу та виникають унаслідок розривів хромосоми.

Мутації, за яких ***дві негомологічні хромосоми обмінюються своїми ділянками*** (мал. 37.3, 3), можуть спричиняти нездатність до статевого розмноження.

Інколи ***ділянка хромосоми, яка утворилася внаслідок двох розривів, повертається на 180° і за допомогою ферментів знову вбудовується в хромосому*** (мал. 37.3, 4). При цьому кількість генів хромосоми може залишатися незмінною, однак змінюється послідовність генів. Тому наслідком таких мутацій може бути стерильність організмів.

Переміщення ділянки всередині однієї хромосоми або ж в іншу хромосому змінює послідовності нуклеотидів (мал. 37.3, 5). Наприклад, у дрозофіли один із генів Х-хромосоми здатний переміщуватись в аутосому.

Точкові мутації – стійкі зміни окремих послідовностей нуклеотидів у молекулах нуклеїнових кислот. Цей тип мутацій найпоширеніший, він може зачіпати будь-які ознаки організму й необмежений час передаватися між послідовними поколіннями. Точкові мутації часто виникають унаслідок помилок у процесі подвоєння молекул ДНК або їхнього відновлення (репарації).

Ймовірність того, що мутація, яка щойно виникла, виявиться корисною, дуже мала. Тому потрібно захищати спадкову інформацію людини та інших організмів від дії чинників, здатних викликати мутації.

Цікаво знати

У чоловіків можуть з'являтись одна (**XXY**, **XYY**), дві (**XXXY**, **XYYY**, **XXYY**) чи три (**XXXXY**, **XXXYY**) зайві статеві хромосоми. Найчастіше трапляється варіант **XXY**. Частота появи хлопчиків із цією мутацією становить 1 на 500–700 новонароджених. Для чоловіків із цим синдромом характерні високий зріст, видовжені кінцівки, відносно короткий тулуб, безпліддя, схильність до ожиріння, кволість. Поява зайвої 8-ї хромосоми теж призводить до порушень, але не таких значних (косоокість, короткопалість, збільшення розмірів вух, носа та ін.). Поява зайвої 21-ї хромосоми спричиняє ***синдром Дауна***.

Ключові терміни та поняття: **комбінативна мінливість, мутації, поліплоїдія.**

Перевірте здобуті знання

1. Які причини комбінативної мінливості? 2. Які типи мутацій вам відомі? 3. Які з мутацій, пов'язаних зі зміною будови хромосом, можуть більше впливати на фенотип організмів? 4. Із чим пов'язані точкові мутації?

Поміркуйте. Чому мутації, пов'язані з кратним зменшенням хромосомного набору, більш негативно впливають на життєздатність організмів, порівняно з тими, які спричинюють кратне збільшення цього набору?

§38. ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ МУТАЦІЙ. ВЛАСТИВОСТІ МУТАЦІЙ

Пригадайте, що таке репарація ДНК, стоп-кодони. Які властивості генетичного коду? Що таке хромосомні та точкові мутації? Що вивчає систематика? Що таке біологічні методи боротьби зі шкідниками?

Спонтанні мутації. У живих істот весь час виникають ***спонтанні*** (від лат. *спонтанеус* – самочинний) мутації, наприклад, помилки під час відтворення генетичного коду. Їх можуть також спричиняти переміщення фрагментів з однієї ділянки молекули ДНК до іншої, природний радіаційний фон.

Частота спонтанних мутацій залежить від віку клітин та організмів у цілому. Так, зі збільшенням віку матерів підвищується частота мутацій, пов'язаних з нерозходженням гомологічних хромосом під час мейозу. Тому частота народження дітей із синдромом Дауна зростає від 0,1 % у 30-річних жінок до 2 % у 45-річних. Загальна ймовірність виникнення різноманітних спонтанних мутацій у дітей, народжених матерями віком понад 42 роки, становить близько 30 %. На частоту спонтанних мутацій впливає і вік батька. Так, у 40-річних чоловіків кількість нащадків з карликовим зростом, укороченими кінцівками, сідлоподібним носом зростає вдесятеро порівняно з 20-річними.

Мутагенні фактори. Тривалий час причини мутацій залишалися нез'ясованими. Лише 1927 р. американський генетик **Г. Дж. Меллер**, опромінюючи рентгенівськими променями дрозофіл, викликав у цих мух різноманітні мутації. Фактори, здатні спричиняти збільшення частоти мутацій, називають ***мутагенними*** (від лат. *мутаціо* – зміна та грец. *генезис* – походження). Мутації, спричинені мутагенними факторами, називають ***індукованими*** (від лат. *індуктіо* – спонукання).

За походженням розрізняють фізичні, хімічні та біологічні мутагенні фактори (скорочено – ***мутагени***). Серед **фізичних мутагенів** найбільше значення має іонізуюче випромінювання, зокрема рентгенівське. Проходячи через живу речовину, рентгенівські промені вибивають електрони із зовнішньої оболонки атомів або молекул, унаслідок чого ті стають позитивно зарядженими. Вибиті електрони спричинюють неконтрольовані хімічні перетворення різних сполук організмів. До фізичних мутагенів також належать ультрафіолетові промені, підвищена температура тощо. Їхня дія призводить до виникнення насамперед точкових мутацій, рідше – хромосомних.

Хімічні мутагени було відкрито пізніше за фізичні. Значний внесок у їхнє вивчення зробила українська генетична школа, очолювана академіком **С. М. Гершензоном** (див. мал. 21.3). Дослідники щорічно відкривають нові хімічні мутагени. До хімічних мутагенів, зокрема, належать акридинові барвники, нітритна кислота, гідроген пероксид, формальдегід (метаналь), деякі лікарські препарати тощо.

До **біологічних мутагенів** належать віруси та токсини, що їх виробляють деякі бактерії. Так, в уражених вірусами клітинах мутації відбуваються значно частіше, ніж у здорових.

Біологічні антимутаційні механізми. Організми здатні захищати свій генетичний матеріал від мутацій. *Пригадаймо*: більшість амінокислот закодовано не одним, а кількома триплетами, а частина генів багато разів повторюється у геномі організмів.

У клітинах існують особливі системи виправлення помилок (*системи репарації*), які виникають під час подвоєння молекул ДНК та їхніх змін під впливом мутагенів (*пригадайте*, як відбувається репарація молекул ДНК; див. мал. 22.3).

Спільними наслідками мутацій, пов'язаних зі зміною будови хромосом, можуть бути порушення процесу мейозу, зокрема кон'югації гомологічних хромосом. Наприклад, гомологічні хромосоми не розходяться після кон'югації і потрапляють лише до частини утворених гамет. Так виникають статеві клітини з відмінними хромосомними наборами.

У нормальних умовах мутації окремих алелів відбуваються досить рідко. Але оскільки кількість генів організму значна, то й загальна кількість мутацій також помітна. Наприклад, у дрозофіли приблизно 5 % гамет несуть різноманітні мутації.

Загальні властивості мутацій. Здатність до змін спадкової інформації у процесі історичного розвитку живої матерії є її універсальною властивістю. Мутації виникають раптово. Зміни, до яких призводять мутації, можуть успадковуватися. Однакові мутації можуть виникати неодноразово і незалежно від інших. На відміну від модифікацій, мутації неспрямовані, тобто можуть бути шкідливими, нейтральними або корисними.

Фактори, які викликають мутації (мутагени), універсальні, тобто здатні спричиняти зміни спадкового матеріалу в організмах усіх видів. Один і той самий фактор, який діє з однаковою інтенсивністю на генетично ідентичні організми (наприклад, на однояйцевих близнят), може викликати в них різні мутації. Разом з тим різні за своєю природою мутагени здатні викликати в представників неспоріднених видів подібні спадкові зміни.

На відміну від модифікацій, ступінь вираження змін у фенотипі не залежить від інтенсивності й тривалості дії мутагенного фактора: слабкий мутаген, який діє нетривалий час, іноді здатний спричиняти значніші зміни у фенотипі, ніж сильний. Зі зростанням інтенсивності дії мутагенного фактора до певної межі частота виникнення мутацій збільшується.

Для мутагенних факторів не існує нижньої межі інтенсивності дії (нижнього порогу дії), нижче якої вони не здатні впливати на спадковий матеріал. Ця властивість свідчить про те, що носії спадковості організмів потрібно захищати від усіх мутагенів, незалежно від сили та тривалості їхнього впливу.

Значення мутацій у природі й житті людини. Мутації є джерелом спадкової мінливості – одного з факторів еволюції. Завдяки їм з'являються нові алелі певних генів (їх називають *мутантними*). Усе

різноманіття сучасних та вимерлих форм живих істот завдячує саме мутаціям.

Загальним наслідком мутаційної мінливості зазвичай є порушення спадкових програм клітин та організмів у цілому. Більшість мутацій шкідлива для живих істот, оскільки вони, проявляючись у фенотипі, знижують пристосованість до умов існування. Нейтральні ж мутації, які не впливають на життєздатність організмів, можуть виявитися корисними за певних змін середовища життя. Штучно спричинені мутації збільшують різноманіття вихідного матеріалу під час селекції рослин і мікроорганізмів, від чого залежить її ефективність. Зокрема, багато культурних рослин є поліплоїдними, тоді як предкові види мали меншу кількість хромосомних наборів (м'яка пшениця, садові суниці, деякі сорти цукрових буряків тощо). *Поміркуйте*: чому мутагени не застосовують у селекції тварин.

Мутації застосовують у ***генетичних методах боротьби з організмами-шкідниками***. Для цього в лабораторних умовах на самців шкідливого для людини виду діють мутагенами (наприклад, рентгенівськими променями), які викликають нездатність до запліднення. Далі їх випускають у природу, де вони паруються із самками з природних популяцій. Відкладені такими самками яйця виявляються нежиттєздатними. Такі методи, наприклад, використовували для боротьби з малярійними комарами.

Доза мутагенного фактора – це добуток його тривалості та інтенсивності дії.

Складові тютюнового диму, алкоголь та інші токсичні речовини водночас є сильними мутагенами. Зокрема, вживання майбутніми матерями, а також батьками наркотиків, алкоголю, певних лікарських препаратів, які не пройшли належної перевірки, куріння тютюну можуть призвести до порушень нормального формування зародка. Унаслідок цього народжується дитина зі спадковими хворобами або порушеннями психофізичного розвитку. У молодому та зрілому віці шкідливі звички можуть призвести до розвитку ракових пухлин через дію мутагенів на процеси мітозу або мейозу. Тому люди, які ведуть неправильний спосіб життя, вкорочують свій вік. До чинників, які подовжують життя, належать регулярні заняття спортом, раціональне харчування, перебування на свіжому повітрі, уникання стресових ситуацій, відмова від шкідливих звичок тощо.

Ключові терміни та поняття: **мутагени, спонтанні та індуковані мутації.**

Перевірте здобуті знання

1. Які мутації називають спонтанними? 2. Які причини мутацій? 3. Які фактори належать до мутагенних? 4. У чому полягає біологічне значення мутацій? 5. Які є механізми захисту організму від мутацій? 6. Які властивості притаманні мутаційній мінливості?

Поміркуйте. Що спільного та відмінного між мутаційною та модифікаційною мінливістю?

§39. СПАДКОВІ ЗАХВОРЮВАННЯ ЛЮДИНИ. ГЕНЕТИЧНЕ КОНСУЛЬТУВАННЯ

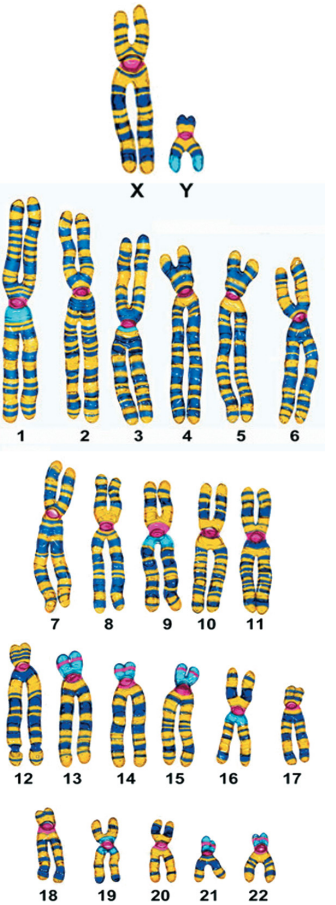
Пригадайте, які методи застосовують у генетичних дослідженнях. Про що стверджує закон розщеплення? Які алелі називають летальними та сублетальними? Які особливості будови та функціонування імунної системи людини? Які є групи мутагенів?

Генетика людини – розділ генетики, що вивчає особливості організації та функціонування геному людини, закономірності її спадковості.

Системи шлюбів людини. У будь-яких організмів певного виду існують різні системи схрещування: споріднене та неспоріднене.

Споріднене схрещування відбувається між особинами, що мають спільних предків принаймні протягом попередніх шести поколінь. ***Неспорідненим*** вважають схрещування між особинами, у яких спільних предків протягом шести попередніх поколінь не було.

Відповідно, у людей розрізняють споріднені та неспоріднені шлюби. Споріднені шлюби у багатьох країнах заборонені. Так, у католиків навіть на шлюб троюрідних брата і сестри потрібно отримати дозвіл церкви. Одним з наслідків споріднених шлюбів є те, що у нащадків можуть проявитись у фенотипі рецесивні алелі (серед яких можуть бути летальні та сублетальні), які не проявились у гетерозиготних батьків, а у нащадків можуть перейти у гомозиготний стан. Тому небезпека народження дитини з певними спадковими захворюваннями або генетичними порушеннями розвитку зростає зі збільшенням ступеня спорідненості осіб, що беруть шлюб. Наприклад, якщо обоє батьків фенотипово здорові, але гетерозиготні за рецесивним алелем, який визначає глухоту, їхні діти можуть народитися з порушенням слуху (*завдання*: за допомогою решітки Пеннета вирахуйте ймовірність народження таких дітей у згаданій родині). Майже 20 % усіх альбіносів є нащадками від споріднених шлюбів. Відомо кілька рецесивних летальних алелів, здатних у гомозиготному стані спричиняти передчасну смерть.



Мал. 39.1. Каріотип людини. ***Завдання.*** *Знайдіть статеві хромосоми, визначте стать людини із цим каріотипом*

Натомість ***неспоріднені шлюби*** часто супроводжуються підвищенням гетерозиготності. У нащадків від неспоріднених шлюбів рецесивні алелі, що здатні в гомозиготному стані спричиняти певні спадкові захворюван-

ня або вади, часто переходять у гетерозиготний стан і тому не проявляються у фенотипі.

Ви вже знаєте, що каріотип людини складається з 22 нестатевих хромосом (аутосом) та двох статевих (XX – у жінок та XY – у чоловіків) (мал. 39.1).

Цікаво знати

Одним з міжнародних біологічних проєктів кінця XX – початку XXI ст. було розшифрування геному людини. Вчені встановили нуклеотидні послідовності і створили генетичні карти, на які нанесли близько 20 тис. генів, які кодують білки або молекули РНК (що становить лише 1,5 % генома; інша його частина – або некодуюча, або ж бере участь у регуляції активності генів). Дослідники оцінили геном людини у 3,055 млрд пар нуклеотидів.

Кільцева молекула ДНК мітохондрій людини утворена 16 569 парами нуклеотидів і містить усього 37 генів, 13 з яких кодують білки мітохондрій, 2 – рРНК та 22 – тРНК.

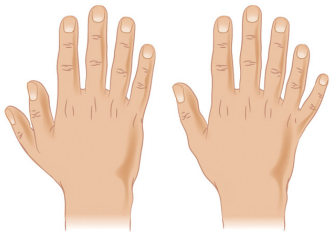
Дослідження геному засвідчили високу подібність послідовностей нуклеотидів ДНК у різних людей на 99,5 %. Таким чином, лише 0,5 % геному зумовлює різноманітність фенотипів. Різноманітність геномів людини збільшують і мутації.

Медична генетика розробляє методи діагностики спадкових захворювань, їхньої профілактики та лікування. Сучасна медична генетика насамперед орієнтується на профілактику спадкових захворювань, зокрема запобігання народженню дітей з певними спадковими захворюваннями або порушенням психофізичного розвитку.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, 5 зі 100 новонароджених мають чи інше важке спадкове захворювання, ще 5 мають генетичні порушення розвитку, а ще 2 народжуються мертвими внаслідок цих порушень. Ці показники зростають з року в рік унаслідок забруднення довкілля різноманітними мутагенами. Нині відомо понад 4000 спадкових захворювань і захворювань зі спадковою схильністю, тоді як у 1958 р. – не більше ніж 500.

Спадкові захворювання можуть мати різні прояви:

- порушення будови організму, наприклад вовча паща (виникнення щілини, що сполучає носову та ротову порожнини внаслідок розщеплення верхніх губи, щелепи та піднебіння); заяча губа (розщеплення верхньої губи); багатопалість (мал. 39.2) чи зрощення пальців тощо;
- розлад фізіологічних функцій, наприклад гемофілія та дальтонізм;
- порушення процесів обміну речовин, зокрема цукровий діабет.



Мал. 39.2. Приклад спадкового захворювання людини – полідактилії (поява 6-го, рідше 7-го пальця на всіх чи деяких кінцівках)

Деякі зі спадкових захворювань, наприклад синдром Дауна, проявляються відразу після народження. Інші, наприклад хорея Гентінгтона (захворювання клітин нервових вузлів, яке супроводжується мимовільними

рухами, поступово прогресуючими інтелектуальними порушеннями тощо), – лише у певному віці.

Певні спадкові захворювання та генетичні вади зумовлені зміною кількості або структури хромосом (наприклад, поява додаткових хромосом у 13-й, 18-й чи 21-й парі). У першому випадку (синдром Патау) спостерігають деформацію вушної раковини, ушкодження шкіри голови, вовчу пащу, шестипалість, порушення функцій мозочка, вади серця, глухоту, затримку психічного розвитку тощо. У другому випадку (синдром Едвардса) – деформацію вушної раковини, вкорочення великого пальця ноги, порушення функцій мозочка, вади серця, тяжку форму затримки розумового розвитку, часту захворюваність тощо.

Медико-генетичне консультування. Важливу роль у профілактиці спадкових захворювань відіграє медико-генетичне консультування. У ***медико-генетичних консультаціях*** працюють фахівці різних спеціальностей – генетики, біохіміки, цитологи, імунологи тощо. За допомогою різноманітних методів вони виявляють носіїв алелів, які зумовлюють прояви спадкових захворювань, вираховують імовірність успадкування і прояву спадкових захворювань у нащадків. Коли ймовірність появи нащадків зі значними спадковими порушеннями розвитку висока, майбутнім батькам пропонують утриматись від народження дитини. Це, передусім, спрямовано не лише на запобігання народженню дітей з певними генетичними дефектами, а й на запобігання подальшій передачі мутантних алелів наступним поколінням. За допомогою різноманітних методів визначають схильність людини до певного спадкового захворювання і прогнозують можливість його прояву в її фенотипі у майбутньому.

Медико-генетичне консультування є одним з видів спеціалізованої медико-генетичної допомоги населенню, яка здебільшого спрямована на запобігання появі у родині дітей із спадковими захворюваннями або порушеннями розвитку.

Ви вже знаєте, що запорукою успішного лікування будь-яких хвороб, серед яких і спадкові, є своєчасне і точне встановлення діагнозу. Характерною рисою спадкових захворювань є те, що багато з них можуть бути діагностовано ще до того, як починають проявлятись їхні симптоми. Для цього застосовують різні методи генетичних досліджень (*поміркуйте* яких). Деякі зі спадкових захворювань можуть бути діагностовано ще до народження дитини. Тому одним із завдань медико-генетичного консультування є встановлення генотипу особини, так зване ***генетичне тестування***.

Фахівці з медико-генетичного консультування насамперед рекомендують пройти генетичне тестування таким категоріям людей:

- майбутнім матерям, чий вік старше 35 років (оскільки що старший вік жінки, то більша імовірність виникнення хромосомних патологій плоду);
- майбутнім батькам, якщо у них або серед їхніх найближчих родичів відомі особи зі спадковими хворобами або порушеннями розвитку;
- батькам, у яких раніше народжувались діти зі спадковими хворобами або порушеннями розвитку;

- подружжям, члени якого є близькими родичами;
- особам, чиї умови праці або спосіб життя (наприклад, у разі впливу іонізуючої радіації, перенесених інфекційних захворювань, наявності шкідливих звичок) можуть негативно впливати на перебіг вагітності та розвиток плода.

Нині тестування на наявність багатьох спадкових захворювань у деяких країнах навіть обов'язкове. Зокрема, це стосується захворювань з генетичною схильністю: фахівці рекомендують обмежувати чи вилучати з харчового раціону продукти, що містять речовини, обмін яких порушений.

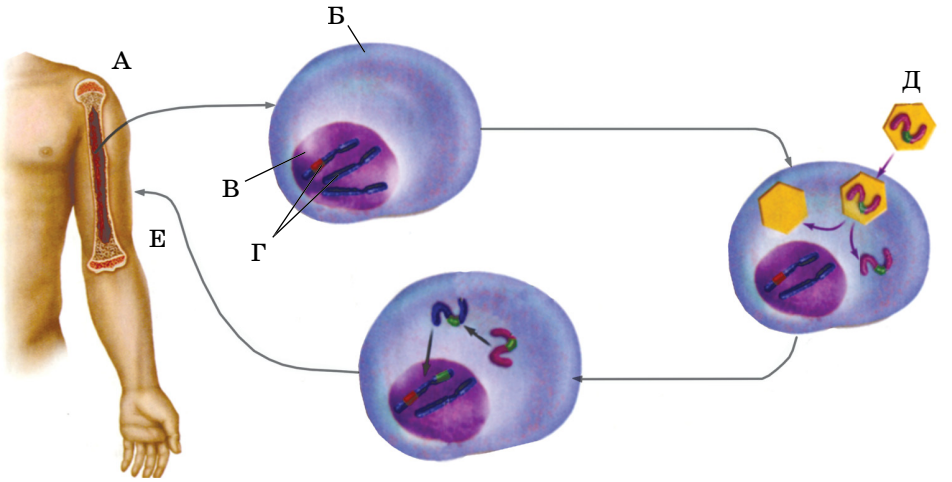
Важливим завданням фахівців з медико-генетичного консультування є не тільки проведення генетичного тестування та отримання відповідних результатів, а й створення рекомендацій щодо профілактики розвитку захворювань з генетичною схильністю, роз'яснення можливого характеру перебігу хвороби тощо. У разі можливості народження у родині дітей з генетичними хворобами або спадковими порушеннями розвитку, фахівці повинні не лише оцінити ймовірность цього, а й допомогти майбутнім батькам прийняти важливе для них рішення – народити дитину, не зважаючи на наявні ризики, або відмовитись від цього.

Важливим аспектом діяльності фахівців з медико-генетичного консультування є встановлення довірливих відносин з пацієнтами з безумовним збереженням лікарської таємниці. При цьому фахівці з медико-генетичного консультування не мають права нав'язувати пацієнтам свою точку зору, вони лише надають всю потрібну інформацію і допомагають прийняти, в деяких випадках – важке самостійне рішення.

Умови життя можуть як знижувати, так і підвищувати ризик прояву у фенотипі певних порушень розвитку або хвороб. Тому ще раз варто нагадати про необхідність вести здоровий спосіб життя. Наприклад, одним з поширених захворювань з генетичною схильністю є цукровий діабет II типу. На відміну від діабету I типу, при діабеті II типу підшлункова залоза виробляє гормон інсулін (*пригадайте* його функції), але або в недостатній кількості, або ж порушується взаємодія клітин з інсуліном. Тепер діабет II типу є одним з найпоширеніших захворювань у масштабах всієї планети. Якщо у 1985 р. було виявлено 30 млн осіб з діабетом, то вже у 2010 році їхня кількість становила 285 млн. Учені виявили близько 20 генів, які відповідають за ризик виникнення цієї хвороби. Але факторами ризику виникнення захворіння є зловживання солодощами, малорухливий спосіб життя, недостатність сну. Тому активний спосіб життя, раціональне харчування (розроблене за участі відповідного лікаря) полегшують перебіг хвороби та сприяють одужанню.

Перспективним напрямом у медичній генетиці є генна терапія.

Генна терапія (від грец. *терапейа* – лікування, оздоровлення) – медична процедура, під час якої у хворого вилучають певні типи клітин (крові, епітелію шкіри або кишківника та ін.), замінюють їхні дефектні алельні гени нормальними, а потім вводять в організм. Завдяки цьому в організмі людини із захворюванням починають синтезуватись білки, яких до цього не вистачало (мал. 39.3). Нормальні гени вилучають з організму здорової людини та методами генної інженерії



Мал. 39.3. Метод генної терапії. Зі шкіри руки (А) отримують клітину епітелію (Б). В її ядрі (В) містяться хромосоми (Г). Нормальні гени (Д), призначені для введення в хромосоми. Е. Введення клітин з нормальними генами в організм людини

отримують їхні численні копії. До 80 % розробок генної терапії спрямовано на боротьбу з пухлинними захворюваннями.

За певних онкологічних та інфекційних захворювань методами генної терапії можна пригнічувати активність генів, не притаманну нормальній клітині, або посилювати її (наприклад, для збільшення синтезу гемоглобіну у хворих на серпоподібноклітинну анемію). Ще одна галузь її застосування – генетична модифікація клітин, спрямована на посилення імунних реакцій.

Введення «генів-убивць» призводить до загибелі пухлинних клітин. Особливе місце у генній терапії посідають методи боротьби зі СНІДом. Зокрема, учені створюють генетично модифіковані клітини, здатні виробляти антитіла проти ВІЛу.

Активний і здоровий спосіб життя не тільки дає змогу уникнути певних захворювань та збільшити тривалість життя, а й має фінансове підґрунтя. У людей з хворобою знижується працездатність, що позначається на їхніх заробітках, вони витрачають значні кошти на ліки. Отже, активний і здоровий спосіб життя дає змогу економити не тільки власні кошти, а й кошти в масштабах усієї країни. Зекономлені кошти можуть бути спрямовані на будівництво нових стадіонів, спортивних майданчиків, зон відпочинку тощо.

Ключові терміни та поняття: **медико-генетичне консультування, генетичне тестування, генна терапія.**

Перевірте здобуті знання

1. Які завдання медичної генетики? 2. Чим зумовлені спадкові захворювання та вади людини? 3. У яких формах можуть проявлятись спадкові захворювання та порушення розвитку людини? 4. Що таке медико-генетичне консультування та які його завдання? 5. Які завдання генної терапії?

Поміркуйте. Які проблеми етичного плану виникають під час медико-генетичного консультування?

ТЕМА 6. ЕВОЛЮЦІЯ ОРГАНІЧНОГО СВІТУ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- розвиток еволюційних поглядів; еволюційні фактори;
- популяцію як одиницю еволюції та біогеоценоз як середовище еволюції;
- роль різних наук в обґрунтуванні теорії еволюції; сучасні еволюційні погляди;
- механізми видоутворення;
- світоглядні та наукові погляди на походження та історичний розвиток життя;
- основні етапи еволюції людини.

§40. ПРОЦЕС ЕВОЛЮЦІЇ ЯК УНІВЕРСАЛЬНА ВЛАСТИВІСТЬ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

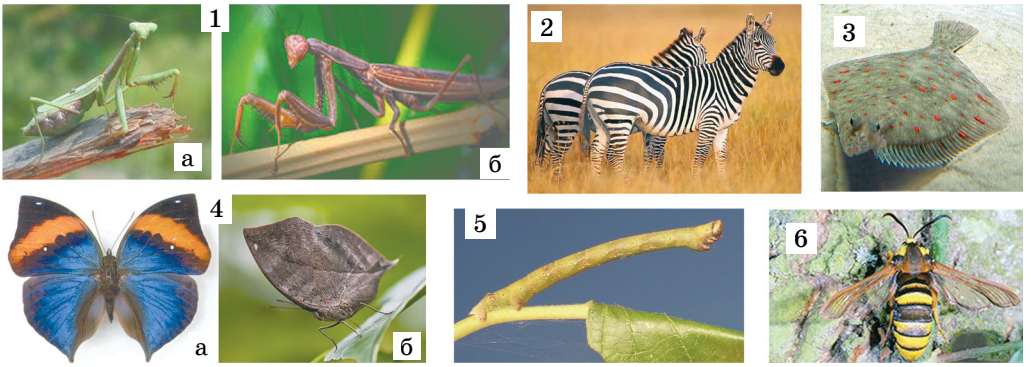
Пригадайте, що таке адаптації. Що таке модифікаційна мінливість і норма реакції? Які рівні організації живої матерії ви знаєте? Що таке гомеостаз?

У процесі як індивідуального розвитку окремих особин (онтогенезу), так й історичного розвитку видів і систематичних одиниць вищого рангу (філогенезу) виникають нові ознаки, частина яких може успадковуватись нащадками. Такий процес розвитку живої матерії називають **еволюцією**. Наслідком еволюційних змін є формування пристосованості організмів до умов навколишнього середовища.

Еволюція (від лат. *еволюціо* – розгортання) – процес необоротних змін будови та функцій біологічних систем протягом їхнього історичного розвитку.

Еволюція як процес формування адаптацій. Вижити за умов періодичних або неперіодичних змін умов існування можуть лише ті організми, які до них пристосувалися. Здатність формувати пристосування – адаптації – загальна властивість живої матерії.

Адаптації організмів можуть бути пов'язані зі змінами будови чи забарвлення, процесів життєдіяльності та поведінки, їхнього біохімічного складу тощо. На малюнку 40.1 наведено приклади деяких адаптацій організмів до середовища життя. Так, зелене забарвлення богомола робить цю комаху непомітною для ворогів і здобичі на тлі зеленої рослинності. Смугасте забарвлення зебри ніби робить її добре помітною для ворогів на відкритій місцевості, але серед рослинності завдяки смугастому забарвленню вона стає малопомітною. Таке забарвлення



Мал. 40.1. Захисні забарвлення та поведінка тварин як приклади адаптацій до середовища життя: 1 – захисне забарвлення богомола: а – весняна форма із зеленим забарвленням; б – осіння форма, що має коричневе забарвлення; 2 – розчленувальне забарвлення зебри маскує її на тлі вертикальних частин рослин; 3 – камбала здатна змінювати своє забарвлення відповідно до тла довкілля; 4 – тропічний метелик каліма з розправленими (а) та складеними (б) крилами; 5 – гусінь п'ядуна в разі небезпеки завмирає та нагадує суху гілку; 6 – метелик велика тополева скляниця зовні нагадує шершня

називають *розчленувальним*. Є тварини, які здатні змінювати своє забарвлення відповідно до умов середовища (наприклад, камбала, каракатиці, деякі креветки, хамелеони та ін.; мал. 40.1, 3).

Ховаючись від ворогів, тварини можуть набувати форми живих і неживих об'єктів, що їх оточують (мал. 40.1, 4, 5). Наприклад, тропічний метелик каліма зі складеними крилами нагадує листок рослини, на якому можна помітити навіть окремі жилки. Гусінь метеликів п'ядунів у разі небезпеки може завмирати й набувати вигляду сухої гілки. Явище, коли одні види тварин формою тіла та забарвленням нагадують інших, що мають певні засоби захисту, називають ***мімікрією***. На малюнку 40.1, 6 зображено комаху, яка нагадує один з видів отруйних ос. Насправді це беззахисний метелик – велика тополева скляниця.

На відміну від незахищених видів, види, що мають певні засоби захисту (отруйні залози, потужні щелепи тощо), часто чітко контрастують своїм забарвленням або поведінкою з навколишнім середовищем

Мал. 40.2. Явище демонстрації: 1 – погрозливе забарвлення павука-птахоїда; 2 – погрозлива поведінка павука-птахоїда: у разі небезпеки він піднімає передні ноги і готує для нападу хеліцери, за допомогою яких вводить отруту в тіло здобичі або ворога; 3 – кров яскраво забарвленого жука сонечка містить отруйні речовини, що робить його неїстівним; 4 – погрозлива поведінка вовка

(мал. 40.2). Тим самим вони показують, що їх краще оминати, оскільки вони здатні себе захистити. Це явище називають ***демонстрацією***.

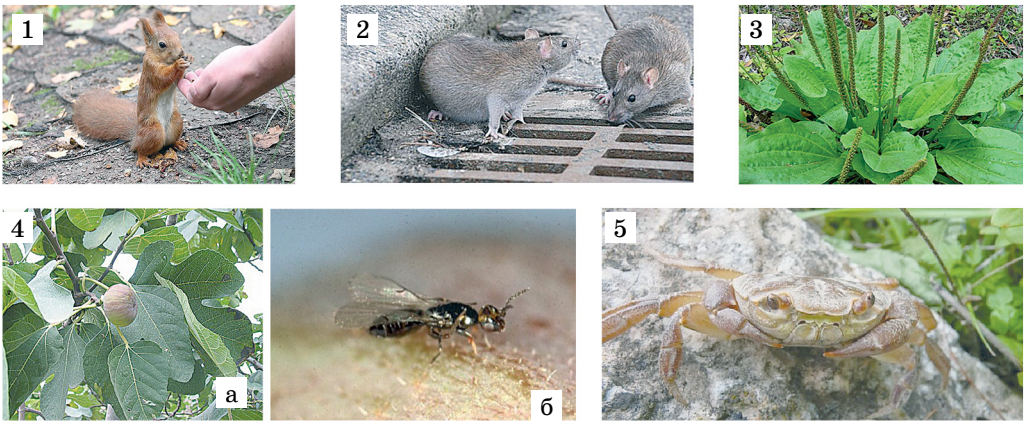
Адаптаціями організмів до переживання несприятливих умов є утворення цист одноклітинними еукаріотами, зимова сплячка тварин, листопад рослин тощо.

Формування нових адаптацій зумовлено змінами умов існування і визначається особливостями спадкового матеріалу – генотипом. Поява нової адаптації є наслідком виникнення нових мутацій або появи нових комбінацій мутантних алелів, що виникли раніше (комбінативна мінливість).

Організми постійно пристосовуються до дії кожного окремого екологічного фактору та до їх комплексу, тобто до умов середовища життя, регулюючи процеси життєдіяльності відповідно до змін цих чинників. Біологічні адаптації не тільки забезпечують стійкість до впливу екологічних чинників, а й успіх в конкуренції з іншими особинами свого або інших видів.

Конкуренція – тип відносин між особинами одного (внутрішньовидова) або різних (міжвидова) видів, які полягають у змаганні за джерела їжі, місця проживання та інші необхідні умови існування. Конкуренція – приклад антагоністичних відносин.

Види, які можуть виживати в широкому діапазоні змін умов існування, називають ***екологічно пластичними*** (мал. 40.3, 1–3). Саме такі види здатні заселяти нові місця проживання або ті, які дуже змінилися (унаслідок пожеж, вирубування лісів, ті, що звільнилися після



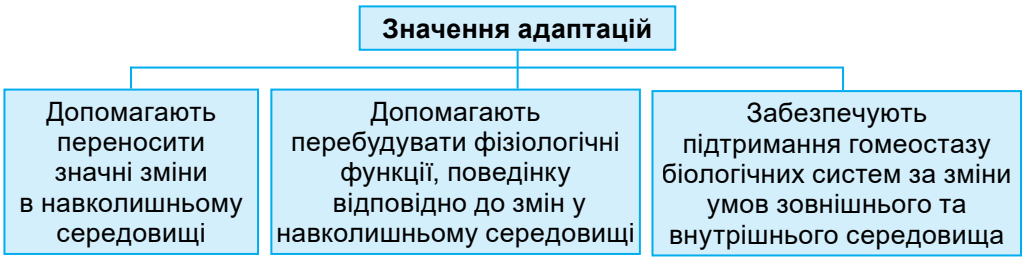
Мал. 40.3. Екологічно пластичні (1, 2, 3) та екологічно непластичні (4, 5) види: 1 – білка (або вивірка) звичайна може мешкати як у лісах різних типів, так і в міських парках; 2 – пацюк сірий мешкає в житлі людини, на складах продуктів, у міських комунікаціях, на сміттєзвалищах, у лісах, скрізь, де для нього є їжа; 3 – подорожник великий зростає уздовж доріг, на засмічених місцях, пустирях, у степах, на луках, пісках тощо; 4 – напівдикий вид інжиру (а) запилюється тільки однією комахою – бластофагою (б), тому може розмножуватись лише там, де мешкає ця комаха; 5 – краб прісноводний трапляється лише в гірських річках і пов'язаних з ними ставках, потребує чистої та твердої (із солями Кальцію) води

тривалого перебування під водою тощо). Екологічно пластичні види зазвичай мають широку територію їх поширення – ***ареал***. Натомість ***екологічно непластичні види*** вузько спеціалізовані до умов середовища життя і погано пристосовуються навіть до незначних змін умов проживання (мал. 40.3, 4, 5).

Але адаптації непостійні: ті з них, які втратили своє значення, через певний час зникають, натомість можуть формуватися нові. Це пов'язано з тим, що ***процес еволюції необоротний***: якщо умови довкілля повертаються до попереднього стану, адаптації щоразу розвиваються заново, а не відтворюються попередні.

Адаптації не бувають абсолютними. Наприклад, у зайця білого, як і в деяких інших тварин, під час осіннього линяння під впливом зниження температури довкілля змінюється забарвлення хутра із сірого на біле, яке робить його непомітним на снігу. Але зниження температури не завжди супроводжується випадінням снігу, і біла тварина стає більш помітною на темному тлі.

Значення адаптацій для нормального існування та функціонування біологічних систем наведено на малюнку 40.4.



Мал. 40.4. Значення адаптацій для нормального існування та функціонування біологічних систем

Ключові терміни та поняття: **еволюція, адаптації, конкуренція.**

Перевірте здобуті знання

1. Що собою становить процес еволюції? 2. Що таке адаптації? Яке їхнє значення для виживання організмів? 3. Яким чином спадковий матеріал організмів визначає їхню здатність до формування нових адаптацій?

Поміркуйте. Обґрунтуйте, чому процес еволюції необоротний.

§41. ЕВОЛЮЦІЙНІ ПОГЛЯДИ Ж.-Б. ЛАМАРКА. ТЕОРІЯ ЕВОЛЮЦІЇ Ч. ДАРВІНА

Пригадайте внесок Ж.-Б. Ламарка в розвиток біології. Що таке популяції? Що таке конкуренція? В яких формах вона може відбуватись? Що таке симбіоз? Які його форми ви знаєте? Що таке норма реакції? Що таке екологічна ніша?

Історія розвитку еволюційного вчення. Питання еволюції вивчає розділ біології – ***еволюційне вчення***. Це наука про фактори, механізми, загальні закономірності та наслідки еволюції. Окремі ідеї про історичний розвиток живих істот висловлювали ще давньогрецькі філософи, такі як Геракліт, Демокрит та інші.

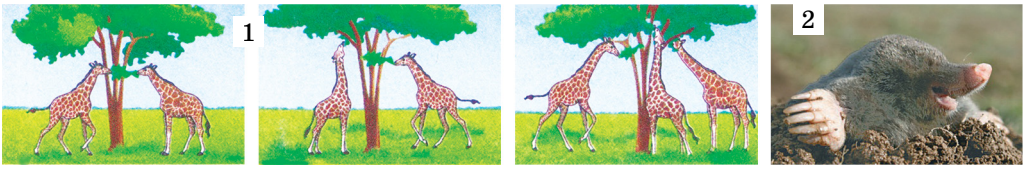
Але першу еволюційну гіпотезу сформулював лише в XIX ст. видатний французький учений **Ж.-Б. Ламарк**. Еволюція гіпотези Ж.-Б. Ламарка базується на уявленні про те, що всі організми під впливом умов довкілля набувають корисних пристосувань, змінюючи свою будову, функції, індивідуальний розвиток тощо. Отже, за Ж.-Б. Ламарком, процес еволюції *відбувається* за схемою, наведеною на малюнку 41.1.

Зміна умов мешкання
↓
Зміна потреб
↓
Зміни дій
↓
Зміна звичок
↓
Зміна дій спричинює тренування одних і не тренування інших органів. Органи, що тренуються, розвиваються, а органи, що не тренуються, редукуються

Мал. 41.1. Схема еволюційних перетворень, за Ж.-Б. Ламарком

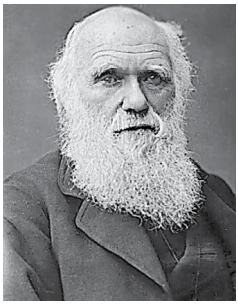
Ж.-Б. Ламарк розглядав еволюцію як процес безперервних змін, що полягають лише в ускладненні будови організмів і переходах від нижчого рівня організації до вищого (мал. 41.2).

Прогресивним у еволюційній гіпотезі Ж.-Б. Ламарка було те, що він визнав роль умов середовища життя в процесі еволюції організмів і вважав, що основним напрямом еволюції є ускладнення організації організмів. Проте йому не вдалося виявити реальні механізми еволюційного процесу. Зокрема, він зміг виявити механізми, які збільшують різноманітність організмів у процесі еволюції. Учений вважав, що нові види з'являються внаслідок самозародження.



Мал. 41.2. Приклади, що ілюструють еволюційну гіпотезу Ж.-Б. Ламарка: 1 – виникнення довгої шиї у жирафи; 2 – розширені передні кінцівки у кротів

Еволюційні погляди Чарльза Дарвіна. Важливим етапом у розвитку еволюційної теорії стали дослідження Ч. Дарвіна (мал. 41.3). До створення своєї теорії еволюції цей видатний учений тривалий час ретельно збирав та аналізував значний обсяг матеріалу, залучаючи праці різних фахівців. Під час цієї кропіткої роботи дедалі чіткіше викристалізовувався головний висновок: види організмів змінюються у процесі еволюції.



Мал. 41.3. **Чарльз Роберт Дарвін** (1809–1882) – видатний англійський учений, праці якого вплинули на подальший розвиток біології

Крім теорії природного добору, Ч. Дарвін сформулював теорію штучного добору, яка стала основою

селекції. Ч. Дарвіна цікавили й проблеми походження людини. Він спробував пояснити походження людини від спільних з людиноподібними мавпами предків.

Підґрунтям еволюційної теорії Ч. Дарвіна стали уявлення про здатність організмів змінюватись унаслідок змін середовища життя. Учений вважав, що адаптації розвиваються в організмів поступово, у процесі їхньої еволюції. Довготривалим наслідком формування адаптацій є здатність залишати достатню кількість життєздатних нащадків.

За Ч. Дарвіном, еволюція відбувається на підставі ***спадкової мінливості*** під дією ***боротьби за існування***, наслідком якої є ***природний добір***. Саме їх він вважав **рушійними факторами еволюції**. На відміну від Ж.-Б. Ламарка, Ч. Дарвін припускав, що мінливість може бути як неспадковою, так і спадковою. Перша форма мінливості (*пригадаймо*: її називають модифікаційною) проявляється в усіх особин виду однаково під дією певного чинника і може зникати, коли ця дія припиняється. Такі зміни нащадкам не передаються. Спадкова мінливість (*пригадаймо*: може бути мутаційна та комбінативна мінливість) – це зміни, які виникають у кожного організму індивідуально і можуть передаватися нащадкам.

Ч. Дарвін виділяв три форми боротьби за існування: внутрішньовидову, міжвидову та боротьбу з несприятливими умовами навколишнього середовища.

Мал. 41.4. Приклад внутрішньовидової боротьби за існування – одновіковий сосновий ліс

Внутрішньовидова боротьба за існування відбувається між особинами одного виду, оскільки їм притаманні подібні вимоги до середовища життя: подібні джерела їжі, подібні типи схованок тощо (мал. 41.4). За Ч. Дарвіном, найбільш пристосовані особини мають кращі шанси виживати і здатні передавати свої ознаки, що забезпечили виживання, нащадкам. Це загалом сприяє вдосконаленню виду в процесі еволюції.

Міжвидова боротьба за існування – це різні варіанти взаємодій між особинами різних видів, зокрема міжвидова конкуренція. Вона стає гострішою, що ближчі вимоги особин цих видів до умов проживання. Більш конкурентоспроможний вид витісняє зі спільного місцеіснування менш конкурентоспроможний. Наприклад, сірий пацюк витискає чорного, рудий тарган – чорного (мал. 41.5). Ч. Дарвін вважав, що міжвидова боротьба за існування посилює внутрішньовидову, що сприяє еволюції та вдосконаленню видів.

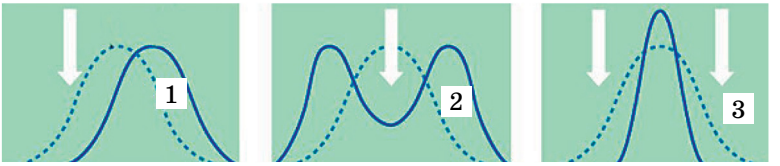
1

2

Мал. 41.5. Конкуруючі види тварин – приклад міжвидової боротьби за існування: 1 – сірий та чорний пацюки; 2 – рудий і чорний таргани

Боротьбу з несприятливими умовами навколишнього середовища, згідно з Ч. Дарвіном, спостерігають скрізь, де особини певного виду опиняються за умов дії несприятливих температур, недостатньої або надлишкової вологості, недостатнього або надлишкового освітлення тощо. Існування в несприятливих умовах довкілля, як вважав Ч. Дарвін, посилює внутрішньовидову боротьбу і, як наслідок, – сприяє кращій пристосованості виду в цілому.

Природний добір – процес, унаслідок якого виживають і залишають після себе плідних нащадків найбільш пристосовані до умов існування особини певного виду. Він діє на основі боротьби за існування, але має творчий характер. Творча роль природного добору, за Ч. Дарвіном, полягає у такому. Зі значної кількості не спрямованих спадкових змін, які постійно виникають в організмів певного виду, завдяки природному добору залишаються лише ті, які найбільше відповідають умовам існування. Ці зміни сприяють кращій пристосованості організмів до середовища життя. Накопичуючись і посилюючись з покоління в покоління, ці зміни сприяють удосконаленню виду та сприяють появі нових систематичних одиниць: підвидів, видів, родів тощо. Послідовники поглядів Ч. Дарвіна згодом обґрунтували, що природний добір має певну спрямованість і може бути рушійним, стабілізуючим і розриваючим (мал. 41.6).



Мал. 41.6. Форми природного добору:
1 – рушійний;
2 – розриваючий;
3 – стабілізуючий

Рушійний добір відбувається за повільних змін умов довкілля у певному напрямі або під час пристосувань організмів до нових умов у разі розширення ареалу (мал. 41.6, 1). Він зберігає спадкові зміни, що відповідають напряму змін, які відбуваються у довкіллі. Отже, завдяки дії рушійного добору в певний бік зсувається і норма реакції. Прикладом дії рушійного добору є спостереження англійського біолога В. Уелдона за популяцією крабів бухти міста Плімута. Він дослідив, що за п'ять років після побудови молу[1] ширина панцира крабів змінилася: якщо до побудови молу переважали особини із широким панциром, то після його побудови – з вузьким. Він пояснив це тим, що в особин з вузьким панциром вужчий також отвір, який веде до зябрової порожнини. Це краще захищає зябра від забруднення мулом, який почав накопичуватись на дні після спорудження молу.

Стабілізуючий добір зазвичай проявляється в постійних умовах довкілля. Він підтримує сталість певного фенотипу, що найбільше відповідає навколишньому середовищу, і відкидає будь-які зміни, як менш адаптаційні (мал. 41.6, 3). Наслідком дії стабілізуючого добору є досконала пристосованість до певних умов існування, тобто спеціалізація видів. Прикладом дії стабілізуючого добору є підтримання сталої

[1] Мол (від італ. *моло* – насип) – гідротехнічна огороджувальна споруда для захисту акваторії порту від хвиль.

Мал. 41.7. 1. **Іван Іванович Шмальгаузен** (1884–1963): видатний учений у галузі порівняльної анатомії, еволюційної морфології та ембріології тварин. Працював у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка (1907–1912 та 1921–1941), у 1930–1941 рр. очолював Інститут зоології НАН України, який тепер носить його ім'я. 2. Приклад дії стабілізуючого добору: форма квітки має відповідати особливостям ротового апарату комах, які її запилюють

будови квітки в рослин, які запилюються лише певними видами комах (наприклад, конюшину запилюють джмелі та бджоли) (мал. 41.7, 2). Теорію стабілізуючого добору розробив український учений І. І. Шмальгаузен (мал. 41.7, 1).

Розриваючий добір одночасно діє у двох, рідше кількох напрямах, однак не сприяє збереженню середніх станів ознак (мал. 41.6, 2). Наприклад, у жука двокрапкового сонечка є різні форми забарвлення. Одна з них має червоні надкрила з двома чорними крапками, така форма краще пристосована до дії високих температур. Інша, навпаки, має чорне забарвлення із червоними крапками: вона краще виживає під час дії низьких температур. Розриваючий добір сприяє виникненню кількох різних варіантів фенотипів в одній популяції, отже, пристосуванню популяцій до існування в нестабільних умовах довкілля.

Еволюційну теорію Ч. Дарвіна було доповнено і розширено працями його послідовників. Вона дістала назву ***дарвінізм*** і сприяла інтенсифікації досліджень у різних галузях біології.

Ключові терміни та поняття: **еволюційне вчення, боротьба за існування, природний добір: рушійний, стабілізуючий та розриваючий.**

Перевірте здобуті знання

1. Схарактеризуйте основні положення еволюційної гіпотези Ж.-Б. Ламарка. 2. Які фактори еволюції розглядав Ч. Дарвін? 3. Схарактеризуйте боротьбу за існування як фактор еволюції. У яких формах, згідно з Ч. Дарвіном, може відбуватись боротьба за існування? 4. Схарактеризуйте природний добір як рушійну силу еволюційного процесу. 5. Які форми природного добору ви знаєте?

Поміркуйте. Що спільного та відмінного в еволюційних поглядах Ж.-Б. Ламарка та Ч. Дарвіна?

§42. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СУЧАСНОЇ ТЕОРІЇ ЕВОЛЮЦІЇ. ПОПУЛЯЦІЯ ЯК ЕЛЕМЕНТАРНА ОДИНИЦЯ ЕВОЛЮЦІЇ

Пригадайте, що таке мутації. Що вивчає палеонтологія, порівняльні анатомія та ембріологія? Які види вважають екологічно пластичними та непластичними? Що таке генофонд?

Розвиток еволюційних поглядів. Ще за життя Ч. Дарвіна його еволюційна теорія знайшла багатьох своїх послідовників. Разом з тим

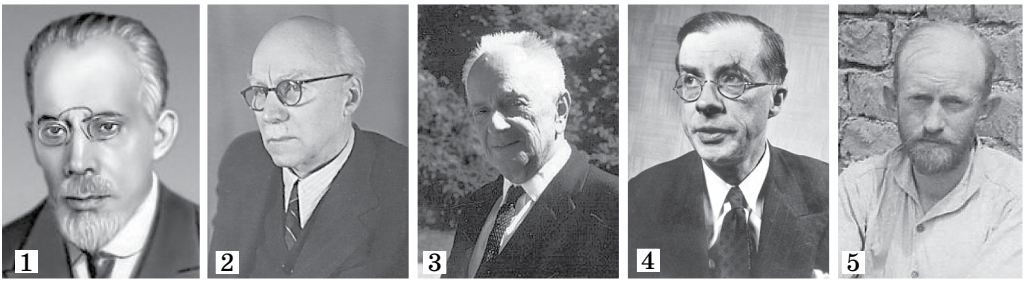
були й такі дослідники, що наводили факти, які на той час ця теорія не могла пояснити. Зокрема, якщо Ч. Дарвін вважав, що пристосування організмів до середовища життя формуються поступово, то мутації, на ґрунті яких формуються нові ознаки, виникають раптово.

Пригадаймо: основи вчення про мутації заклав Г. де Фріз. Саме він сформулював перші положення еволюційних поглядів, відомих під назвою ***сальтаціонізм*** (від лат. *сальтус* – стрибок). Це теорії, які базуються на стрибкоподібному характері еволюції. Згідно з поглядами прихильників сальтаціонізму процес видоутворення пов'язаний з мутаціями: швидкою появою нових особин, які відрізняються низкою ознак від представників батьківського виду. Це може відбуватись дуже швидко, протягом небагатьох поколінь. Такі змінені особини можуть виявитись репродуктивно ізольованими від особин батьківського виду.

Цікаво знати

Г. де Фріз, досліджуючи успадкування ознак у рослини енотери, спостерігав появу нових, раніше не відомих ознак унаслідок окремих мутацій. Такі мутаційні форми могли не схрещуватись з особинами батьківського виду.

Протистояння прихильників дарвінізму та сальтаціонізму тривало багато років. Але згодом стало зрозуміло: дані генетики не тільки не суперечать положенням еволюційної теорії, а, навпаки, підкріплюють її положення. Зусиллями багатьох учених, таких як О. М. Сєверцов, І. І. Шмальгаузен, С. С. Четвериков, М. В. Тимофєєв-Ресовський, Дж. С. Хакслі, Р. Фішер, Ф. Г. Добржанський, Дж. Г. Сімпсон, С. Райт (мал. 42.1), було створено **синтетичну теорію еволюції** – комплекс уявлень про еволюційний процес, що виник унаслідок синтезу положень дарвінізму з ученням про мутації та уявленнями про популяцію як елементарну одиницю еволюції.



Мал. 42.1. Учені, які зробили внесок у розвиток синтетичної теорії еволюції: 1 – **Олексій Миколайович Сєверцов** (1866–1936): видатний біолог, засновник еволюційної морфології тварин; з 1902 по 1911 рр. працював у Київському університеті Святого Володимира; 2 – **Сергій Сергійович Четвериков** (1880–1959): видатний генетик, ентомолог, еволюціоніст. Один з перших обґрунтував роль популяційних хвиль (коливань чисельності популяцій) як фактора еволюції; 3 – **Феодосій Григорович Добржанський** (1900–1975): видатний американський учений українського походження; стояв біля витоків популяційної генетики; 4 – **Джуліан Сорел Хакслі** (1887–1975): видатний англійський біолог, еволюціоніст; стояв біля витоків створення Всесвітнього фонду дикої природи; 5 – **Джордж Гейлорд Сімпсон** (1902–1984): видатний американський палеонтолог, увів термін «синтетична теорія еволюції»

Основні положення генетичної теорії еволюції. ***Головним джерелом спадкової мінливості*** синтетична теорія еволюції розглядає мутації (мутаційну мінливість): мутантні алелі можуть поєднуватись у різних комбінаціях, забезпечуючи комбінативну мінливість.

Рушійним фактором еволюції є природний добір. ***Елементарною одиницею еволюції*** є популяція. Еволюційні процеси, що відбуваються в популяціях, дістали назву **мікроеволюція**. Їхнім наслідком можуть бути зміни спадкового матеріалу популяції – її генофонду. Такі зміни можуть сприяти утворенню нових видів – **видоутворенню**. Еволюційні процеси, які приводять до утворення систематичних одиниць вищого рангу – нових родів, родин, рядів (порядків) тощо, називають **макроеволюцією**.

Популяції організмів та їхні характеристики. Види існують у вигляді системи популяцій, які зазвичай взаємодіють між собою. Така взаємодія відбувається зокрема в результаті обміну спадковим матеріалом (міграції особин у тварин, перенесення спор чи насіння вітром, водою, комахами тощо). Отже, популяція є ***структурно-функціональною одиницею виду***. Сукупність подібних між собою популяцій, які відрізняються від інших популяцій того самого виду одним або небагатьма варіантами ознак, становить ***підвид***.

Популяція (від лат. *популюс* – народ, населення) – група організмів, здатна до сталого самовідтворення (як статевого так і нестатевого), які тривалий час мешкають на одній території та частково чи повністю відокремлені від організмів інших подібних угруповань, з представниками яких потенційно можливий генетичний обмін.
Генофонд – сукупність усіх генних варіацій (алелів) певної популяції.

Наявність популяцій у природі пов'язана з тим, що оптимальні умови існування нерівномірно розподілені по території, на якій мешкає вид. Отже, в тих частинах ареалу виду, де умови життя більш сприятливі – густота особин буде вищою, там формуються популяції. Але існують і ділянки, де необхідні умови існування відсутні – вони можуть відокремлювати популяції.

Унаслідок взаємодії популяції певного виду з комплексом усіх екологічних чинників середовища життя (як неживої природи, так і з особинами популяцій інших видів) формується власна **екологічна ніша**.

Екологічна ніша – це трофічне (визначається характером їжі, яка споживається) й просторове положення популяції певного виду в екосистемі. Вона формується внаслідок взаємодії з популяціями інших видів та факторами неживої природи.

Отже, популяція становить собою цілісну структурно-функціональну одиницю у складі екосистеми. Вона зазвичай має всі потрібні умови для свого відтворення, тривалого існування і за допомогою адаптацій може пристосовуватися до змін умов існування.

Характеристики популяцій. Насамперед це **чисельність** – загальна кількість особин, які складають популяцію. Популяції з низькою чисельністю, наприклад великих за розмірами ссавців, можуть включати лише кілька десятків особин (наприклад, популяція бенгальського тигра – 20–30 особин; мал. 42.2, 1). Натомість популяції певних видів комах можуть складатися з десятків і сотень тисяч особин (мал. 42.2, 2).

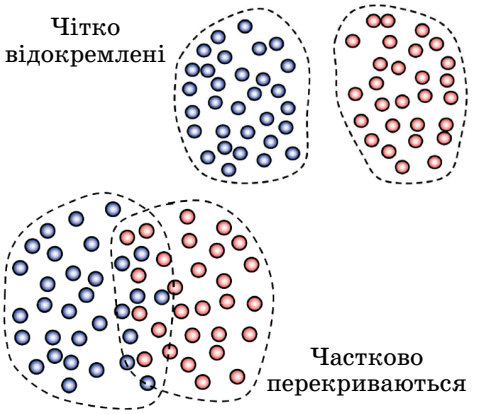
Мал. 42.2. Приклади тварин, які формують нечисленні та численні популяції: 1 – тигр бенгальський; 2 – сарана перелітна

Цікаво знати

1889 року була зареєстрована зграя сарани перелітної, яка охоплювала площу 6000 км^2 і налічувала мільярди особин.

Густота популяції – середня кількість особин, яка припадає на одиницю площі (у разі наземних екосистем) або об'єму (водні екосистеми). З іншого боку, кожна популяція займає певну ***площу*** або ***об'єм***.

Просторова структура популяції – характер розподілу особин популяції по території, яку вона займає, що дає змогу найповніше використовувати ресурси середовища життя. В одних випадках вони можуть рівномірно розподілятись по території (наприклад, колонії пінгвінів), в інших – утворювати угруповання в межах популяції (зграї вовків, табуни оленів тощо).



Мал. 42.3. Ступінь відокремленості популяцій певного виду

За наявності значних географічних перешкод різні популяції одного виду можуть бути майже повністю відокремлені одна від одної (популяції риб з різних озер). Якщо територія, яку займає вид, більш або менш однорідна, то межі між окремими популяціями зазвичай виражені нечітко (популяції гризунів, наприклад бабаків, що мешкають у степах і пустелях) (мал. 42.3).

Вікова структура популяції визначається розподілом її особин за віковими групами. Це дуже важливий показник стану популяції. Так, різке скорочення частки

нестатевозрілих особин може свідчити про можливе зниження чисельності популяції в майбутньому, коли ці особини стануть статевозрілими й залишать нечисленних нащадків.

Статева структура популяції визначається співвідношенням особин різних статей: у тварин – самців і самок (*пригадайте* явище успадкування, зчеплене зі статтю, і спробуйте пояснити переважання особин певної статі у популяціях тварин певного виду).

Генетична структура популяції. Кожна популяція має притаманний їй генофонд, що сформувався внаслідок більш або менш вільного схрещування між її особинами, а також завдяки обміну спадковою інформацією з іншими популяціями (наприклад, унаслідок міграцій особин з популяції в популяцію; *поміркуйте*, як може відбуватись обмін спадковою інформацією між різними популяціями рослин). Різні популяції одного виду можуть відрізнятись як за набором алельних генів, так і за частотою зустрічальності популяцій у окремих алельних генів та їхніх поєднань.

На генофонд популяції можуть впливати інтенсивні міграції особин з популяції в популяцію та мутаційний процес, що призводить до появи нових алелів певних генів. Однією з причин дрейфу генів є ***популяційні хвилі*** – періодичні або неперіодичні коливання чисельності особин у популяції. Наприклад, у разі зниження чисельності популяції можуть переважно вимирати особини з певними поєднаннями алельних генів. Натомість частота зустрічальності інших алелів може різко зростати.

Унеможливлення обміну спадковою інформацією між окремими популяціями – їхня ізоляція – зумовлює те, що генофонд таких популяцій із часом буде дедалі більше відрізнятися. Це створює передумови для виникнення нових підвидів і видів.

Ключові терміни та поняття: **синтетична теорія еволюції, екологічна ніша.**

Перевірте здобуті знання

1. На чому базуються еволюційні погляди, які мають назву «сальтаціонізм»? 2. Які основні положення синтетичної теорії еволюції? 3. Що таке популяція? Які її основні характеристики? 4. Що таке структура популяції? Які типи структури популяції ви знаєте? 5. Що собою становить генофонд популяції? 6. Які чинники можуть впливати на зміни генофонду популяцій? Схарактеризуйте їх.

Поміркуйте. Чому існування видів у вигляді системи популяцій є необхідною передумовою виникнення нових видів?

§43. ВИДОУТВОРЕННЯ. ОСНОВНІ НАПРЯМИ ЕВОЛЮЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ

Пригадайте, що таке вид. Що таке каріотип? Що таке ареал?

Вид та його критерії. *Пригадаймо*: **вид** – це сукупність популяцій, що подібні між собою за будовою, процесами життєдіяльності, положенням в екосистемах (кожен вид в екосистемі займає певну екологічну нішу), населяють певну частину біосфери (ареал), вільно схрещу-

ються між собою (якщо їм притаманне перехресне запліднення) і дають плодючих нащадків. З погляду систематики, вид є основною систематичною одиницею (*поміркуйте* чому).

Синтетична теорія еволюції базується на ***біологічній концепції виду***. Основні її положення такі:

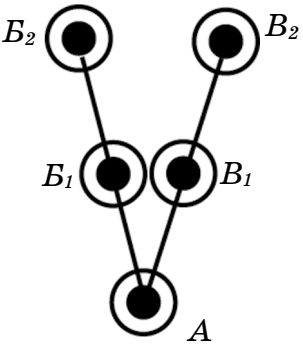
- особини одного виду становлять певну генетичну єдність, оскільки мають подібний набір генів (геном), проте вони можуть відрізнятися за набором алельних генів (генотипом);

Морфологічний критерій	базується на подібності в будові особин одного виду. Морфологічні ознаки, унікальні для певного виду (або таксону вищої категорії: роду, родини тощо), називають діагностичними. На цьому критерії ґрунтуються визначники організмів
Фізіологічний критерій	враховує подібність та відмінності в процесах життєдіяльності організмів одного чи різних видів; враховує здатність або нездатність організмів схрещуватись між собою та залишати плодючих нащадків
Біохімічний критерій	враховує особливості будови і складу макромолекул (насамперед нуклеїнових кислот білків) та перебігу певних біохімічних реакцій, характерних для особин даного виду. Наприклад, близькі види, які мають різний набір генів, відрізняються і за білковим складом
Генетичний критерій	базується на тому, що особини одного виду мають подібний геном, тоді як особини різних, навіть близьких видів – відмінний. Що більш споріднені види, то більше в них спільних послідовностей нуклеотидів
Екологічний критерій	пов'язаний з тим, що кожен вид в екосистемі займає власну екологічну нішу; два види тривалий час не можуь займати в екосистемі одну екологічну нішу
Географічний критерій	базується на тому, що популяції певного виду охоплюють певну частину біосфери – ареал, який відрізняється від ареалів близьких видів

Мал. 43.1. Основні критерії виду. ***Завдання.*** *Поміркуйте, чому для встановлення видової належності організмів потрібно спиратись не на один певний критерій, а на весь їхній комплекс. Яким критеріям виду нині приділяють основну увагу? Чому?*

- у природі різні види не схрещуються між собою; якщо ж гібридизація і відбувається, то нащадки здебільшого не здатні до розмноження;
- популяція є ***елементарною одиницею еволюції***, оскільки в ній відбуваються усі мікроеволюційні процеси (спадкова мінливість, популяційні хвилі, природний добір, ізоляція).

Належність особин до певного виду визначають за певними критеріями – характерними для особин цього виду ознаками та властивостями, серед яких подібні особливості будови та процесів життєдіяльності, вимоги до умов середовища життя, подібний геном тощо (мал. 43.1).



Мал. 43.2. Схема, що ілюструє процес дивергенції: А – предковий вид; $Б_1$, $Б_2$, $В_1$, $В_2$ – види-нащадки

Механізми видоутворення. Одним з видів еволюційного процесу є ***видоутворення*** – зміни видів у часі, які можуть призвести до виникнення нових видів. Раніше ми згадували, що передумовою видоутворення є зміни в генофонді окремих популяцій або груп популяцій, що забезпечує їхню репродуктивну ізоляцію.

Тривала **внутрішньовидова ізоляція** призводить до того, що окремі популяції можуть еволюціонувати незалежно від інших. При цьому відбуваються зміни їхнього генофонду.

Видоутворення може відбуватися різними шляхами, найчастіше внаслідок дивергенції, коли від вихідної батьківської форми виникають два або більше нових видів-нащадків. Поняття ***дивергенція*** ввів Ч. Дарвін: під цим він розумів явище розходження ознак у нащадків спільного предка як наслідок пристосувань до різних умов довкілля (мал. 43.2).

Процес дивергенції не тільки пояснює появу нових видів у процесі еволюції, а й поступове збільшення їхньої кількості, адже один предковий вид може дати початок певній кількості дочірніх.

Видоутворення за допомогою дивергенції є наслідком ізоляції. Відповідно до її типів розрізняють географічне та екологічне видоутворення.

1

а

б

2

Мал. 43.3. Приклади географічного видоутворення: 1 – різні види в'юрків островів Галапагоського архіпелагу: зверніть увагу, що різні види цих пташок відрізняються за формою дзьоба внаслідок адаптації до споживання різної їжі; 2 – бобри європейський (а) та канадський (б)

Географічне видоутворення відбувається внаслідок просторової ізоляції популяцій предкового виду. Його прикладів існує дуже багато. Це і класичні спостереження Ч. Дарвіна на Галапагоському архіпелазі за різноманіттям дрібних горобцеподібних пташок – в'юрків (мал. 43.3, 1). Він помітив, що на кожному з островів цього архіпелагу мешкає свій вид цих птахів. Ці види досить близькі між собою і з видом, який мешкає на материковій частині Південної Америки, біля берегів якої розташовані острови архіпелагу. Ч. Дарвін пояснив це явище тим, що материковий вид свого часу розселився на острови архіпелагу, де в умовах ізоляції, внаслідок пристосувань до певних умов того чи іншого острова, предковий вид дав початок характерним для кожного острова різним видам.

Ще один приклад. На території Євразії та Північної Америки мешкають два близькі види бобрів: бобер європейський поширений на території Євразії, тоді як бобер канадський – Північної та Центральної Америки (мал. 43.3, 2). Вважають, що поява цих видів пов'язана з тим, що порівняно недавно (кілька сотень тисяч років тому) Азія та Північна Америка були з'єднані суходільним містком, і на їх спільному терені мешкав один вид бобрів. Після утворення Берингової протоки внаслідок географічної ізоляції цей вид дав початок двом самостійним видам.

Мал. 43.4. Види синиць, які могли виникнути шляхом розділення екологічних ніш

Екологічне видоутворення відбувається внаслідок появи різних форм екологічної ізоляції у межах батьківського ареалу:

- виникнення нових видів у результаті кратного збільшення числа хромосомних наборів (поліплоїдизації);
- виникнення репродуктивної ізоляції особин унаслідок хромосомних перебудов;
- гібридизація з наступним подвоєнням числа хромосом;
- виникнення нових видів через розділення екологічних ніш.

Наведемо приклади екологічного видоутворення. Відомо кілька близьких видів синиць (мал. 43.4), які добувають подібну або різну їжу на різних горизонтах крон дерев або на землі. Тим самим кожен з них займає свою екологічну нішу. Жаба їстівна (мал. 43.5) виникла унаслідок гібридизації ставкової та озерної жаб близько 5 тис. років тому. В африканському озері Вікторія, яке утворилося 12 тис. років тому, мешкає понад 500 видів рибцихлід, які відрізняються одне від одного за будовою, способом життя, поведінкою та низкою інших ознак. Молекулярно-генетичний аналіз показує, що всі вони походять від спільного предка (мал. 43.6).

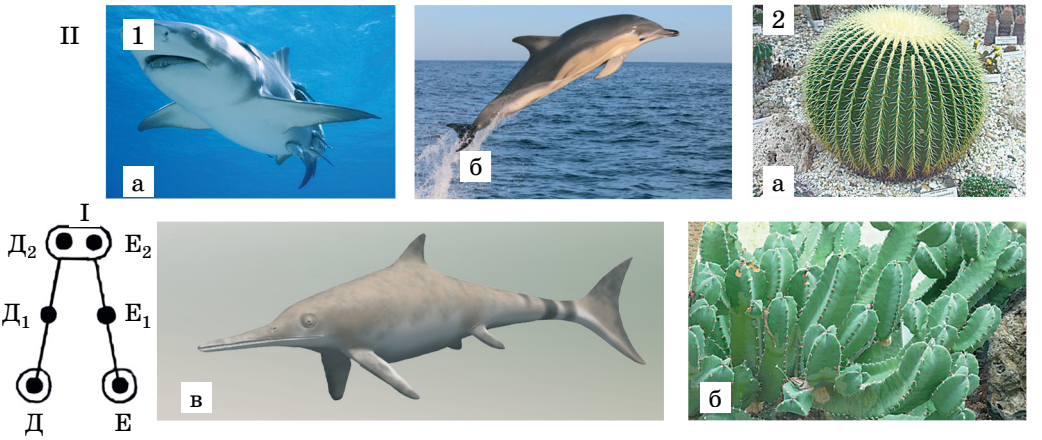
Мал. 43.5. Жаба їстівна: вид, який виник унаслідок гібридизації ставкової та озерної жаб

Мал. 43.6. Різні види цихлід озера Вікторія, які виникли від спільного предка

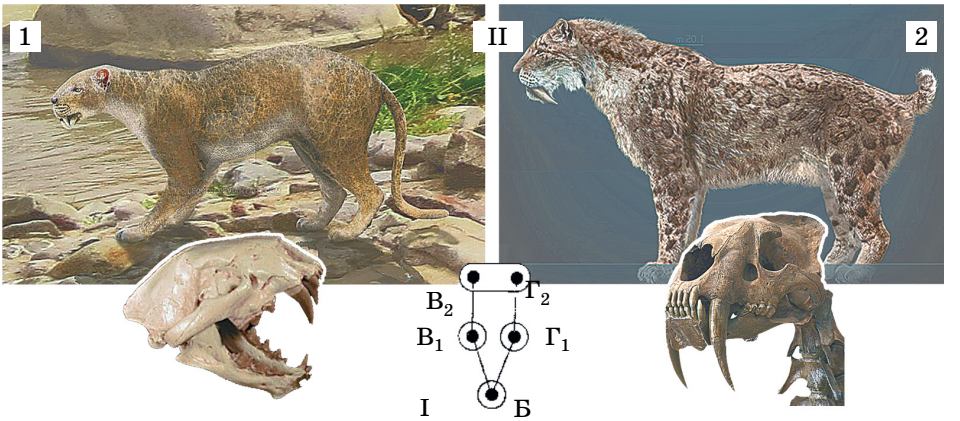
Напрями еволюційного процесу. Ви вже знаєте, що одним з основних напрямів еволюції є дивергенція. Іншими напрямами еволюційного процесу є конвергенція та паралелізм.

Конвергенцію спостерігають, коли неспоріднені організми опиняються в подібних умовах існування. Тому в них незалежно один від одного можуть формуватися подібні адаптації (мал. 43.7, I). Так, у зубатих китів (клас Ссавці) унаслідок пристосувань до активного полювання виникла подібна до акул (клас Хрящові риби) форма тіла, а їхні передні кінцівки зовні нагадують плавці. Подібний вигляд мали й викопні хижі плазуни – іхтіозаври (мал. 43.7, II, 1). До стеблових сукулентів відносять як кактуси, так і деякі молочаї, хоча ці рослини належать до різних порядків класу Дводольні (мал. 43.7, II, 2).

Хоча більшість видів утворилися шляхом дивергенції, в подальшому такі дочірні види могли опинитися в подібному за умовами прожи-



Мал. 43.7. I. Схема, що ілюструє процес конвергенції (Д та Е – предкові види; $Д_1$, $Д_2$ та $Е_1$, $Е_2$ – види-нащадки). II. Приклади конвергенції: 1 – активні хижаки – мешканці водойм: а – біла акула; б – дельфін-білобочка; в – іхтіозавр; 2 – стеблові сукуленти: а – кактус; б – молочай палеотропіс



Мал. 43.8. I. Схема, що ілюструє паралелізм: від предкового виду Б шляхом дивергенції виникають дочірні види $В_1$ та $Г_1$, які можуть опинятися в подібних умовах існування та розвиватися незалежно один від одного. II. 1. Диніктис – представник вимерлого роду вимерлої родини Німравіди (так званих несправжніх шаблезубих тигрів). 2. Смілодон – представники цього вимерлого роду шаблезубих котів (родина Котячі) мешкали 2,5 млн – 10 тис. років тому на території Північної та Південної Америки

вання середовищі та незалежно один від одного пристосовуватися до нього. Отже, й адаптації до такого середовища в них можуть відбуватися незалежно один від одного – паралельно (мал. 43.8, I). Наведемо такий приклад. Серед викопних представників родини Котячі відомі так звані шаблезубі види (мал. 43.8, II, 1, 2). Ці хижі тварини мешкали на території Північної Америки, за розмірами нагадували сучасну рись, мали довгий хвіст. Потужні ікла давали змогу цим хижакам полювати на велику здобич. Отже, у представників двох вимерлих родів з різних родин ряду Хижі, які походять від спільного предка, сформувалися подібні ознаки – потужні ікла як адаптація до полювання на велику здобич. Цей напрям еволюції має назву *паралелізм*.

Паралелізм – це виникнення подібних ознак на спільній генетичній основі.

Явище паралельної еволюції слід відрізняти від конвергенції. Паралелізм завжди починається з процесу дивергенції. У разі паралельної еволюції подібні ознаки формуються незалежно у близькоспоріднених груп організмів, тобто таких, які мають багато спільних груп генів. Тому в генофондах споріднених видів можуть з'являтися подібні мутації, на основі яких формуються подібні ознаки.

Ключові терміни та поняття: **видоутворення, дивергенція, конвергенція, паралелізм.**

Перевірте здобуті знання

1. У чому полягає біологічна концепція виду? 2. Яке значення має репродуктивна ізоляція для видоутворення? 3. Які відмінності між географічним та екологічним видоутворенням? 4. Чи може видоутворення відбуватись без дивергенції? Відповідь аргументуйте. 5. Що таке конвергенція? Наведіть при-

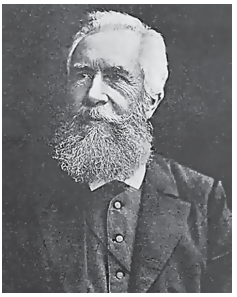
клади конвергентної еволюції. 6. Схарактеризуйте паралелізм як напрям еволюції.

Поміркуйте. У якому випадку дочірні види, що походять від спільного предка, будуть більше схожі між собою: у разі географічного або в разі екологічного видоутворення? Відповідь обґрунтуйте.

§44. РОЛЬ РІЗНИХ НАУК В ОБҐРУНТУВАННІ ТЕОРІЇ ЕВОЛЮЦІЇ

Пригадайте, що таке дивергенція, конвергенція, атавізми. Що таке біосфера? Які особливості будови та функцій хлоропластів та мітохондрій? Які види називають «екологічно пластичними» та «екологічно непластичними»? Що вивчає молекулярна генетика?

Залучати дані різних наук для підтвердження реальності процесу еволюції та з'ясування напрямів еволюції окремих груп організмів уперше запропонував видатний німецький учений **Е. Геккель** (мал. 44.1). Саме його вважають засновником філогенетичного напряму в еволюційній теорії.

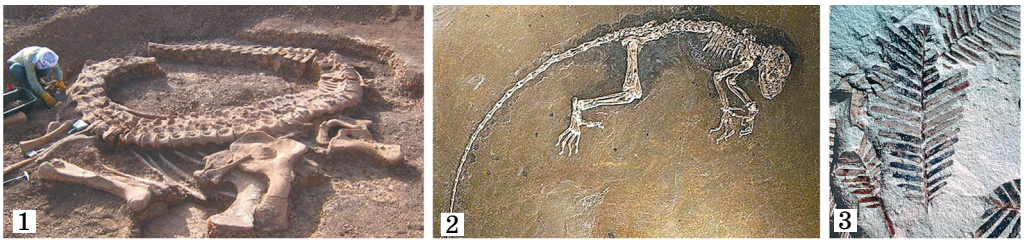


Мал. 44.1. **Ернст Генріх Геккель** (1834–1919): видатний німецький біолог, один з авторів біогенетичного закону, автор терміна «екологія»; перший запропонував зіставляти дані різних наук для встановлення родинних зв'язків між різними групами організмів; розробив спосіб графічного відображення історичного розвитку певних груп організмів у вигляді філогенетичних дерев

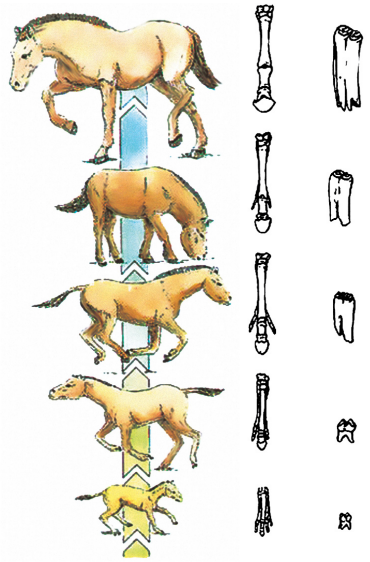
Філогенез (від грец. *філон* – рід та *генезис* – походження) – це шляхи історичного розвитку як окремих систематичних груп, так і всієї живої матерії.

Для з'ясування філогенезу певної систематичної групи Е. Геккель запропонував зіставляти дані трьох біологічних наук: палеонтології, порівняльних анатомії та ембріології.

Палеонтологія – наука про організми, які мешкали в колишні геологічні періоди. Учені-палеонтологи знаходять рештки таких організмів у вигляді скам'янілостей, відбитків у шарах вугілля, сліди їхньої життєдіяльності тощо (мал. 44.2). Вони реконструюють їхній зовніш-



Мал. 44.2. Палеонтологічні дослідження: 1 – розкопки решток викопних організмів; 2 – скам'янілий скелет динозавра; 3 – відбитки давніх рослин



Мал. 44.3. Філогенетичний ряд коня.
Завдання. *Проаналізуйте зміни, які відбувалися із цими тваринами у процесі еволюції*

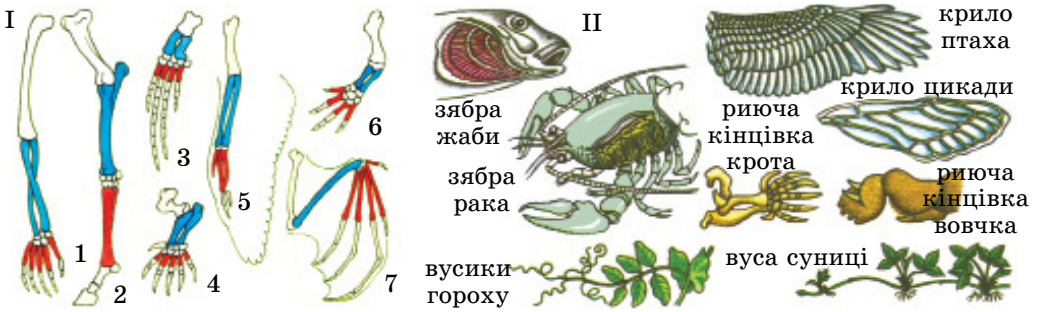
ній вигляд (див мал. 2.1), встановлюють час, коли жили ці організми, визначають їхнє систематичне положення, намагаються з'ясувати особливості біології (середовище життя, спосіб живлення, особливості розмноження та ін.).

Викопні та сучасні форми організмів учені зв'язують в єдиний ***філогенетичний ряд*** – послідовність історичних змін організмів у межах певної систематичної групи. Вивчаючи такий ряд організмів, можна простежити зміни, які в них відбувалися, починаючи від предкових форм і аж до сучасних (мал. 44.3). Так, сучасні однопалі коні походять від п'ятипалих невеликих предків, які мешкали в лісах 60 –70 млн років тому. Зміни клімату змусили предків сучасного коня адаптуватись до нового середовища – відкритих просторів, де їм доводилось долати значні відстані в пошуках їжі та тікаючи від хижаків. Тому їхня еволюція супроводжувалася зменшенням числа пальців на кінцівках від п'яти до одного (*поміркуйте* чому), видовженням кінцівок, збільшенням розмірів тіла, змінами форми черепа тощо.

Порівняльна ембріологія – наука, що досліджує особливості зародкового розвитку різних груп організмів; виявляє риси подібності та відмінності в зародковому розвитку споріднених груп організмів.

Мал. 44.4. Біогенетичний закон базується на порівнянні послідовних стадій розвитку: 1 – риби; 2 – саламандри; 3 – черепахи; 4 – пацюка; 5 – людини

Вивчаючи особливості індивідуального розвитку (онтогенезу) різних груп тварин, Е. Геккель та інший німецький учений Ф. Мюллер (1822–1897) встановили зв'язки між історичним (філогенезом) та індивідуальним розвитком (онтогенезом) певних груп організмів. Сформульований ними ***біогенетичний закон*** стверджує, що індивідуальний розвиток (онтогенез) будь-якого організму – це вкорочене і стисле повторення історичного розвитку (філогенезу) цього виду. Так, аналіз фаз зародкового розвитку різних класів хребетних показує наявність у всіх них на певних стадіях розвитку зябрових щілин, хорди, двокамерного серця тощо (мал. 44.4). Це, на думку Е. Геккеля та Ф. Мюллера, має свід-



Мал. 44.5. Приклади гомологічних (I): передні кінцівки: мавпи (1); коня (2); кита (3); крота (4); птаха (5); саламандри (6); кажана (7) (завдання: укажіть функції цих кінцівок); та аналогічних (II) органів

чити про походження наземних хребетних від рибоподібних предків. Отже, на більш ранніх етапах онтогенезу ніби відтворюються ознаки більш давніх предків, на завершальних – найбільш близьких.

Порівняльна анатомія вивчає особливості будови тіла, органів, їхніх систем різних систематичних груп організмів та визначає закономірності їхніх змін у процесі еволюції.

Завдяки дослідженням у галузі порівняльної анатомії та ембріології було розроблено поняття про аналогічні та гомологічні органи, рудименти та атавізми. ***Гомологічні*** (від грец. *гомологія* – відповідність) ***органи*** мають спільне походження і тому в них подібний загальний план будови. Прикладами гомологічних органів є передні кінцівки різних представників ссавців або видозміни підземних пагонів квіткових рослин (цибулина тюльпана, бульбоцибулина шафрану, кореневище конвалії, стеблова бульба картоплі) (мал. 44.5, I).

Аналогічні (від грец. *аналогія* – подібність) ***органи*** – це зовнішня подібність будови органів, які виконують однакові функції. Вони мають різне походження і тому – різний план будови. Приклади аналогічних органів наведені на малюнку 44.5, II.

Рудименти (від лат. *рудиментум* – зачаток) – структури або органи, недорозвинені в особин певного виду внаслідок втрати своїх функцій протягом їхнього історичного розвитку (мал. 44.6). Вони є в усіх особин певного виду (наприклад, залишки тазового поясу в китів, недорозвинені очі кротів, рудименти листків у вигляді лусочок на кореневищі конвалії тощо; мал. 44.6). Рудименти або не виконують жодних функцій, як-от рудимент третьої повіки – мигальної перетин-

Мал. 44.6. Приклади рудиментів: 1 – рудименти листків кореневища конвалії; 2 – дзижчальця – рудиментарна друга пара крил у мух; 3 – рудиментарна мигальна перетинка у ссавців

ки – у ссавців, або беруть на себе нові функції. Наприклад, дзижчальця мух (рудимент другої пари крил) втрачають функцію польоту, але допомагають зберігати рівновагу під час польоту (мал. 44.6, 2).

Раніше ми згадували, що в окремих представників виду можуть проявлятись атавізми – варіанти ознак, притаманних їхнім предкам (див. мал. 40.4).

У гомологічних органів подібний план будови тому, що вони мають спільне походження. Нащадки спільного предка, потрапляючи в різні умови мешкання, адаптовувалися до нових умов, тому зовнішній вигляд гомологічних органів змінювався: так, ласти кита пристосовані до плавання, крило кажана – для польоту, передня кінцівка крота – для прокладання ходів у ґрунті. Отже, гомологічні органи виникають шляхом дивергенції, їхня наявність свідчить про спорідненість організмів.

Аналогічні органи не мають подібного плану будови тому, що не мають спільного походження. Вони зовнішньо подібні, оскільки такі неспоріднені організми мешкають в однакових середовищах. Це приклад конвергенції. Так, і кажани, і комахи здатні до польоту. Але крила кажана – це видозмінені передні кінцівки, а крила комахи – вирости покривів грудних сегментів.

Отже, вивчення рудиментів та атавізмів є необхідним етапом під час з'ясування родинних зв'язків різних груп організмів, тобто спільності їх походження.

Молекулярна біологія та генетика. Порівнюючи послідовності нуклеотидів молекул ДНК або РНК різних видів за ступенем їхньої подібності, учені з'ясовують ступінь спорідненості різних видів. Два види, які походять від спільного предка (два види одного роду), мають подібніші послідовності нуклеотидів, аніж види, які належать до близьких, але різних родів. У генетиці людини цей метод застосовують для з'ясування родинних зв'язків між окремими людьми.

Цікаво знати

Методи встановлення послідовності нуклеотидів молекул ДНК дістали назву ***секвенування ДНК***. Із цими методами тісно пов'язаний метод молекулярної біології, який має назву *полімеразна ланцюгова реакція* (метод ПЛР). Цей метод дає змогу досить швидко збільшувати кількість певних фрагментів молекул ДНК або РНК, які цікавлять дослідників. Метод ПЛР також широко використовують для діагностики певних інфекційних захворювань (наприклад, коронавірусу), встановлення батьківства тощо.

Ключові терміни та поняття: філогенетичний ряд, біогенетичний закон.

Перевірте здобуті знання

1. Що таке філогенез і філогенетичний ряд? 2. Про що твердить біогенетичний закон? 3. Які органи називають гомологічними та аналогічними? 4. Що таке рудименти? 5. Яке значення для еволюційної теорії мають дані молекулярно-генетичних досліджень?

Поміркуйте. З допомогою вчителя/вчительки наведіть приклади гомологічних та аналогічних органів у тварин і рослин, обґрунтуйте свої думки.

§45. СВІТОГЛЯДНІ ТА НАУКОВІ ПОГЛЯДИ НА ПОХОДЖЕННЯ ТА ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК ЖИТТЯ

Пригадайте, чому популяцію вважають елементарною одиницею еволюції? У чому полягає внесок Карла Ліннея в розвиток біології? Які таксономічні категорії ви знаєте? Що таке гіпотеза, правило, закон, теорія в біології? Що таке дивергенція?

Ми розглянули дані різних біологічних наук, які доводять реальність еволюційного процесу, та дали змогу встановити основні напрями еволюції живої матерії на нашій планеті. Не виникає сумнівів, що основним напрямом еволюції було ускладнення організації організмів.

Поступовий розвиток живої матерії від простіших форм до складніших зумовив взаємозв'язок усіх рівнів живого на нашій планеті. Ідею про це висловив видатний український учений **В. І. Вернадський** (мал. 45.1). Таким чином, нижчі рівні організації живої матерії входять складовими елементами до вищих: молекули – до складу клітин, клітини – до складу тканин та організмів, організми – до складу популяцій та видів, види – екосистем, окремі екосистеми – до складу єдиної глобальної екосистеми – біосфери.

Мал. 45.1. **Вернадський Володимир Іванович** (1863–1945): видатний український учений, створив вчення про біосферу та ноосферу, засновник нової науки – біогеохімії, яка вивчає діяльність різних груп організмів з перетворення оболонок нашої планети. Один із засновників Української академії наук (нині – Національна академія наук України) та перший її президент. Засновник Національної бібліотеки України (яка носить його ім'я)

Якщо елементарною одиницею еволюції вважають популяцію організмів, то середовищем еволюційних змін – екосистеми, у яких усі популяції взаємопов'язані трофічними, просторовими та іншими зв'язками і тому впливають одна на одну. Мікроеволюційні процеси, які відбуваються в популяціях, можуть спричиняти зміни їхнього генофонду, що створює передумови для видоутворення – виникнення нових видів. У свою чергу, видоутворення зазвичай відбувається за допомогою дивергенції – походженням нащадків від спільного предка. Завдяки цьому вчені встановлюють систематичні групи організмів, які включають усіх нащадків спільного предка (разом з вимерлими в процесі еволюції) (мал. 45.2). Такі групи називають *монофілетичними*.

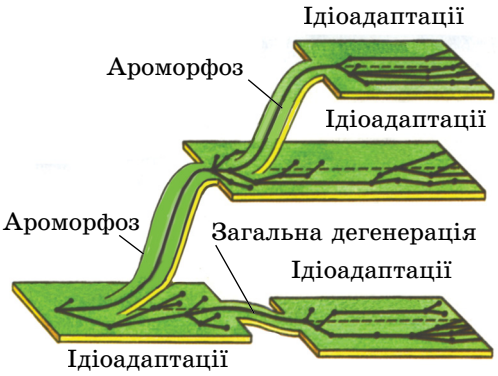
Мал. 45.2. Тип Членистоногі – приклад монофілетичної групи тварин. ***Завдання.*** *З допомогою вчительки/вчителя назвіть групи, до яких належать зображені на малюнку членистоногі*

Пригадаймо: усі екологічні фактори, які діють на організми та їхні угруповання, є водночас і факторами еволюції. У процесі еволюції виживають зазвичай найбільш адаптовані особини, гірше адаптовані – гинуть.

Основні напрями еволюційного процесу. У 20-х роках XX ст. О. М. Сєверцов (див. мал. 42, 1) розробив учення про біологічні прогрес і регрес як основні напрями еволюції. ***Біологічний прогрес*** є наслідком формування досконалих адаптацій організмів до умов існування. Проявом біологічного прогресу є переважання в популяціях народжуваності над смертністю. Учений наводив такі показники біологічного прогресу: збільшення чисельності особин; розширення ареалу; утворення нових підгруп усередині певної систематичної групи.

Виникнення нових адаптацій до середовища життя зменшує смертність, унаслідок чого чисельність виду зростає. Підвищення густоти популяцій посилює внутрішньовидову конкуренцію. Це змушує особин виду розселятись, розширюючи ареал. Унаслідок цього утворюються нові популяції та підвиди. Наприклад, у стані біологічного прогресу в нинішній час перебувають такі види: ворона сіра, тарган рудий, заєць сірий, сосна звичайна, пирій; серед таксонів високого рангу – покритонасінні, комахи, черевоногі молюски, птахи, ссавці тощо.

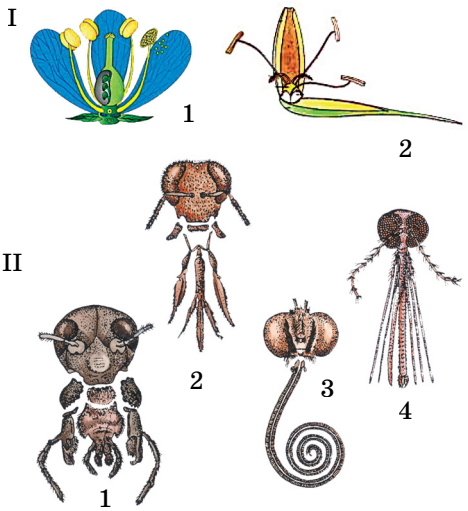
На відміну від біологічного прогресу, ***біологічний регрес*** є наслідком неспроможності певної групи пристосуватися до змін довкілля. Він проявляється у зменшенні чисельності організмів певної систематичної групи, звуженні ареалу та може призвести до її вимирання. Наприклад, з ряду хоботних, що колись процвітав, дотепер лишилось тільки два види слонів – африканський та індійський, які перебувають під загрозою повного вимирання.



Мал. 45.3. Шляхи досягнення біологічного прогресу

Біологічний прогрес може бути досягнутий різними шляхами: ускладненням організації (ароморфоз), морфологічними змінами без підвищення чи зниження загального рівня організації (ідіоадаптації) та спрощенням організації (загальна дегенерація) (мал. 45.3).

Ароморфоз – еволюційне перетворення, яке підвищує рівень організації організму в цілому і відкриває нові можливості для засвоєння нових середовищ життя. Наприклад, поява чотирикамерного серця сприяла розподілу крові на венозну та артеріальну й зумовила виникнення теплокровності. Завдяки цьому температура тіла у птахів і ссавців стала менше залежати від температури довкілля. Утворення квітки в покритонасінних сприяло урізноманітненню способів запилення, формуванню стінки плоду, що захищають насінини, процесу подвійного запліднення тощо.



Мал. 45.4. Приклади ідіоадаптацій: I – будова квітки комахозапильних (1) та вітрозапильних (2) рослин; II – ротові органи комах: гризучого типу (1), пристосовані для споживання твердої їжі; гризучо-лижучого типу (2) – пристосовані для злизування рідкої їжі; сисного типу (3) – пристосовані для живлення нектаром; колючо-сисного типу (4) слугують для проколювання покривів рослин, тварин і людини та висмоктування у рослин – соків, у тварин і людини – крові

Ідіоадаптація – зміни в будові організму, що мають характер пристосування до певних умов та не змінюють рівня його організації. Приклади ідіоадаптацій – це різноманітна будова квіток покритонасінних, пристосованих до різних способів запилення (комахами, вітром тощо); різноманітні ротові органи комах, пристосовані до споживання різної їжі та ін. (мал. 45.4).

Загальна дегенерація – явище спрощення організації організмів у процесі еволюції. Воно характерне для паразитів і малорухливих організмів (*пригадаймо*: зникнення травної системи у стьожкових червів, відсутність голови у двостулкових молюсків тощо).

Проблема виникнення життя на нашій планеті й натепер лишається однією із центральних у сучасній науці. Досі не існує єдиної теорії, яка б однозначно дала відповідь на це питання й до того ж навела беззаперечні докази. Є низка гіпотез, кожна з яких намагається пояснити появу живої матерії на планеті Земля зі своїх позицій.

Згідно з **креаціонізмом** (від лат. *креаціоніс* – творіння) неорганічний світ і всі живі істоти, включно з людиною, створені Богом. Погляди креаціоністів ґрунтуються на текстах, викладених у Священних книгах: Біблії (у християнстві), Торі (в іудаїзмі), Корані (мусульманство). Сучасний креаціонізм характеризується різними напрямами, частина яких не визнає процесу еволюції, інші ж вважають, що еволюція є засобом здійснення Богом його мети.

Гіпотези абіогенезу (гіпотези біохімічної еволюції – спонтанного зародження життя з неорганічної матерії) відомі ще з античних часів. Їх висували вчені стародавніх цивілізацій Китаю, Греції, Єгипту тощо ще тисячі років тому. Зокрема, давньогрецький філософ **Аристотель** вважав, що живі істоти постійно виникають з мулу, гною тощо, частинки яких містять «активний зародок», що за відповідних умов може дати початок організму.

Погляди щодо можливості самозародження життя існували тривалий час. Так, голландський дослідник Я. ван Гельмонт (1577–1644) описав дослід з виникнення («мимовільного зародження») мишей з пропотілої сорочки в темній шафі зі жменею пшениці.

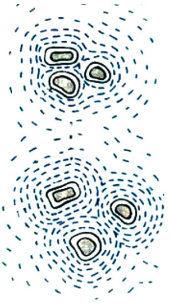
Багато вчених дослідним шляхом намагалися довести неможливість самозародження життя, але їхні експерименти вважали непереконливими. Лише в 1860–1862 рр. видатний французький біолог **Луї Пастер** експериментально довів неможливість самозародження життя на нашій планеті в сучасних умовах (мал. 45.5). Він сконструював оригінальний прилад, що мав вигляд колби, до гирла якої була приєднана S-подібна трубка. У колбу наливали прокип'ячений поживний бульйон. На відміну від посудин іншої форми, де невдовзі після розміщення бульйону на його поверхні спостерігали «самозародження життя» – з'являлася бактеріальна плівка, у пастерівській колбі бульйон тривалий час залишався стерильним. Це пояснювалося тим, що незважаючи на те, що повітря вільно доходило до поверхні бульйону, спори та цисти бактерій осідали в S-подібній трубці і затримувалися там. Але варто було обмити бульйоном цю трубку, як на його поверхні розвивалася бактеріальна плівка. Отже, Л. Пастер остаточно довів неможливість самозародження життя на нашій планеті, за що йому 1862 р. було присуджено премію Французької академії наук.

Мал. 45.5. **Луї Пастер** (1822–1895) – видатний французький мікробіолог. Відкрив мікробіологічну суть процесів бродіння і збудників багатьох хвороб людини, став одним з основоположників таких наук, як мікробіологія та імунологія. Створив вакцину проти сибірки і розробив методику щеплення проти сказу. Його ім'я широко відоме завдяки створеній ним і названій пізніше на його честь технології пастеризації. Став першим директором Інституту мікробіології, заснованого в Парижі 1888 р. (згодом названий на його честь Інститутом Пастера). Після смерті Л. Пастера заступником директора інституту з 1905 р. працював наш видатний співвітчизник І. І. Мечников

Найбільш відомою з абіогенних гіпотез походження життя є ***біохімічна гіпотеза***, яку в 20-х роках XX ст. запропонували **О. І. Опарін** та **Дж. Холдейн**. Вони вважали, що біологічній еволюції передувала хімічна еволюція органічних речовин, яка тривала кілька сотень мільйонів років аж до часу виникнення перших живих істот. Як свідчать геологічні дані, первинна атмосфера Землі складалася з вуглекислого газу, метану, амоніаку, оксидів Сульфуру, сірководню та водяної пари. Вільний атмосферний кисень та озоновий екран були відсутні, і на поверхню суходолу та Світового океану падав активний потік космічного випромінювання, включно з ультрафіолетовими променями. Унаслідок високої вулканічної активності до океану та атмосфери з надр Землі постійно надходили різноманітні хімічні сполуки. В атмосфері Землі були часті грози, електричні розряди – блискавки – сягали поверхні первісного Світового океану. Все це створювало умови для перебігу хімічних реакцій між різними неорганічними сполуками, під час яких могли утворитися органічні речовини.

Органічні сполуки, утворені в первісному океані, збирались у скупчення, відокремлені водною оболонкою, – *коацерватні краплини* (мал. 45.6). Вони поводилися як відкриті системи: виявляли здатність

поглинати ззовні різні сполуки. Унаслідок цього розміри коацерватних краплин збільшувались, що нагадувало ріст клітин. У концентрованому розчині органічних речовин усередині коацерватних краплин могли відбуватись різні біохімічні процеси, що теоретично могло спричинити появу молекул, здатних до самовідтворення (таких як молекули нуклеїнових кислот). Гіпотеза Опаріна–Холдейна стверджує, що коацерватні краплини якось перетворились на гіпотетичні «доклітинні» біологічні системи, здатні до самоорганізації, – *протобіонти*. Від таких упорядкованих скупчень органічних сполук, у тому числі й біополімерів, могли виникнути первісні клітини – *протоклітини*.



Мал. 45.6. Біохімічна гіпотеза походження життя на Землі: схема утворення коацерватних краплин

Експериментально отримати примітивні клітини із скупчень органічних сполук у лабораторних умовах досі не вдалося. Тож і походження життя шляхом абіогенного синтезу органічних сполук залишається дискусійним, бо не має експериментального підтвердження.

Цікаво знати

Новий етап уявлень про самозародження та еволюцію життя на нашій планеті пов'язаний з ідеями так званого **світу молекул РНК**. Уперше їх висловив американський мікробіолог **Карл Річард Воуз** (1928–2012) і згодом розвинули британський хімік **Леслі Ілізер Орджел** (1927–2007) та американський фізик **Волтер Гілберт** (нар. 1932). Їхні уявлення базуються на тому, що молекули РНК можуть не тільки зберігати спадкову інформацію, а й виконувати функції ферментів. На базі скупчень молекул РНК, що виникли на певному етапі розвитку нашої планети, могли сформуватись асоціації молекул РНК, ДНК і білків. Такі асоціації могли відокремлюватись біологічними мембранами від зовнішнього середовища. На ранніх етапах зародження життя на Землі молекули РНК могли існувати автономно завдяки здатності до самоподвоєння та каталітичним властивостям. Виникнення нових мутацій могло спричинити появу молекул РНК, здатних каталізувати біосинтез певних білкових молекул. Після появи молекули ДНК почали виконувати функції спеціалізованих «зберігачів» спадкової інформації. Натомість за молекулами РНК залишилися функції посередників між ДНК та процесами синтезу молекул білків. Цікаво, що в деяких РНК-умісних вірусів, наприклад ВІЛ, молекули РНК слугують матрицею для синтезу молекул ДНК (чого не спостерігають ані в еукаріотів, ані у прокаріотів).

Гіпотези біогенезу базуються на поглядах, що жива матерія може походити лише від живої матерії. Прихильники цих гіпотез розглядають життя як особливу форму існування матерії, що існує стільки само часу, як і Всесвіт, тому їх ще називають *гіпотезами вічності життя*. Ці гіпотези не намагаються пояснити, як виникло життя, а стверджують лише про його позаземне походження.

Сучасні біогенні погляди мають назву ***гіпотези панспермії*** (від грец. *пан* – усе та *сперматос* – насіння). Уперше висловив думку про можливість занесення життя з космосу ще давньогрецький філософ

Анаксагор у V ст. до н. е. Гіпотезу панспермії сформулював шведський фізик **С. А. Арреніус** на початку XX ст., а розвинув український учений В.І. Вернадський. До її прихильників належить й один із відкривачів молекулярної структури молекули ДНК – біохімік **Ф. Крік**, а також багато інших.

Гіпотеза панспермії припускає, що спори прокаріотів можуть, не втрачаючи життєздатності, витримувати перебування у вакуумі при температурах, близьких до абсолютного нуля (–273,15 °С), жорстке радіаційне та ультрафіолетове опромінення, тобто умови космічного простору. Вони легко потрапляють у верхні шари атмосфери планет і завдяки мізерній власній масі можуть звідти потрапляти у відкритий космос.

Отже, у космосі присутні спори прокаріотів, які неначе дощем безперервно могли потрапляти на планети за умов відсутності щільної атмосфери. За сприятливих умов з них виходили активні форми прокаріотів різних видів, які утворювали первинні екосистеми нашої планети. У подальшому еволюція таких «первинних» видів відбувалася в різних напрямах відповідно до змін умов довкілля.

Ключові терміни та поняття: **біологічний прогрес, біологічний регрес, ароморфоз, ідіоадаптації, загальна дегенерація, креаціонізм, гіпотези абіогенезу та біогенезу.**

Перевірте здобуті знання

1. Що таке біологічний прогрес та біологічний регрес? 2. Якими шляхами може бути досягнутий біологічний прогрес? 3. Чим характеризуються ароморфози? 4. Назвіть характерні риси ідіоадаптацій. 5. Чим характеризується загальна дегенерація? 6. Що таке креаціонізм? 7. У чому полягає суть абіогенних гіпотез виникнення життя? 8. Які основні положення гіпотези панспермії?

Поміркуйте. На прикладі певних груп організмів (за вибором учительки/вчителя) визначте риси ароморфозів, ідіоадаптацій або загальної дегенерації в їхній організації. Свої висновки обґрунтуйте.

§46. ЕТАПИ ЕВОЛЮЦІЇ ЛЮДИНИ

Пригадайте ознаки, притаманні представникам ряду Примати. Що таке дивергенція? Що таке вища нервова діяльність, абстрактне мислення, перша та друга сигнальні системи? Що таке біологічний прогрес?

Походження людини. Одне з найзагадковіших питань, які цікавлять не тільки науковців, а й пересічних людей, – це походження виду Людина розумна (*Homo sapiens*). З погляду різних релігій, людина була створена Богом і залишається незмінною із часів акту творіння.

Проте ще з давніх часів учені помічали подібні риси організації сучасної людини та людиноподібних мавп. Так, К. Лінней, створюючи свою систему тваринного світу, на підставі подібності будови помістив людину в ряд Примати. Але, оскільки він вважав, що, як й інші види живих істот, людина створена Богом, то зазначив «Пам'ятай про свого Творця».

Інших поглядів дотримувався Ж.-Б. Ламарк. Він вважав людину, що перебуває на вищому щаблі еволюції, прямим нащадком мавподібних істот. Натомість Ч. Дарвін наголошував, що людина та людино-

подібні мавпи походять у колишні геологічні епохи від спільного предка.

Про походження людини від спільних з людиноподібними мавпами предків свідчать дані молекулярно-генетичних досліджень. Так, геноми людини та шимпанзе збігаються майже на 99 %. Досить близькі й каріотипи людини та шимпанзе: людина в диплоїдному наборі має 46 хромосом, тоді як шимпанзе – 48 (так само, як і горила).

Процес походження та еволюції людини має назву **антропогенез** (від грец. *антропос* – людина та *генезис* – походження). На відміну від еволюції інших видів приматів, еволюція Людини розумної має свої особливості: вона пов'язана з переходом до прямоходіння, здатністю до трудової діяльності, членороздільної мови та абстрактного мислення.

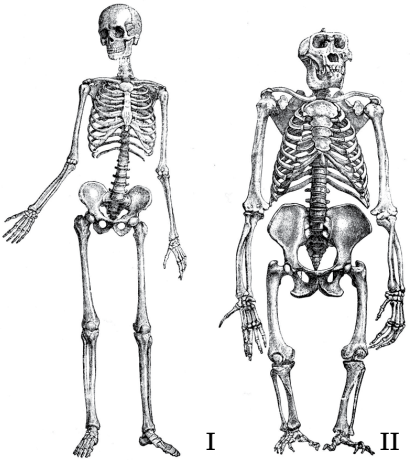
Здатність до прямоходіння позначилася на особливостях будови людини (мал. 46.1). Зокрема, збільшився об'єм мозкового відділу черепа, що пов'язано з прогресивним розвитком головного мозку. У сучасної людини менш потужні щелепи, зменшилися розміри надбрівних дуг та утворився підборіддєвий виступ, пов'язаний зі здатністю до членороздільної мови. Потиличний отвір у людини перемістився ближче до центру основи черепа, що дозволяє краще зберігати рівновагу у вертикальному положенні.

Цікаво знати

Маса головного мозку людиноподібних мавп становить у середньому: у шимпанзе – до 500 г, горили – 600 г. У дорослої людини середня маса головного мозку близько 1300–1400 г. Проте маса головного мозку в різних людей може варіювати в досить широких межах: наприклад, у відомого французького письменника Анатоля Франса вона становила 1017 г, а в англійського поета Джорджа Байрона – 2238 г.

У зв'язку з прямоходінням у сучасної людини стали потужнішими нижні кінцівки, масивнішими кістки тазового поясу, оскільки на нижні кінцівки припадає основна маса тіла. Стопа людини набула склепінчастої форми, що зменшує втомлюваність під час тривалого ходіння або під час бігу, зменшує струси під час стрибків.

Верхні кінцівки людини стали коротшими, порівняно з людиноподібними мавпами, оскільки відпала потреба спиратись на них під час пересування. Звільнення верхньої кінцівки від функції опори розширило її функціональні можливості й створило передумови для здійснення трудової діяльності.



Мал. 46.1. Порівняльна характеристика скелетів людини розумної (I) та горили (II). ***Завдання.*** *Уважно вивчіть малюнок і, користуючись текстом підручника, знайдіть відмінності в будові скелета людини та горили; поясніть їхнє значення*

Хребет у людини порівняно з мавпами набув S-подібної форми, що полегшує підтримання тіла у вертикальному положенні та зменшує поштовхи й струси головного мозку під час стрибків або падіння. Грудна клітка набула форми зрізаного конуса. Це, з одного боку, збільшило її об'єм, а з іншого – дозволило краще зберігати рівновагу під час прямоходіння.

Еволюція людини спочатку базувалася на тих самих біологічних закономірностях, що й еволюція інших мешканців нашої планети. Але рушійними силами антропогенезу були не тільки біологічні чинники, а й соціальні. Предки сучасної людини вели суспільний спосіб життя. Вони жили групами, колективно полювали, спільно захищалися від ворогів, виховували нащадків. Трудова діяльність згуртовувала членів первісного соціуму (тобто суспільства як цілісної соціальної одиниці). У процесі виготовлення знарядь праці члени соціуму більше спілкувалися між собою, а старші члени соціуму передавали свої знання молодшим: учили їх ефективно полювати, уникати зустрічі з хижаками, виготовляти знаряддя праці, добувати й підтримувати вогонь тощо.

У процесі еволюції людини – антропогенезу – біологічні чинники поступово втрачали своє значення, натомість помітно зростала роль чинників соціальних, які й зумовили формування виду Людина розумна як *біосоціальної істоти*.

Потреба у спілкуванні між собою сприяла появі членороздільної мови. Так на певних етапах еволюції людини, крім першої сигнальної системи, з'явилась і друга.

***Слово* – найважливіший засіб спілкування між людьми. Мова набула величезного значення в еволюції людини, вища нервова діяльність якої, на відміну від тварин, базується на тісних взаємодіях двох сигнальних систем: першої та другої.**

Здатність до членороздільної мови вплинула й на подальший прогресивний розвиток головного мозку людини, здатність до абстрактного мислення (*пригадайте*, що це таке).

Основні етапи еволюції людини. Досі тривають дискусії щодо можливого безпосереднього предка виду Людина розумна, оскільки не виявлено форми, які можна було б вважати перехідними між вимерлими видами роду Люди і видом Людина розумна. Тому можна лише розглянути основні етапи еволюції сучасної людини.

Найбільш близькими до роду Люди вчені вважають **австралопітеків** (від лат. *аустраліс* – південний та грец. *пітекос* – мавпа) (мал. 46.2). Рештки цих істот уперше знайдено 1924 р. на території Південної Африки (пустеля Калахарі). Вони мешкали близько 4,4–1,8 млн років тому. У будові черепа австралопіте-

Мал. 46.2. Австралопітек

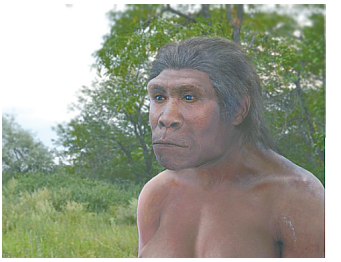
ків є риси, притаманні й сучасній людині: слабкий розвиток щелеп, відсутність масивних іклів, об'єм головного мозку – близько 530 см^3. Цим істотам було притаманне прямоходіння. Зріст здебільшого становив 120–140 см. Пізні австралопітеки могли самостійно виготовляти примітивні знаряддя праці: заточені камені, палиці тощо.

Питання, чи були австралопітеки безпосередніми предками роду Люди, досі залишається дискусійним. Багато дослідників розглядають австралопітеків як сліпу гілку еволюції, хоча й близьку до роду Люди.

Мал. 46.3. Людина вміла

Найдавнішим видом роду Люди вважають **Людину вмілу**. Цей вид з'явився 2,3 млн років тому, а вимер приблизно 1,4 млн років тому. Уперше рештки представників виду Людина вміла знайшли на території Танзанії (Східна Африка), а згодом – і в інших регіонах Східної та Південної Африки. Ці істоти були низькорослими (100–150 см заввишки), з масою тіла близько 30–50 кг (мал. 46.3). Середній об'єм головного мозку становив 650 см^3.

Людина вміла відрізнялася від австралопітеків прогресивнішою будовою тазового поясу, рук і ніг, зокрема, великий палець ніг був розташований паралельно іншим (*поміркуйте*, яке це має значення для прямоходіння). Прогресивна будова кисті розширювала функціональності руки, зокрема давала змогу виготовляти різні знаряддя праці та полювати. Здатність до трудової діяльності позитивно вплинула на розвиток розумових здібностей, перетворила людину вмілу на активного мисливця.



Мал. 46.4. Людина працююча

Іншими цікавими представниками роду Люди були Людина працююча та Людина прямоходяча. Ці два види виникли майже одночасно й мали подібні риси організації.

Людина працююча мешкала приблизно 1,8–1,3 млн років тому в Африці. Ріст цих істот становив близько 170 см (іноді – до 190 см), маса тіла – до 65 кг (мал. 46.4). У будові черепа, порівняно з людиною вмілою, було більше ознак, притаманних сучасній людині: кістки черепа були тоншими, зуби дрібнішими. Об'єм головного мозку в середньому становив 900 см^3 (варіювався в межах 700–1250 см^3). Людина працююча виготовляла досконаліші знаряддя праці, наприклад двосічне рубало, що й зумовило назву цього виду. Вважають, що істоти цього виду могли використовувати вогонь.

Мал.46.5. Людина прямоходяча

Людина прямоходяча з'явилася приблизно 1,9 млн років тому на території Східної Африки. Об'єм головного мозку цього виду коливався у межах 800–1200 см^3

(мал. 46.5). У будові черепа спостерігають такі примітивні ознаки, як товсті стінки черепної коробки, низьку лобову кістку та великі надбрівні дуги. Людина прямоходяча виготовляла досить складні знаряддя праці з каменів, загострені дерев'яні палиці. Вона мешкала в печерах, виготовляла одяг зі шкур тварин, можливо, використовувала вогонь для приготування їжі. Цей вид приблизно 1,8 млн років тому через Близький Схід поширився по Євразії, утворивши низку підвидів: пітекантропа (з території Індонезії), синантропа (Китай), людину грузинську (з території сучасної Грузії).

Мал. 46.6. Людина неандертальська

Цікавим представником роду Люди є **Людина неандертальська**, або **неандерталець** (мал. 46.6). Назва цього виду походить від назви долини Неандерталь (Німеччина), де в 1856 р. уперше виявили рештки цих людей (череп і залишки скелета). Неандертальці мали досить широкий ареал: Європа, Середня Азія, Ближній та Середній Схід тощо. Середній зріст становив від 150 до 170 см, маса тіла – 65–80 кг. Ці люди мали дуже потужну статуру: їхня м'язова маса була на 30–40 % більшою, ніж у сучасної людини. Вони мали великий і масивний череп з потужними щелепами та маленьким підборіддям, лоб був скошений назад, а надбрівні дуги – масивні. Об'єм головного мозку в середньому становив 1600 см^3. Руки та ноги неандертальців були потужні. Учені припускають, що їм було притаманне складне мовлення. Ці люди виготовляли досить досконалі знаряддя праці та зброю, широко застосовували в побуті вогонь.

Хоча геном неандертальців ще не повністю розшифровано, дослідження показали, що він на 99,5 % збігається з геномом Людини розумної. Відомі рештки окремих особин, що виникли внаслідок схрещування неандертальців із Людиною розумною, проте значного поширення цей процес не набув. Ці два види певний час співіснували, ворогуючи між собою.

Людина розумна – єдиний існуючий на сьогодні вид роду Люди. Від людини неандертальської його представники відрізняються низкою ознак будови: високий лоб, редуковані надбрівні дуги, відсутній потиличний виступ, наявний підборідковий виступ, який свідчить про високу здатність до членороздільної мови, сплощена грудна клітка та довші кінцівки (мал. 46.7).

Мал. 46.7. Людина розумна (кроманьйонець)

Перші представники виду Людина розумна з'явилися приблизно 200 тис. років тому – їх виділяють в окремий вимерлий підвид – Людина розумна найстаріша. Сучасний підвид – Людина розумна розумна[1] відрізняється від вимерлого підвиду прогресивними рисами будови черепа та менш масив-

[1] Цей підвид ще називають «кроманьйонцем», оскільки перші рештки цих людей виявили в печері Кроманьйон на території Франції.

ним скелетом. Дослідники вважають, що близько 74 тис. років тому, імовірно після потужного вулканічного виверження, вони мігрували з території сучасної Індонезії до Африканського континенту, де стали предками сучасних людей. Приблизно 60–40 тис. років тому ці люди потрапили до Азії, а звідти розселилися на інші континенти: до Європи (близько 40 тис. років тому), Америки та Австралії (35–15 тис. років тому).

Для Людини розумної розумної характерні: прогресивний розвиток нервової системи, досконала вища нервова діяльність, здатність до абстрактного мислення, високі інтелектуальні здібності. У процесі своєї еволюції Людина розумна перейшла від збирання рослин та полювання на тварин до ведення сільського господарства: вирощування культурних рослин і розведення свійських тварин. Вважають, що цей важливий етап розвитку сучасної людини відбувся близько 10 тис. років тому. Осілий спосіб життя сприяв виникненню великих поселень, торгівлі, згодом – стрімкому розвитку промисловості (технічній революції).

На сьогодні Людина розумна заселила всі існуючі континенти, її поселення існують навіть на території Антарктиди. Цей вид перебуває у стані біологічного прогресу, оскільки його чисельність стрімко зростає: якщо в 1800 р. населення нашої планети нараховувало 1 млрд особин, то наприкінці 2021 р. – 7,94 млрд особин.

У процесі історичного розвитку виду Людина розумна залежно від умов проживання сформувалися різні етнічні групи – ***раси***, основними з яких є європеоїдна, монголоїдна та негроїдна (мал. 46.8). Незважаючи на певні відмінності в зовнішній будові, представники всіх рас належать до одного виду – *Людина розумна*.

Мал. 46.8. Людські раси: європеоїдна (1), монголоїдна (2), негроїдна (3)

Ключові терміни та поняття: **антропогенез.**

Перевірте здобуті знання

1. Що таке антропогенез? 2. Назвіть рушійні сили антропогенезу. 3. Чому на певних етапах антропогенезу стали переважати соціальні чинники? 4. Назвіть ознаки, притаманні представникам роду Люди. 5. Чим характеризується вид Людина розумна? 6. Які особливості еволюції Людини розумної?

Поміркуйте. Що спільного й відмінного в еволюції Людини розумної та людиноподібних мавп?

Творче завдання. Запропонуйте свої варіанти застосування методів моделювання в дослідженні різноманітних еволюційних процесів.

ТЕМА 7. БІОРІЗНОМАНІТТЯ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- основи еволюційної філогенії та систематики;
- різноманітність органічного світу: неклітинні форми життя (віруси), основні групи прокаріотів (археї та бактерії) та еукаріотів.

§47. ОСНОВИ ЕВОЛЮЦІЙНОЇ ФІЛОГЕНІЇ ТА СИСТЕМАТИКИ

Пригадайте, які систематичні одиниці використовують у систематиці рослин, грибів і тварин. Що таке філогенез? Які критерії виду використовують у сучасній біології? Що таке мікроеволюція, видоутворення та макроеволюція? Які існують варіанти видоутворення?

Систематика – наука про різноманітність організмів. Головним завданням систематики є розроблення принципів класифікації організмів та надання наукових назв усім групам організмів. Створюючи системи окремих груп організмів, учені-систематики прагнуть створити єдину всеосяжну систему органічного світу.

Систематику як науку започаткував видатний шведський учений **Карл Лінней**. Як і сучасні вчені, він вважав, що вид – це сукупність особин, подібних між собою за будовою, які дають плодючих нащадків. Звісно, сучасні погляди на вид у біології значно ширші. Вони враховують, зокрема, ще й мінливість видів та існування видів-двійників.

Види-двійники **– два або більша кількість самостійних видів, які не розрізняються або майже не розрізняються за особливостями будови, але не схрещуються між собою.**

З курсу біології 6 та 7 класів ви знаєте, що саме К. Лінней ввів у науку ***принцип подвійних назв видів (бінарну номенклатуру)***. Отже, назва кожного виду складається з двох слів латинською мовою, наприклад: *Felis silvestris*[1] – кіт лісовий: перше слово (*Felis*) означає назву роду, до якого належить вид, а друге (*silvestris*) – видову назву (мал. 47.1). Така назва виду є науковою, тобто єдиною для вчених усіх країн.

Ще одним важливим внеском К. Ліннея було застосування системи взаємопідпорядкованих таксонів (ієрархічного принципу) у систематиці. Це означає, що систематичні одиниці нижчого рангу входять до складу одиниць вищого (наприклад, види входять до складу родів, роди – до складу родин тощо).

[1] Латинські назви організмів наведено не для запам'ятовування.

Мал. 47.1. Кіт лісовий (*Felis silvestris*) (1) та рись (*Felis lynx*) (2) – два види, що належать до роду Кіт (рід *Felis*)

Систематичною одиницею високого рангу в зоології, ботаниці або мікології (науці, що досліджує гриби) є **царство.** Таксон, що включає кілька царств, у сучасній біологічній класифікації організмів має назву **домен.**

Цікаво знати

Тривалий час у біології виділяли три домени: Археї, Бактерії та Еукаріоти. Але 2019 року Міжнародна комісія з мегасистематики еукаріотів запропонувала виділити два домени еукаріотів: Аморфеї (зокрема включають амебоподібних протистів, багатоклітинних тварин, справжні гриби, деякі групи грибоподібних організмів) та Діафоретики (від грец. *діафоретікес* – різноманітні; включають вищі рослини, зелені, червоні, бурі діатомові водорості, інфузорій, форамініфер, радіолярій тощо).

К. Лінней та інші вчені тих часів, створюючи свої системи різних груп організмів, спиралися лише на деякі, часто довільні, ознаки їхньої подібності. Тепер такі системи називають «штучними», оскільки вони часто не відбивають родинні зв'язки між організмами.

Принципи сучасної систематики. Сучасна ***філогенетична,*** або ***природна, систематика*** базується на таких принципах:

- усі сучасні види є нащадками викопних форм, цим забезпечується безперервність життя; таким чином, єдина всеосяжна система організмів включає як ті види, які існують нині, так і ті, що мешкали колись;
- види утворюються переважно в результаті дивергенції, тому кожна систематична група є ***монофілетичною,*** тобто всі її члени походять від спільного предка;
- кожний тип (відділ) організмів має притаманний лише йому загальний план будови, який докорінно відрізняється від інших;
- різноманіття видів є наслідком їхніх пристосувань (адаптацій) до умов довкілля.

Сучасна систематика спирається на результати досліджень різноманітних наук, але особливу увагу приділяють молекулярно-генетичним дослідженням. Оскільки споріднені групи організмів походять від спільного предка, то вони успадковують від нього і багато груп спільних генів. Учені досліджують не лише ядерні гени, а й гени мітохондрій і хлоропластів.

Важливе значення для побудови сучасних систем організмів мають дослідження їхнього каріотипу: у споріднених організмів особливості

хромосомного набору подібніші, ніж у неспоріднених. Навіть якщо два види мають подібну кількість хромосом (як-от, капуста та редька – по 18 у диплоїдному наборі, вони відрізнятимуться за особливостями будови окремих хромосом.

Сучасна систематика базується на **біологічній концепції виду** (див. § 43), зокрема на наступних її положеннях:

- вид – єдина систематична одиниця, яка реально існує в природі (*пригадаймо:* встановити належність до певного виду можна за допомогою різних критеріїв виду);
- особини різних видів між собою зазвичай не схрещуються (явище репродуктивної ізоляції); якщо ж таке схрещування і відбувається, міжвидові гібриди зазвичай розмножуватись не здатні (вони стерильні).

Основними галузями систематики є класифікація і номенклатура.

Класифікація **– встановлення рангу і характеристика певних систематичних груп.**

Процес класифікації передує найменуванню таксонів, адже характер назви таксонів залежить від їхнього рангу. Отже, спочатку вчені класифікують, тобто визначають ранг таксона, з яким вони мають справу. І лише після того вони надають правильні назви таким таксонам (процес ***номенклатури***).

Часто від точного визначення виду залежать і результати досліджень. Наприклад, малярійний комар, якого колись розглядали як один вид, насправді становить комплекс видів-двійників, одні з яких здатні переносити збудника малярії, інші – ні.

У сучасній біосфері налічують понад 2 млн видів живих істот, але щорічно вчені описують тисячі нових видів, тому за прогнозами фахівців, кількість сучасних видів може становити до 5 млн і більше. І кожний новий для науки вид має посісти своє місце в системі органічного світу.

Сучасна система органічного світу – відображення процесу його еволюції. Ми вже згадували, що сучасна систематика базується на тому, що споріднені таксони походять від спільного предка. Дослідники для графічного відображення родинних зв'язків між різними групами організмів використовують спеціальні комп'ютерні програми, які аналізують різноманітні риси подібності та відмінності між ними, та будують так звані ***кладограми*** (від грец. *кладос* – гілка та *грамма* – запис).

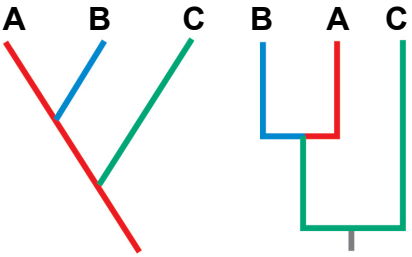
Кладограма **– графічне відображення родинних зв'язків між окремими групами організмів.**

На підставі аналізу численних ознак комп'ютер розподіляє досліджувані види по групах. При цьому що ближче розташовані таксони, то тісніші родинні зв'язки між ними.

Цікаво знати

На малюнку 47.2 наведено два види кладограм, які містять одну й ту саму інформацію. Аналізуючи їх, можна зробити висновок, що таксони **A** та **B** мають

тісніші родинні зв'язки, ніж кожний з них із таксоном **С.** Якщо таксони **А, В, С** – це види, можна припустити, що види **А** та **В** належать до одного роду, а вид **С** – до іншого. Лінія в основі кладограми вказує, що обидва роди походять від спільного предка.



Мал. 47.2. Два варіанти кладограм, які відображають родинні зв'язки між трьома таксонами: А, В та С. ***Завдання.*** *Поміркуйте, які з таксонів виникли раніше, а які – пізніше*

Успіхи в галузі створення систем різних груп організмів привели вчених до ідеї про те, що ступінь подібності певних груп (видів, родів тощо) одна до одної визначається їхнім історичним походженням від спільного предка. Оскільки різні таксони організмів виникли у процесі еволюції неодночасно, то, аналізуючи певні кладограми, можна зробити висновок, які таксони утворилися раніше, а які – пізніше.

Прокаріоти та еукаріоти. Сучасна класифікація організмів базується, зокрема, на особливостях будови їхніх клітин. Наприклад, клітини прокаріотів (домени Археї та Бактерії) мають просту будову: у них відсутнє сформоване ядро, більшість органел, оточених двома (мітохондрії, пластиди) чи однією (ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми тощо) мембранами.

Натомість клітини організмів, що належать до еукаріотів, хоча б на певних етапах розвитку мають ядро (як-от, еритроцити більшості ссавців, ситоподібні трубки рослин). Їм притаманні різноманітні органели.

Крім організмів, які мають клітинну будову, існують і неклітинні форми життя: пріони, віроїди, віруси.

Ключові терміни та поняття: **принцип подвійних назв організмів (бінарна номенклатура), штучна та природна (філогенетична) системи організмів, домен, монофілетична група.**

Перевірте здобуті знання

1. Що вивчає систематика? 2. Які системи організмів називають штучними, а які – природними (філогенетичними)? 3. Які групи організмів називають монофілетичними? 4. Що таке класифікація організмів? 5. У чому полягає принцип подвійних назв організмів? Наведіть приклади.

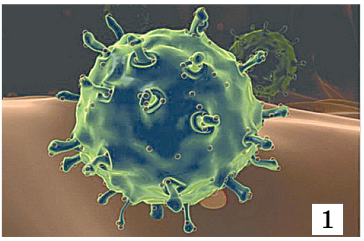
Поміркуйте. Чому філогенетичну систему організмів вважають відображенням процесу еволюції?

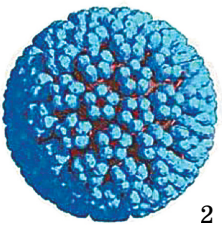
§48. НЕКЛІТИННІ ФОРМИ ЖИТТЯ – ВІРУСИ

Пригадайте характерні ознаки життя? Що таке геном? Які мутації називають спонтанними? Які органи людини здатний уражати вірус грипу? Які заходи профілактики грипу? Що таке щеплення і вакцини?

Будову і функції вірусів, їхні властивості, шляхи передачі, способи лікування і профілактики вірусних захворювань вивчає наука **вірусологія.**

Віруси – неклітинні форми життя. Це виключно внутрішньоклітинні паразити різних організмів: людини, тварин, рослин, грибів і





Мал. 48.1. Будова вірусних частинок: 1 – складний вірус грипу; 2 – простий вірус папіломи

бактерій. Для свого розмноження віруси використовують будівельний матеріал та енергію клітини-хазяїна. Наслідком взаємодії між вірусом та клітиною-хазяїном часто стають вірусні захворювання.

На підставі багаторічних досліджень було визначено основні властивості вірусів:

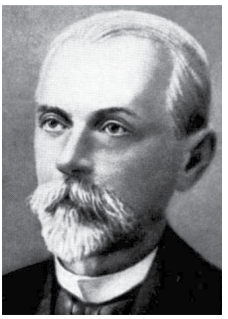
- дуже малі розміри: більшість вірусних частинок – ***віріонів*** – можна вивчати лише за допомогою електронного мікроскопа;
- наявність тільки одного типу нуклеїнової кислоти – або ДНК, або РНК; відповідно віруси поділяють на ДНК-віруси (наприклад, бактеріофаги, папіломавіруси, герпевіруси) та РНК-віруси (вірус грипу, коронавіруси, вірус імунодефіциту людини (ВІЛ) тощо).
- відсутність власних систем, здатних синтезувати білки;
- внутрішньоклітинний паразитизм – здатність розмножуватись лише в клітині-хазяїні;
- відсутність проявів життєдіяльності поза клітиною-хазяїном.

Досі не існує єдиної точки зору на походження вірусів. Останнім часом більшість учених схиляється до гіпотези, за якою віруси виникли у прадавні часи незалежно від клітин, використовуючи їхні можливості для перетворення енергії та синтезу власних білків.

Усі віруси поділяють на прості й складні (мал. 48.1). Оболонка ***простих вірусів*** складається тільки з молекул білків, а до складу оболонки ***складних вірусів*** входять також ліпіди та вуглеводи.

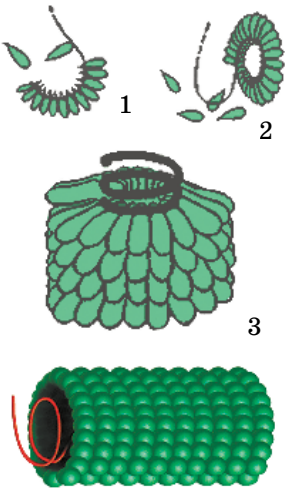
Цікаво знати

Віруси відкрив **Д. Й. Івановський** (мал. 48.2), коли вивчав на території України та Молдови мозаїчну хворобу тютюну. Він довів, що витяжка від уражених рослин, коли її ввести здоровим, спричиняє їхнє захворювання. Це відбувалося навіть після проходження витяжки через керамічні фільтри достатньо малого діаметра, здатні затримувати найдрібніші бактерії. Д. Й. Івановський вважав збудників мозаїчної хвороби тютюну найдрібнішими організмами. Але вони не були здатні рости на будь-якому з поживних середовищ. Цю подію в усьому світі визнано як народження науки вірусології.



Мал. 48.2. **Дмитро Йосипович Івановський** (1864–1920) – основоположник науки про віруси

Важлива відмінність вірусів від прокаріотів та еукаріотів полягає в їхньому унікальному способі утворювати нові дочірні вірусні частинки. Якщо всі клітинні форми життя використовують різні форми розмноження клітин (*пригадайте* які), то у вірусів цей процес пов'язаний з утворенням в інфікованій клітині одразу вели-



Мал. 48.3. Самозбирання вірусних частинок вірусу тютюнової мозаїки. ***Завдання.*** *Схарактеризуйте цей процес*

кої кількості (від одиниць до сотень) вірусних частинок під час так званого *самозбирання* (мал. 48.3). Цей процес дещо нагадує складання автомобіля на конвеєрі. Оболонка вірусних частинок збирається з великої кількості вірусних білків, які синтезувала інфікована клітина (структура цих білків кодується генами вірусної нуклеїнової кислоти). Кінцевим етапом такого збирання є включення в оболонку вірусу його нуклеїнової кислоти. Після цього вірус може виходити з клітини, набуваючи здатності інфікувати нові клітини.

Класифікація вірусів ґрунтується на особливостях будови вірусної частинки та типу нуклеїнової кислоти.

Віруси розглядають як окрему групу (царство) органічного світу, але не організмів, а неклітинних форм життя.

Віруси рослин. Віруси можуть уражати представників різних груп рослин, у тому числі – й культурні види, знижуючи їхню врожайність або призводячи до загибелі. Серед основних ознак вірусних захворювань рослин можна назвати такі: мозаїчність (як згадувана раніше мозаїчність тютюну), деформацію різних органів тощо.

На жаль, вилікувати хвору рослину неможливо. Тому важливо застосовувати заходи профілактики вірусних захворювань рослин. Насамперед слід уникати потрапляння інфікованих вірусами у посадки здорових росин, боротися з переносниками вірусів рослин у посадки здорових, знищувати бур'яни, які можуть бути вражені вірусами, здатними інфікувати і культурні рослини. Якщо рослини потрапляють з інших країн, вони мають пройти певний період карантину, за який може проявитись вірусне захворювання. У разі виявлення уражених рослин їх потрібно знищувати.

Віруси людини і тварин. Віруси здатні уражати організми людини і різних видів тварин, часто спричинюючи важкі, а то й смертельно небезпечні захворювання. Як вам вже відомо, одним з них є синдром[1] набутого імунодефіциту (СНІД), збудником якого є ***вірус імунодефіциту людини (ВІЛ)***. Це складний вірус, його генетичний матеріал – дві молекули РНК.

Завдання Пригадайте заходи профілактики СНІДу.

У курсі біології 8 класу ви дізналися про вірус грипу, різні штами якого здатні спричиняти небезпечні захворювання людини. Ще небез-

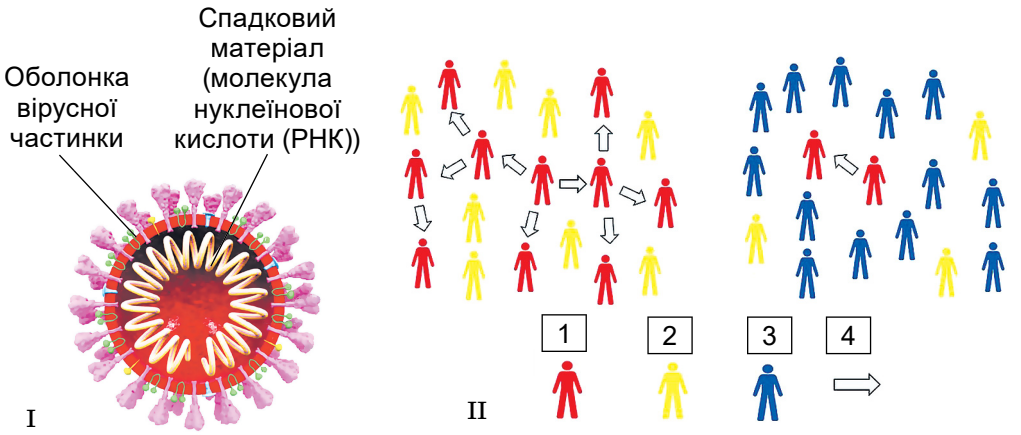
[1] Синдром (від грец. *синдроме* – той, хто біжить разом) – поєднання ознак (симптомів) певного захворювання.

печнішою в останні роки виявилась коронавірусна інфекція, яку скорочено позначають COVID-19 (від англ. ***CO**ronaV**I**rus **D**isease 2019*; 2019 рік – рік виявлення перших випадків захворювання людини в китайському місті Ухань). Це гостра респіраторна інфекція, збудником якої є вірус SARS-CoV-2 (від англ. *Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus 2*, що перекладається як тяжкий гострий респіраторний синдром, пов'язаний з коронавірусом 2).

COVID-19 становить собою смертельно небезпечну хворобу людини і деяких тварин (кажанів, норок тощо), пов'язану з ураженням різних органів, насамперед органів дихання. Вона може перебігати як у легкій формі, нагадуючи гостру респіраторну вірусну інфекцію (ГРВІ), так і у тяжкій, ускладненням якої може бути вірусна пневмонія. У разі пневмонії в легенях інтенсивно розвиваються процеси запалення, здатні призводити до гострого дефіциту кисню в організмі та задухи. Це потребує надання негайної медичної допомоги, зокрема застосування методів кисневої терапії (апаратів штучної вентиляції легень (ШВЛ)) та підтримання нормального функціонування органів дихання в умовах лікувального закладу.

За досить короткий час COVID-19 розвинувся у ***пандемію*** – епідемію, що охоплює багато країн на різних материках. *Пригадаймо*: ***епідемія*** – швидке поширення серед людей певного інфекційного захворювання; при цьому рівень захворюваності значно перевищує звичайний для певної території. Причинами пандемії часто стають відсутність ефективних засобів профілактики та лікування, чому рівень несприйнятливості збудниками серед людей досить низький.

Людина може захворіти на COVID-19 унаслідок потрапляння вірусних частинок на слизові оболонки носа або очей з краплинами, які виділяє інфікована людина під час кашлю або чхання.



Мал. 48.4. I. Будова вірусної частинки коронавірусу: зверніть увагу, що COVID-19 є РНК-умісним і належить до складних вірусів; II. Роль колективного імунітету у запобіганні поширенню збудника певного інфекційного захворювання: 1 – хворі люди, здатні поширювати збудника захворювання; 2 – люди, сприйнятливі щодо збудника; 3 – люди, несприйнятливі щодо збудника внаслідок вакцинації; 4 – поширення хвороби

Цікаво знати

Подолати епідемію COVID-19 допоможе профілактичне щеплення сертифікованою вакциною. Мета масового вакцинування – створити колективний імунітет. ***Колективний імунітет*** – несприйнятливість населення певної території (наприклад, країни або низки сусідніх країн) до збудників певних інфекційних захворювань (мал. 48.4). У Всесвітній організації охорони здоров'я (ВООЗ) вважають, що колективний імунітет проти коронавірусу буде досягнутий, якщо вакцинують не менше 60-70 % світового населення.

Ключові терміни та поняття: **віруси прості та складні.**

Перевірте здобуті знання

1. Яка наука вивчає віруси? 2. Як було відкрито віруси? 3. Які віруси називають простими та складними? 4. Які особливості будови та способи поширення COVID-19?

Поміркуйте. Будова вірусних частинок значно простіша, ніж клітин прокаріотів та еукаріотів. Чи могли віруси виникнути раніше, ніж організми, які мають клітинну будову?

§49. ПРОКАРІОТИ

Пригадайте особливості будови клітин прокаріотів. Що таке плазміди, муреїн? Що таке домен? Яка будова генів еукаріотів?

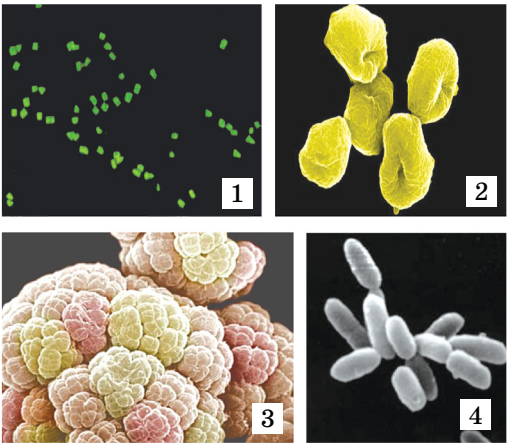
Прокаріоти – доядерні організми, тобто на відміну від еукаріотів ядро відсутнє на всіх етапах їхнього життєвого циклу. Вони включають два домени: Археї (колишня назва – Архебактерії) та Бактерії. До Бактерій належать власне бактерії, ціанобактерії (у ботаніці їх називають синьо-зелені водорості) та деякі інші групи прокаріотів (актиноміцети та мікоплазми).

Прокаріоти були першими організмами, які з'явилися на нашій планеті. *Пригадаймо:* прокаріоти не мають типових хромосом, характерних для еукаріотів: їхні молекули ДНК не взаємодіють з ядерними білками. ДНК прокаріотів насамперед зосереджена в ядерній зоні, крім того, у цитоплазмі їхніх клітин містяться ***плазміди*** (позахромосомні фактори спадковості).

Плазміди мають вигляд зазвичай кільцевих молекул ДНК розташованих поза ядерною зоною. Вони здатні до самоподвоєння і передаються у спадок дочірнім клітинам. У плазмідах можуть міститься гени, які надають клітинам додаткової стійкості до несприятливих впливів різних чинників навколишнього середовища (наприклад, певних антибіотиків).

Археї відрізняються від бактерій особливостями будови та процесів життєдіяльності. Їхні клітини мають мікроскопічні розміри, в середньому близько 1 мкм (мінімальні розміри – 0,4 мкм), а клітинна стінка не містить полімерної сполуки – муреїну. Форма клітин різноманітна, існують сферичні, паличкоподібні, спіральні, трикутні й прямокутні види (мал. 49.1). Багато видів мають джгутики.

Археїв часто виявляють в екстремальних умовах, у яких не існують інші живі істоти. Серед них є види, здатні існувати в гарячих



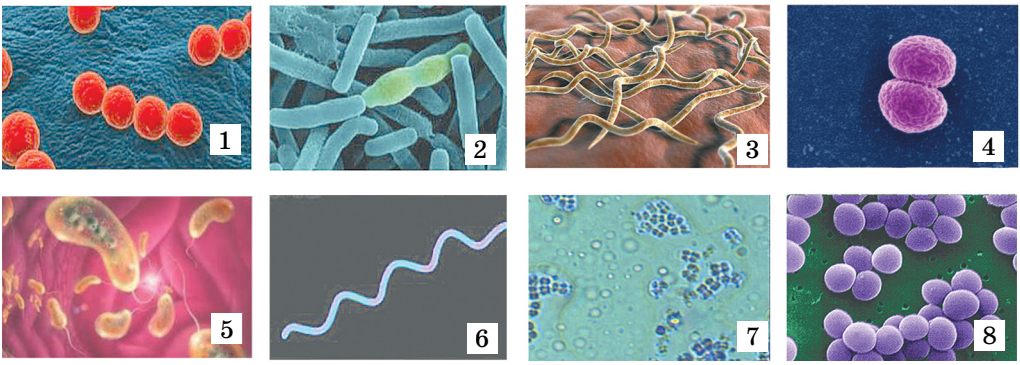
Мал. 49.1. Археї: 1 – рід Галобактерія; 2 – рід Сульфолобус; 3 – рід Галоквадратум; 4 – рід Метаносарцина (не для запам'ятовування)

джерелах за температури +45...+113 °С (такі види мають у своєму складі білки, стійкі до дії високих температур). Є також представники, що витримують тиск до 700 атмосфер, тривалі посушливі періоди тощо. Археї трапляються в різних середовищах: ґрунті, болотах, водах океанів, оселяються в інших організмах. Наприклад, певні види мешкають у товстому кишківнику людини і жуйних тварин, допомагаючи здійснювати процеси травлення. Серед археїв майже відсутні паразитичні види.

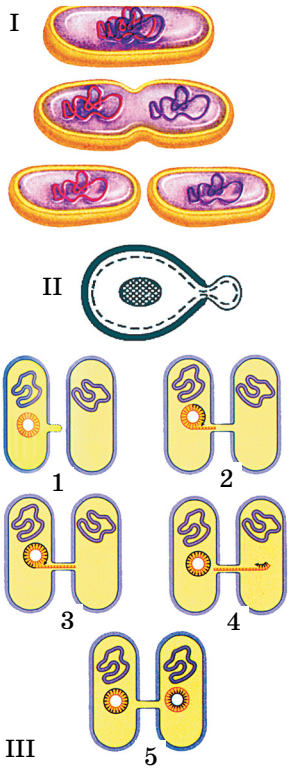
Серед археїв є аероби та анаероби, автотрофні (хемотрофи та фототрофи) та гетеротрофні види. Деякі з археїв здатні фіксувати атмосферний азот. Розмножуються археї поділом навпіл, брунькуванням і фрагментацією. На відміну від бактерій, археї спор не утворюють.

До **Бактерій** належать різноманітні за особливостями будови клітин і процесів життєдіяльності види. Форма клітин бактерій різноманітна (мал. 49.2): куляста (*коки*), паличкоподібна (*бацили*), комоподібна (*вібріони*), у вигляді спірально закрученої палички (*спірили*), довгої та тонкої спірально закрученої клітини (*спірохети*) тощо. Коки, що зібрані попарно називають *диплококами*, по чотири – *тетракоками*, у вигляді грон – *стафілококами*, ниток – *стрептококами* тощо. Є й багатоклітинні види (серед ціанобактерій та актиноміцетів). Одні з бактерій нерухомі, інші здатні пересуватись за допомогою джгутиків чи виділяючи слиз.

У деяких прокаріотів (зелені сірчані та пурпурні бактерії, ціанобактерії) є свій особливий фотосинтетичний апарат. Так, у ціанобактерій



Мал. 49.2. Форма клітин бактерій: 1 – стрептококи; 2 – бацили; 3 – спірили; 4 – диплококи; 5 – вібріони; 6 – спірохети; 7 – тетракоки; 8 – стафілококи



Мал. 49.3. Форми розмноження та статевого процесу в бактерій: I – розмноження поділом клітини навпіл; II – схема процесу брунькування; III – послідовність процесу обміну спадковою інформацією за допомогою кон'югації

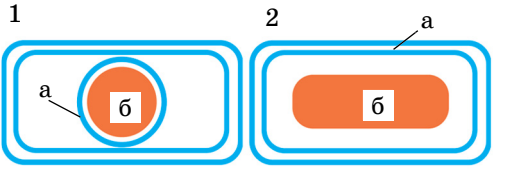
завдяки вгинанням плазматичної мембрани виникають пласкі мішечки, які містять хлорофіл – тилакоїди (див. мал. 16.6, 6).

Особливості процесів життєдіяльності бактерій. Серед прокаріотів є як автотрофи, так і гетеротрофи (сапротрофи, паразити тощо). Серед автотрофів є як фототрофи (зелені, пурпурні бактерії, ціанобактерії), так і хемотрофи (нітрифікуючі, залізо- та сіркобактерії).

Пригадаймо: фотосинтез у бактерій може відбуватись як без виділення кисню, так і з виділенням. Перший варіант фотосинтезу притаманний бактеріям, у яких замість хлорофілу у клітині присутній інший фотосинтезуючий пігмент – **бактеріохлорофіл** (зелені та пурпурні бактерії). Інший варіант фотосинтезу здійснюють ціанобактерії з використанням хлорофілу, у них у процесі фотосинтезу кисень виділяється в атмосферу, як і у рослин.

Клітини прокаріотів розмножуються зазвичай нестатевим шляхом: поділом навпіл (мал. 49.3, I), рідше – брунькуванням (при цьому материнська клітина відбруньковує від себе дрібніші дочірні) (мал. 49.3, II).

Статевий процес прокаріотів може відбуватися у формі ***кон'югації*** (мал. 49.3, III). Між двома сусідніми клітинами утворюється тимчасовий зв'язок, завдяки якому відбувається обмін молекулами ДНК.



Мал. 49.4. Схема утворення спори всередині клітини (1) та цисти (2) (додаткова оболонка оточує клітину ззовні): а – оболонка клітини; б – цитоплазма

За настання несприятливих умов у деяких прокаріотів відбувається споро- або цистоутворення (мал. 49.4, 1). При спороутворенні найчастіше частина цитоплазми материнської клітини вкривається багатошаровою оболонкою, утворюючи спору. Такі спори завдяки низькому вмісту води дуже стійкі до дії високих температур, витримують значні дози іонізуючого опромінення, впливи різних хімічних сполук тощо.

Під час цистоутворення (мал. 49.4, 2) щільною оболонкою вкривається вся клітина. Цисти прокаріотів стійкі до дії радіації, висушування, але, на відміну від спор, не здатні витримувати дію високих температур.

Цікаво знати

У ґрунті, що прилип до коренів засушених рослин з одного гербарію у Великій Британії, було виявлено життєздатні спори, вік яких перевищував 300 років. Учені припускають, що в деяких випадках спори бактерій здатні зберігати життєздатність і до 1000 років.

Деякі ціанобактерії, подібно до азотфіксуючих бактерій, здатні фіксувати атмосферний азот.

Серед бактерій є багато хвороботворних видів. Проникаючи у різні органи організму хазяїна вони здатні там швидко розмножуватись, при цьому шкідливі продукти життєдіяльності бактерій його отруюють, спричиняючи такі захворювання, як дифтерія, туберкульоз, ангіна, холера, дизентерія, тиф, скарлатина та багато інших. У тварин бактерії спричиняють сибірку, бруцельоз тощо. Бактерії здатні спричиняти різноманітні захворювання рослин: на вражених органах рослин можуть виникати плями, пухлини тощо, вони можуть гнити та відмирати.

Ключові терміни та поняття: **прокаріоти, археї, плазміди.**

Перевірте здобуті знання

1. Чим клітини прокаріотів за будовою відрізняються від клітин еукаріотів? 2. Які характерні риси археїв? 3. Чим бактерії відрізняються від археїв? 4. Як розмножуються прокаріоти? 5. Яке біологічне значення процесів спороутворення у прокаріотів?

Поміркуйте. Учені вважають, що спірохетоподібні бактерії могли слугувати «предками» певних органел клітин еукаріотів (подібно до того, як деяких аеробних бактерій вважають предками мітохондрій, а ціанобактерій – хлоропластів). На вашу думку, що це за органели?

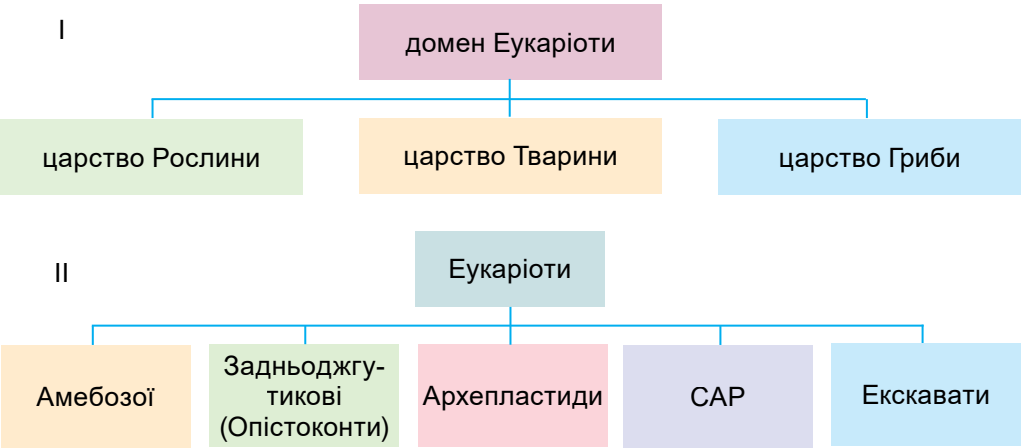
§50. ЕУКАРІОТИ

Пригадайте особливості будови і функцій клітин еукаріотів. Які органи рослин і грибів називають репродуктивними? Хто такі коменсали та паразити? Що таке мутуалізм?

До еукаріотів належать одно- та багатоклітинні організми, чиї клітини, хоча б на певних етапах розвитку, мають ядро, оточене двома мембранами, а також різноманітні органели (*пригадайте* які). Молекули ДНК в клітинах еукаріотів можуть міститися у ядрі (у складі хромосом), а також у мітохондріях і пластидах. Клітинний поділ в еукаріотів зазвичай відбувається шляхом мітозу або мейозу, з формуванням веретена поділу.

Традиційно еукаріотів поділяли на три групи (царства): Гриби, Рослини та Тварини (мал. 50.1, 1).

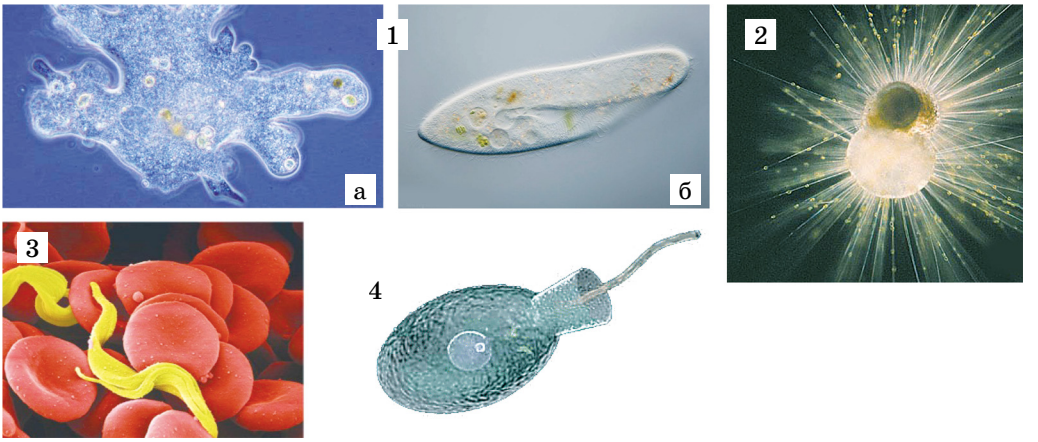
Порівнюючи колишню систему еукаріотів із сучасною, ви можете помітити, що вони значно відрізняються. Необхідність таких змін зумовлена тим, що масштабні молекулярно-генетичні дослідження, проведені наприкінці XX – на початку XXI ст., показали, що не всі одноклітинні еукаріоти можуть бути розподілені між рослинами, тваринами або грибами.



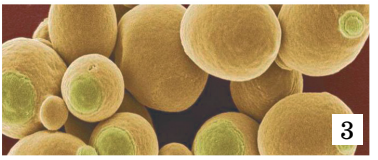
Мал. 50.1. Колишня (I) та сучасна (II) системи еукаріотів (для ознайомлення)

Амебозої. Одноклітинні еукаріоти, які переважно мешкають у прісних водоймах (*пригадайте* амебу протея; мал. 50.2, 1а), рідше трапляються й у солоних або ґрунті. Але є й такі представники, які оселяються в інших організмах (серед них є як коменсали, так і паразити, наприклад, амеба дизентерійна, яка за певних умов може спричинити у людини захворювання амебну дизентерію). Оболонка клітин амебозоїв позбавлена щільної оболонки, вона оточена лише плазматичною мембраною з добре розвиненим глікокаліксом. Саме тому клітини амебозоїв здатні формувати псевдоподії, за допомогою яких вони пересуваються та захоплюють їжу.

Задньоджгутикові (Опістоконти). Клітини цих еукаріотів можуть мати один джгутик, розташований на задньому полюсі клітини (*при-*



Мал. 50.2. Різні представники одноклітинних еукаріотів, будова яких нагадує будову багатоклітинних тварин: 1 – мешканці прісних водойм: а – амеба протей; б – інфузорія-туфелька; 2 – мешканці морів – форамініфери; 3 – паразит крові людини і ссавців – трипаносома; 4 – представник комірцевих джгутикових



Мал. 50.3. 1. Одноклітинний гриб мукор. 2. Шапинкові гриби. 3. Клітини дріжджів

гадайте будову сперматозоїда). До цієї групи входять, наприклад, багатоклітинні тварини, справжні гриби, деякі грибоподібні організми тощо.

Усі **багатоклітинні тварини** – гетеротрофні організми. Більшість з них, на відміну від рослин і грибів, здатні до активного руху. Тваринні клітини над плазматичною мембраною мають тонкий пружний шар глікокалікса.

Гриби – різноманітна група гетеротрофних організмів, які споживають розчини органічних сполук. У справжніх грибів клітина оточена щільною клітинною стінкою, до складу якої входить полісахарид хітин. Натомість у грибоподібних організмів (до них, наприклад, належать фітофторові гриби – паразити рослин, здебільшого пасльонових) хітин у складі клітинної стінки відсутній.

Розміри грибів різноманітні: від мікроскопічних (наприклад, дріжджі) до велетнів, плодові тіла яких сягають до 50 см і більше. Серед грибів є одноклітинні, колоніальні та багатоклітинні види. *Пригадаймо*: тіло багатьох видів грибів складається з окремих ниток – ***гіфів***. Їхня сукупність має назву ***грибниця***, або ***міцелій*** (мал. 50.3, 1, 2).

Цікаво знати

Гіфи здатні швидко рости: є гриби, в яких за одну добу утворюється міцелій завдовжки понад 1 км.

За характером живлення гриби поділяють на сапротрофів, симбіотрофів (живляться завдяки симбіозу з іншими істотами), паразитів і, навіть, хижаків (які живляться дрібними безхребетними істотами).

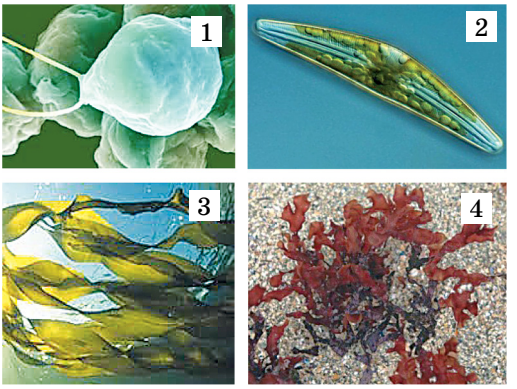
У багатьох грибів (наприклад, шапинкових) частина міцелію розташована всередині того субстрату, на якому зростає гриб, частина – на його поверхні (мал. 50.3, 2). За рахунок повітряного міцелію утворюються репродуктивні органи грибів, які забезпечують як нестатеве, так і статеве розмноження. Є й гриби, що не мають міцеліальної будови, наприклад, дріжджі (мал. 50.3, 3).

На відміну від вищих рослин і більшості багатоклітинних тварин багатоклітинні гриби тканини не формують.

Особливою групою справжніх грибів є **лишайники**, або **ліхенізовані гриби**, – симбіотичні асоціації представників певних груп грибів та фотосинтезуючих організмів – водоростей (переважно зелених) і ціанобактерій (мал. 50.4).

Мал. 50.4. Типи зовнішньої будови лишайників: 1 – накипні, 2 – листуваті, 3 – кущисті

Архепластиди. Ця велика група еукаріотів включає вищі рослини, такі відділи водоростей, як Зелені та Червоні (мал. 50.5, 1, 4). Серед зелених та червоних водоростей є як одноклітинні, так і багатоклітинні види. Але багатоклітинні види водоростей, на відміну від вищих рослин, справжніх тканин не утворюють. У багатоклітинних рослин (мохи, хвощі, папороті, плауни, голонасінні, покритонасінні) (мал. 50.6) формуються не тільки тканини, а й органи – вегетативні (корінь і пагін) й репродуктивні (спорангії, квітки, насінини тощо).



Мал. 50.5. Різні представники водоростей: 1 – зелена водорість (хламідомонада); 2 – діатомова водорість; 3 – бура водорість (ламінарія); 4 – червона водорість (філофора)

Рослини здебільшого ведуть прикріплений спосіб життя; до активного руху здатні лише певні види водоростей, чиї клітини мають джгутики (як-от, хламідомонада, вольвокс.

Вищі спорові рослини свою назву дістали тому, що в них нестатеве розмноження відбувається за допомогою спор, які формуються в репродуктивних органах – спорангіях. До вищих спорових рослин належать відділи: Мохоподібні, Папоротеподібні, Хвощеподібні та Плауноподібні.

Насінні рослини об'єднують два відділи: Голонасінні та Покритонасінні, представники яких здатні формувати насінини – репродуктивні органи, які слугують для розмноження та поширення.

Мал. 50.6. Різноманітність вищих рослин: 1 – вища спорова рослина папороть; насінні рослини: 2 – голонасінна рослина сосна; 3 – покритонасінна (квіткова) рослина люпин

САР (назва цієї великої групи еукаріотів походить від перших літер груп, що входять до її складу: **С**траменопіли, **А**львеоляти, **Р**изарії). Якщо клітини цих еукаріотів мають джгутики, то їх більше ніж один.

Страменопіли включають як одноклітинні, так і багатоклітинні види. Більшість страменопілів – водорості, як-от бурі та діатомові (мал. 50.5, 2, 3), а також певні групи грибоподібних організмів (наприклад, ооміцети або гіфохітріоміцети).

Альвеоляти дістали свою назву тому, що в їхньому поверхневому шарі цитоплазми, що межує з плазматичною мембраною, розташовані альвеоли – сплощені одномембранні мішечки, які надають клітинній оболонці додаткової міцності. До складу альвеолят, наприклад, входять такі одноклітинні еукаріоти, як інфузорії (наприклад, інфузорія-туфелька; мал. 50.2, 1б) та апікомплексні (це такі паразити людини і тварин, як малярійний плазмодій, токсоплазма).

Ризарії – включають вільноживучих мешканців водойм, таких як форамініфери або радіолярії. Їхні клітини здатні утворювати тоненькі псевдоподії, здатні формувати навколо клітини своєрідну сітку: з її допомогою вловлюється здобич (мал. 50.2, 2).

Екскавати. Назва цієї великої групи еукаріотів походить від того, що на нижньому боці їхніх клітин може бути розташований широкий харчовий рівчачок (від лат. *екскаваціо* – заглиблення). Він слугує для надходження та захоплення їжі. Представники цієї групи або одноклітинні види, або утворюють колонії. Одні з них ведуть вільний спосіб життя (наприклад, евглена зелена), інші можуть паразитувати в організмі людини або тварин (як-от лямблії (гіардії), що паразитують у кишківнику людини, трипаносоми (можуть спричиняти сонну хворобу людини; мал. 50.2, 3)).

Ключові терміни та поняття: **еукаріоти.**

Перевірте здобуті знання

1. Які організми належать до еукаріотів? 2. Чим характеризуються сучасна система еукаріотичних організмів? 3. Які еукаріоти можуть формувати справжні тканини? 4. Які групи рослин належать до вищих спорових, а які – до насінних?

Поміркуйте. Чому клітини одноклітинних еукаріотів зазвичай мають складнішу будову, ніж клітини багатоклітинних, що входять до складу певних тканин?

Творче завдання. Використовуючи знання, отримані під час вивчення курсу біології в попередні роки, пригадайте найбільш поширені інфекційні (збудники – віруси, бактерії, гриби) та інвазійні (збудники – одноклітинні та багатоклітинні тварини) захворювання людини. З допомогою вчительки/вчителя запропонуйте ефективні заходи профілактики та боротьби з їхніми збудниками.

ТЕМА 8. НАДОРГАНІЗМОВІ БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- основні закономірності дії екологічних факторів на організми та їхні угруповання;
- структуру та закономірності функціонування екосистем, їхню різноманітність;
- трофічні зв'язки, потоки енергії та колообіг речовин в екосистемах;
- стабільність екосистем та причини її порушення;
- єдину глобальну цілісну екосистему – біосферу; закономірності її функціонування;
- вплив людини на стан біосфери; основні методи охорони видового різноманіття організмів і стану навколишнього середовища.

§51. ЕКОЛОГІЯ. ЕКОСИСТЕМА ТА ЇЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Пригадайте, що таке моніторинг і моделювання в біології. Що таке популяція, вид, екосистема?

Екологія як біологічна наука існує вже понад 155 років. Назву «екологія» запропонував 1866 р. видатний німецький біолог Е. Геккель. Основні завдання екології:

- з'ясування закономірностей взаємозв'язків між організмами, їхніми угрупованнями та умовами довкілля;
- дослідження структури та функціонування угруповань організмів;
- спостереження за змінами в окремих екосистемах і біосфері в цілому, прогнозування їхніх наслідків;
- створення баз даних і розроблення рекомендацій для екологічно безпечного планування господарської та соціальної діяльності людини;
- застосування екологічних знань у справі охорони довкілля та раціонального використання природних ресурсів.

Предметом вивчення екології є різноманітність і структура зв'язків між організмами, їхніми угрупованнями та середовищем життя; склад і закономірності функціонування угруповань організмів (популяцій, екосистем, біосфери в цілому).

Учені-екологи використовують різноманітні засоби й методи досліджень. Зокрема, *методи екологічної індикації* дають змогу визначити стан і властивості екосистем за видовим складом і співвідношенням між собою певних (індикаторних) груп видів (мал. 51.1). Це види, які чітко реагують на ті чи інші зміни в довкіллі. Для проведення постій-

Мал. 51.1. 1. Хвощ польовий – індикатор підвищеної кислотності ґрунтів; 2. Біле латаття – індикатор чистоти води

них спостережень застосовують *метод екологічного моніторингу*. Широко впроваджують у сучасних екологічних дослідженнях *моделювання* та *статистичне оброблення* отриманих результатів. Різноманітні екологічні установи спрямовують свою діяльність на екологічну просвіту населення.

Екологія – наука про взаємозв'язки організмів та їхніх угруповань між собою і навколишнім середовищем, про структуру та функціонування надорганізмових систем (популяцій, екосистем, біосфери тощо).

У зв'язку з тим, що сучасна екологія розширила предмет своїх досліджень за межі біологічних систем різного рівня, з біологічної науки вона перетворилася на комплексну дисципліну, увібравши в себе дані інших наук: географії, геології, хімії, фізики, соціології, економіки тощо. У зв'язку із цим український учений **В. Ю. Некос** (мал. 51.2) запропонував сучасний стан екології називати *неоекологією*.

Неоекологія (від грец. *неос* – новий) – комплекс наук, які вивчають розвиток, функціонування та прогнозування сучасного розвитку біосфери, розробляють принципи та методи управління взаємовідносинами у системі «природа–людське суспільство» з метою їх гармонізації та забезпечення екологічно безпечного існування.

Популяція як структурна одиниця виду та екосистеми. Ви вже знаєте, що кожна популяція є структурно-функціональною одиницею виду. Це пов'язано з тим, що кожен вид становить собою систему взаємопов'язаних популяцій. Лише зрідка (як-от, у деяких рідкісних і зникаючих видів) вид може бути представлений лише однією популяцією. Вам також відомо, що популяція є елементарною одиницею еволюції, оскільки в ній відбуваються мікроеволюційні процеси (спадкова мінливість, популяційні хвилі, ізоляція тощо), які можуть спричинити утворення нових видів.

Також вам відомо, що популяції різних видів існують у природі не відокремлено, а пов'язані між собою різноманітними взаємозв'язками.

Мал. 51.2. **Некос Володимир Юхимович** (1938–2010) – відомий український еколог, професор Харьковського національного університету імені В. Н. Каразіна. Брав активну участь у розвитку екологічної освіти в Україні

Угруповання взаємопов'язаних між собою популяцій організмів різних видів, які населяють ділянку місцевості з однорідними умовами існування, називають біоценозом (від грец. *біос* – життя і *койнос* – спільний).

Екосистема. Популяції видів, які входять до складу певного угруповання, тісно пов'язані не лише між собою, а й з умовами фізичного середовища життя (тобто неживою природою). Таким чином, угруповання організмів утворюють з фізичним середовищем єдину функціональну систему – **екосистему**.

Екосистема (від грец. *ойкос* – житло, місцеперебування і *система* – поєднання) – сукупність популяцій організмів різних видів, які взаємодіють між собою і з неживою природою таким чином, що всередині такої системи виникають потоки енергії і колообіг речовин.

Поняття «екосистема» запропонував 1935 р. англійський учений **А. Тенслі**. Він розглядав екосистеми як функціональні одиниці природи нашої планети, що можуть охоплювати будь-які ділянки біосфери. 1942 р. відомий еколог **В. М. Сукачов** запропонував поняття ***біогеоценоз***. Це певна територія з більш або менш однорідними умовами життя, населена взаємопов'язаними популяціями різних видів, об'єднаних між собою і фізичним середовищем життя колообігом речовин і потоками енергії. На відміну від екосистеми, біогеоценоз охоплює ділянку місцевості з однорідними умовами існування. Основою будь-якого біогеоценозу є угруповання фотосинтезуючих організмів.

Біогеоценоз – це екосистема, яка займає територію з однорідними умовами існування.

В екосистемі виділяють *біотичну* (сукупність популяцій організмів – біоценоз) та *абіотичну* (умови фізичного середовища життя) *частини* (мал. 51.3). Кожна екосистема характеризується певним видовим різноманіттям, біомасою, продуктивністю, густотою видових популяцій, площею або об'ємом, яку вона займає.

Мал. 51.3. Структура екосистеми: 1 – абіотична частина; 2 – біотична частина; 3 – екосистема, що включає як біотичну, так й абіотичну частини

Видове різноманіття екосистеми визначається числом видів, популяції яких входять до її складу. Є екосистеми з незначним (пустелі, тундра) і багатим (тропічні ліси, коралові рифи) видовим різноманіттям (мал. 51.4). Видове різноманіття залежить від тривалості існування

Мал. 51.4. Приклади маловидових (1 – тундра) та багатовидових (2 – кораловий риф) екосистем. ***Завдання.*** *Визначте, у якому із цих типів екосистем переважання окремих видів виражене чіткіше*

екосистеми: у процесі її становлення і розвитку екосистеми її видове різноманіття здебільшого зростає. Види з найчисленнішими популяціями визначають характер екосистеми (наприклад, ковила в ковиловому степу, дуб і граб – у дубово-грабовому лісі).

Кожна екосистема характеризується певною видовою та просторовою структурою. **Видова структура** зумовлена як видовим різноманіттям, так і співвідношенням чисельності й густоти популяцій окремих видів. Види, які переважають чисельно, називають ***домінуючими*** (від лат. *домінантіс* – пануючий).

Просторова структура визначається, насамперед, ярусністю. Ярусне розташування в екосистемі рослин знижує конкуренцію за світло, тварин – за кормові ресурси.

Ключові терміни та поняття: **екосистема, біоценоз, біогеоценоз.**

Перевірте здобуті знання

1. Що вивчає екологія? 2. Які основні завдання екології? 3. Якими методами досліджень користуються екологи? 4. Що таке екосистема? Якими показниками вона характеризується?

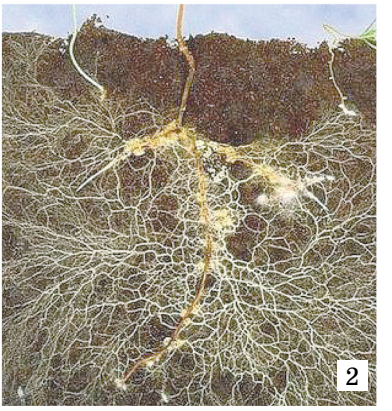
Поміркуйте. 1. Який зв'язок існує між екологією та охороною природи. 2. У той час, коли В. М. Сукачов запропонував термін «біогеоценоз», уже існувало поняття «екосистема». Чим, на вашу думку, була викликана необхідність введення терміна «біогеоценоз»?

§ 52. ТРОФІЧНІ ЗВ'ЯЗКИ ТА ПОТОКИ ЕНЕРГІЇ В ЕКОСИСТЕМАХ

Пригадайте, які організми належать до автотрофів, а які – до гетеротрофів. Що таке конкуренція, мутуалізм та паразитизм? Що таке фотосинтез та хемосинтез?

Взаємозв'язки між організмами в екосистемах. Усі популяції організмів, які входять до складу певної екосистеми, пов'язані між собою більш-менш тісними взаємозв'язками. Зв'язки між популяціями різних видів бувають антагоністичними, нейтральними та мутуалістичними.

За *антагоністичних взаємозв'язків* (наприклад, конкуренція, паразитизм, хижацтво) кожна із взаємодіючих популяцій різних видів відчуває негативний вплив іншої. Найгострішу конкуренцію спостерігають між представниками одного виду або різних видів з подібними екологічними вимогами. Прикладом внутрішньовидової конкуренції може слугувати одновіковий сосновий ліс.



Мал. 52.1. Приклади мутуалістичних відносин: 1 – рак-самітник та актинія; 2 – мікориза (гриби і коренева система дерева)

За *нейтральних взаємозв'язків* жоден з видів, що мешкають на спільній території, не відчуває на собі безпосереднього негативного чи позитивного впливу іншого. Наприклад, популяції хижаків різних видів, які живляться різними видами здобичі, можуть не конкурувати між собою.

За *мутуалістичних* (взаємовигідних) *зв'язків* кожний із взаємопов'язаних видів отримує певну користь (*пригадайте* взаємозв'язки бульбочкових бактерій і бобових рослин, одноклітинних джгутикових тварин і комах, у кишківнику яких вони мешкають тощо). На малюнку 52.1 наведено приклади мутуалістичних відносин. *Завдання:* схарактеризуйте, яку користь від таких відносин отримує кожен з організмів.

Біотичну частину екосистеми складають різні групи організмів, об'єднані між собою просторовими і трофічними (харчовими) зв'язками:

продуценти (від лат. *продуцентіс* – той, що створює) – популяції автотрофних організмів, здатних синтезувати органічні речовини з неорганічних (фототрофні або хемотрофні організми);

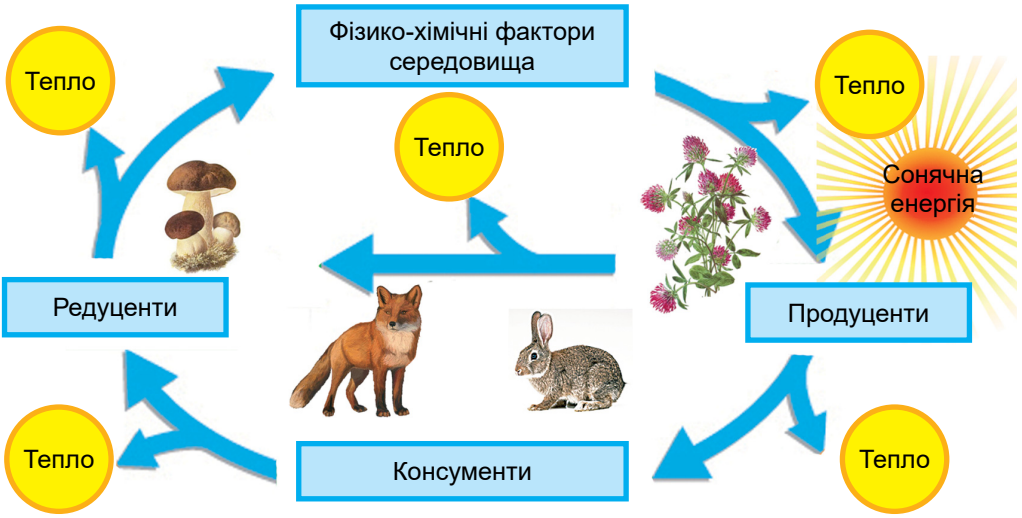
консументи (від лат. *консумо* – споживаю) – популяції гетеротрофних організмів, які живляться живими істотами чи мертвою органічною речовиною (фітофаги, хижаки, паразити, сапротрофи);

редуценти (від лат. *редуцентіс* – той, що повертає, відновлює) – популяції організмів, які, споживаючи мертву органічну речовину, розкладають її до неорганічних сполук (різноманітні бактерії, гриби).

Трофічні зв'язки між популяціями різних видів в екосистемі та їхня взаємодія з чиниками неживої природи забезпечують ***колообіг речовин*** – обмін речовинами між абіотичною (неживою) і біотичною (живою) частинами екосистем (мал. 52.2).

Перетворення енергії в екосистемах. Функціонування будь-якої екосистеми пов'язане з перетворенням енергії та колообігом речовин, тобто хімічними та фізичними процесами, які забезпечують життєдіяльність біологічних систем. Основним джерелом енергії є сонячне світло. Фотосинтезуючі організми (фототрофи) вловлюють його і перетворюють на енергію хімічних зв'язків органічної речовини, яку вони синтезують. Частину накопиченої енергії рослини витрачають на забезпечення власних процесів життєдіяльності, інша – переходить до організмів, які споживають зелені рослини або їхні рештки.

Гетеротрофи отримують необхідну їм енергію внаслідок ферментативного розщеплення органічних речовин. Вони засвоюють для побудови речовин свого тіла лише незначну частину енергії, що міститься



Мал. 52.2. Різні трофічні групи організмів, що входять до складу екосистеми

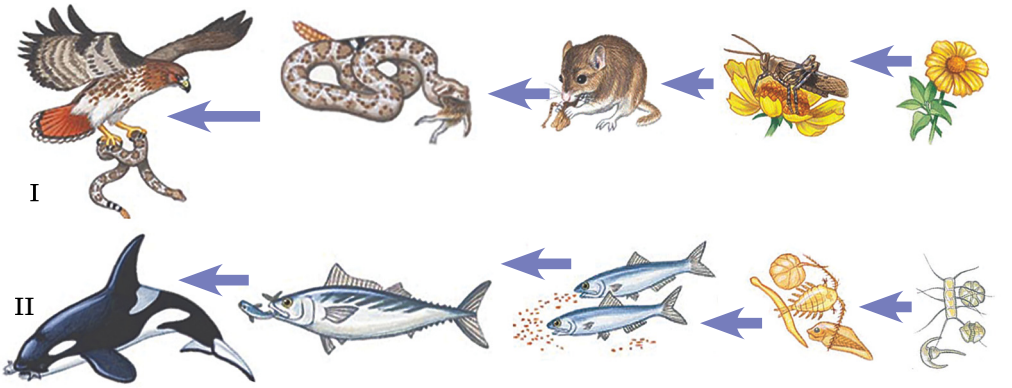
у сполуках їжі (10–20 %), а решта розсіюється у вигляді тепла, витрачаючись на процеси життєдіяльності. Подібне спостерігають і під час поїдання фітофагів хижаками і т. п. Отже, на кожному етапі передачі енергії від одних організмів до інших більша частина її витрачається (розсіюється у вигляді тепла); і лише незначна частка перетворюється в потенційну енергію хімічних зв'язків синтезованих ними сполук.

Послідовності, у яких особини одного виду, їхні рештки або продукти життєдіяльності слугують об'єктом живлення для організмів іншого, називають **ланцюгами живлення (трофічними ланцюгами)**. Кожний ланцюг живлення складається з певної кількості ланок (мал. 52.3). Оскільки під час переходу від попередньої ланки до наступної значна частина енергії втрачається, то кількість ланок обмежена і, зазвичай, не перевищує 4–5.

Саме завдяки взаємодії популяцій різних видів організмів з неживою природою всередині екосистем виникають колообіг речовин і потоки енергії, які зв'язують усі їхні складові в єдину цілісну систему (див. мал. 52.2).

Популяція кожного виду займає в певному ланцюзі живлення певне положення – *трофічний рівень*. Здебільшого, першою ланкою слугують продуценти. Наступні трофічні рівні належать консументам, вони визначаються кількістю ланок, через яку до них з їжею надходить енергія, накопичена продуцентами. Так, рослиноїдні тварини займають наступний, після продуцентів, трофічний рівень (***консументи I порядку***), далі йде рівень хижаків, які живляться рослиноїдними видами (***консументи II порядку***) тощо.

Якщо консументи споживають різні види їжі, вони можуть перебувати на різних трофічних рівнях у різних ланцюгах живлення. Наприклад, сіра ворона може живитися зерном (як консумент I поряд-



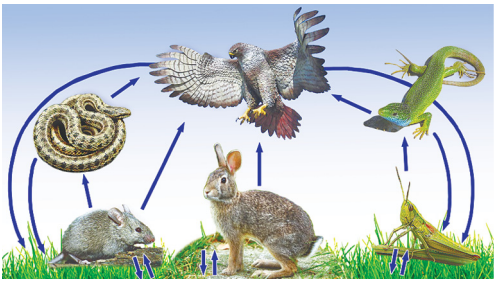
Мал. 52.3. Приклади ланцюгів живлення: I – наземної екосистеми; II – водної екосистеми. ***Завдання.*** *Схарактеризуйте характер живлення організмів, які задіяні в цих ланцюгах живлення, і визначте їхній трофічний рівень*

ку); пташенятами зерноїдних (як консумент II порядку) чи комахоїдних (як консумент III порядку) видів птахів. Відмерлі продуценти або їхні частини, як-от листяний опад, рештки чи продукти життєдіяльності організмів, становлять кормову базу консументів і редуцентів, які в кілька етапів розкладають органічні сполуки до неорганічних.

В екосистемі енергія у вигляді хімічних зв'язків органічних сполук накопичується на рівні продуцентів, проходить через організми консументів і редуцентів, але на кожному з послідовних трофічних рівнів частково розсіюється у вигляді тепла. Енергія, яка зберігається в мертвій органічній речовині, значною мірою переходить у тепло внаслідок діяльності редуцентів (див. мал. 52.2).

Оскільки під час передачі енергії від нижчого трофічного рівня до вищого більша її частина втрачається у вигляді тепла, колообіг енергії, на відміну від колообігу речовини, неможливий. Тому для функціонування екосистеми потрібне постійне надходження енергії ззовні. Отже, обов'язковою умовою існування будь-якої екосистеми є наявність зелених рослин, які вловлюють сонячну енергію.

У будь-якій екосистемі ланцюги живлення тісно переплетені завдяки тому, що представники одного й того самого виду можуть бути ланками різних ланцюгів живлення. Переплітаючись, вони формують ***трофічну сітку*** (***трофічну мережу***; мал. 52.4). Її існування забезпечує стійкість екосистеми, бо в разі зниження чисельності популяцій певних видів і навіть зникнення певних кормових об'єктів вони замінюються на інші, при цьому сумарна продуктивність екосистеми майже не



Мал. 52.4. Приклад трофічної сітки (трофічної мережі)

Мал. 52.5. Приклад екологічної піраміди біомаси. ***Завдання.*** *Визначте трофічні рівні, на яких розміщені організми, що входять до цього ланцюга живлення*

змінюється. Отже, що розгалуженіша трофічна сітка, то стійкіший біогеоценоз.

Продуктивність екосистем. Кожна екосистема характеризується певною продуктивністю. Її виражають в одиницях маси.

Продуктивність екосистеми **визначається кількістю органічної речовини, створеної за певну одиницю часу на певній одиниці площі.**

Розрізняють продуктивність *первинну* та *вторинну*, створену відповідно автотрофними та гетеротрофними організмами.

Для всіх екосистем характерні певні закономірності передачі енергії та біомаси від нижчих трофічних рівнів до вищих. Їх відображає ***правило екологічної піраміди***: на кожному попередньому трофічному рівні кількість біомаси та енергії, що запасаються організмами за одиницю часу, значно більша, ніж на наступних. Графічно це можна зобразити у вигляді піраміди, складеної з окремих блоків. Кожен із блоків відповідає продуктивності організмів на відповідному трофічному рівні ланцюга живлення. Так, кількісні закономірності передачі маси органічної речовини від одного трофічного рівня ланцюга живлення до іншого, вищого відбиває ***піраміда біомаси*** (мал. 52.5).

Піраміда біомаси демонструє ту закономірність, що консументи I порядку запасають у 5–10 разів меншу біомасу, ніж продуценти, яких вони споживають. І так далі: з кожною наступною ланкою ланцюга живлення біомаса, яку запасають організми вищого трофічного рівня, зменшується в 5–10 разів порівняно з тією, яку вони споживають.

Відповідні закономірності передачі енергії від однієї ланки ланцюга живлення до іншої демонструє ***піраміда енергії.*** Кожний її блок відповідає кількості хімічної енергії, яка запасається на відповідному трофічному рівні. Вона показує, що більша частина енергії під час передачі з нижчого трофічного рівня на вищий витрачається у вигляді тепла, а запасається лише 10–20 % порівняно з попереднім.

Ключові терміни та поняття: **трофічний рівень, правило екологічної піраміди.**

Перевірте здобуті знання

1. Яку роль відіграють в екосистемах продуценти, консументи і редуценти? 2. Що таке продуктивність екосистем? 3. На які екологічні групи поділяють організми за типом живлення? 4. Які перетворення енергії відбуваються в екосистемах? 5. Що таке ланцюги живлення та трофічні рівні? 6. Про що стверджує правило екологічної піраміди? 7. Що таке екологічні піраміда біомаси та енергії?

Поміркуйте. Наведіть приклади первинної та вторинної продукції екосистеми.

Творче завдання. Вам відомо, що до складу екосистем входять такі екологічні групи організмів, як продуценти, консументи та редуценти. Без якої з них, на вашу думку, можуть існувати екосистеми? Відповідь обґрунтуйте.

§53. БІОТИЧНІ, АБІОТИЧНІ ТА АНТРОПОГЕННІ ЕКОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ

Пригадайте, що таке паразитизм, мутуалізм, симбіоз. Хто з учених першим визнав, що чинники навколишнього середовища одночасно є й еволюційними факторами? Які закономірності формування адаптацій?

Екологічні фактори та їхня класифікація. Усі складові навколишнього середовища, які впливають на стан і властивості організмів та їхніх угруповань, називають **екологічними факторами**, або *екологічними чинниками*. Залежно від природи та особливостей дії їх ділять на абіотичні, біотичні та антропогенні (мал. 53.1).

Мал. 53.1. Класифікація екологічних факторів

Абіотичні фактори – це компоненти та властивості неживої природи (температура, освітленість, вологість, газовий склад повітря, тиск, сольовий склад води, тип ґрунту тощо), які прямо або опосередковано впливають на окремі організми та їхні угруповання.

Біотичні фактори – це різні форми взаємодій між особинами в популяціях (внутрішньовидові зв'язки) і між популяціями різних видів (міжвидові зв'язки) в угрупованнях. Будь-який організм унаслідок процесів своєї життєдіяльності змінює середовище життя як представників інших видів, так і власне: при цьому одні ресурси із середовища життя вилучаються, інші, навпаки, вносяться.

Антропогенні (антропічні) фактори – різні форми господарської діяльності людини, що змінюють стан середовища життя всіх видів живих істот, серед яких і сама людина. За відносно короткий період існування людини як біологічного виду її господарська діяльність докорінно змінила вигляд нашої планети, і щорічно цей вплив на природу зростає. Інколи антропогенний вплив набуває форми катастрофи, як, наприклад, вибух на Чорнобильській атомній електростанції в 1986 р. (мал. 53.2) або на атомній електростанції у Фукусімі (2011 рік, Японія).

Мал. 53.2. 1. Катастрофа на Чорнобильській атомній електростанції 1986 р. 2. Спорудження оновленого саркофага над зруйнованим четвертим блоком 2016 р.

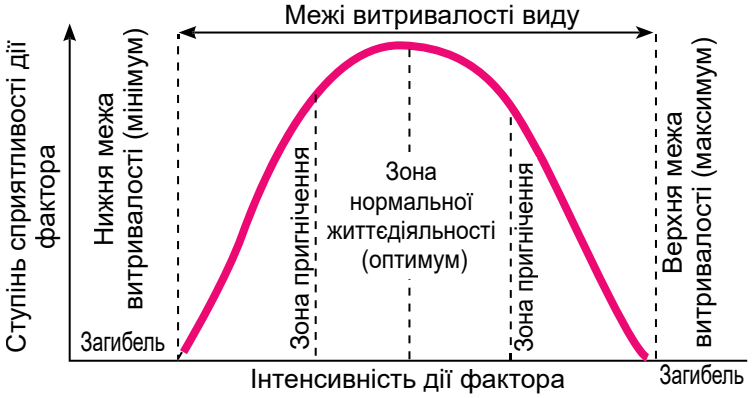
Інтенсивність дії екологічних факторів – це певні їхні кількісні значення (наприклад, показники температури, вологості, освітленості тощо). Інтенсивність дії деяких екологічних факторів може залишатися відносно постійною протягом тривалих історичних періодів розвитку біосфери, наприклад сонячне випромінювання, сила тяжіння, сольовий склад морської води, газовий склад атмосфери. Однак більшість з них має мінливу інтенсивність (температура, вологість тощо). Ступінь цієї мінливості залежить від особливостей середовища життя. Наприклад, температура на поверхні ґрунту може коливатись у значних межах залежно від пори року, часу доби тощо, тоді як на глибині понад 3 м такі перепади температури майже відсутні.

Зміни екологічних факторів можуть бути: *періодичними*, залежно від часу доби, пори року тощо; *неперіодичними*, наприклад виверження вулканів, землетруси, урагани, цунамі тощо; *спрямованими* протягом значних історичних проміжків часу, наприклад зміни клімату.

Одним з основоположних принципів екології є **принцип єдності організмів та їхнього середовища життя**, який полягає в тому, що особини кожного виду протягом тривалого історичного розвитку пристосовуються до умов певного середовища життя, внаслідок чого у них формуються відповідні адаптації.

Закономірності впливу екологічних факторів на організми. Хоча екологічні фактори дуже різноманітні за своєю природою та характером впливу на живі істоти та їхні угруповання, існують певні закономірності їхнього впливу на біологічні системи, а також реакцій організмів на їхню дію.

Кожний з факторів має лише певні межі позитивного впливу на організми (**закон оптимуму**). Сприятливі для істот певного виду інтенсивності впливу екологічного фактора мають назву *зони оптимуму*. Що більше інтенсивність дії певного екологічного фактора відхилятиметься від оптимальної в той чи інший бік, то більше буде виражений його негативний вплив на організми (*зони пригнічення*). Значення інтенсивності дії екологічного фактора, за якими існування організмів стає неможливим, називають *верхньою* та *нижньою межами витривалості*, або *толерантності* (*критичні точки максимуму і мінімуму*). Відстань між межами витривалості визначає діапазон інтенсивності дії екологічного фактора, у якому можливе існування особин певного виду (так звані межі витривалості виду) (мал. 53.3).



Мал. 53.3. Схема дії екологічного фактора

Окремі фактори діють на організми не ізольовано, а спільно: унаслідок цього вплив котрогось із них може дещо пом'якшуватись або, навпаки, підсилюватись. Наприклад, у суху безвітряну погоду легше витримувати низькі температури. Це означає, що зона оптимуму та межі витривалості стосовно дії певного фактора можуть зсуватися в певний бік залежно від того, з якою силою і в якому поєднанні діють інші чинники. Ця закономірність дістала назву **явище взаємодії екологічних факторів**.

Закон взаємокомпенсації екологічних факторів стверджує, що відсутність або нестача деяких екологічних факторів може бути частково компенсована завдяки іншим подібним чинникам. Так, нестача світла в житті рослин може бути частково компенсована надлишком карбон(II) оксиду у повітрі, що оточує рослину. Проте нестача води гальмуватиме процес фотосинтезу навіть за оптимальних освітленості та концентрації CO_2 в атмосфері. Але взаємокомпенсація екологічних факторів має певні межі, і жоден із життєво важливих факторів не може бути повністю замінений іншими: якщо інтенсивність дії хоча б одного з них виходить за межі витривалості, існування виду стає неможливим, незважаючи на оптимальну інтенсивність дії інших. Так, у місцях, де багато стронцію, молюски під час росту їхніх черепашок здатні лише частково замінювати ним сполуки кальцію, якщо його недостатньо у навколишньому середовищі.

Ключові терміни та поняття: **екологічні фактори, закон оптимуму.**

Перевірте здобуті знання

1. Що таке екологічні фактори? Як їх класифікують? 2. Про що стверджує закон оптимуму? 3. На чому ґрунтується явище взаємодії екологічних факторів?

Поміркуйте. Чому неможлива повна компенсація певних екологічних факторів за рахунок інших, подібних?

Навчальний проєкт. Виявлення рівня антропогенного впливу на екосистеми своєї місцевості.

§54. СТАБІЛЬНІСТЬ ЕКОСИСТЕМ І ПРИЧИНИ ЇЇ ПОРУШЕННЯ

Пригадайте, що таке біоритми організмів, гомеостаз.

Стабільність екосистем. Становлення певної екосистеми – це складний і тривалий історичний процес, під час якого організми різних видів адаптуються до умов фізичного середовища життя, а також один до одного. За цей час ускладнюється структура екосистеми, формуються такі її властивості, як цілісність, стійкість, здатність до самовідтворення та саморегуляції. Саме різноманітні зв'язки між популяціями різних видів, які входять до складу певної екосистеми, забезпечують її функціонування як цілістної біологічної системи та саморегуляцію.

Цілісність екосистем забезпечують взаємодії популяцій організмів усередині такої системи між собою та з фізичним середовищем (чинниками неживої природи). Такі взаємодії, як вам уже відомо, створюють потоки енергії та колообіг речовин (див. мал. 52.2). ***Здатність екосистем до самовідтворення*** зумовлена властивістю організмів відновлювати свою чисельність та умови власного існування. ***Стійкість екосистем*** проявляється в їхній властивості протистояти несприятливим зовнішнім впливам без руйнування власної структури.

Саморегуляція екосистем полягає в тому, що кількісні та якісні показники їхньої біопродуктивності, густоти популяцій різних видів, швидкості колообігу речовин та потоків енергії коливаються навколо певних оптимальних значень. Регулювальними факторами є як внутрішньовидові, так і міжвидові зв'язки, що корегують чисельність окремих популяцій, унаслідок чого підтримується гомеостаз екосистеми в цілому. Щойно густота популяції певного виду перевищить деякий середній (оптимальний) рівень, в екосистемі починають діяти регулювальні механізми (наприклад, вплив популяцій хижаків на популяції здобичі, паразитів – на популяції хазяїна, фітофагів – на популяції рослин тощо). Порушення взаємозв'язків організмів в екосистемах унаслідок діяльності людини можуть призвести до різкого скорочення чисельності одних видів та одночасного масового розмноження інших, зокрема шкідників лісу та сільського господарства (*наведіть приклади*).

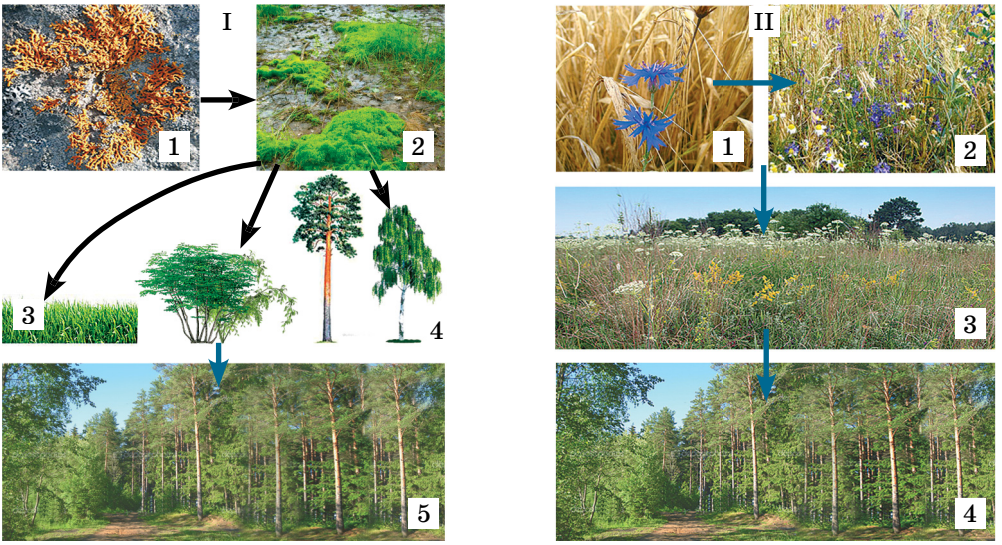
Вплив екологічних факторів на зміни в екосистемах. Будь-яка екосистема може нормально функціонувати лише за більш-менш стабільних умов довкілля, що потрібно для здійснення колообігу речовин. Екосистеми певною мірою здатні підтримувати сталість своєї структури (гомеостаз), однак у них можуть відбуватися циклічні або поступальні зміни.

Циклічні зміни є наслідком пристосувань екосистем до періодичних (добових, сезонних тощо) змін навколишнього середовища. Це явище ґрунтується на адаптації популяцій окремих видів, які можуть проявлятись як періодичні зміни густоти окремих популяцій, їхньої вікової структури, активності особин популяцій різних видів тощо. *Завдання*: пригадайте, які сезонні зміни відбуваються в екосистемах вашої місцевості.

Поступальні зміни відбуваються в разі відновлення зруйнованих екосистем (наприклад, відтворення лісів і степів на місці згарищ тощо) або необоротних змін у певному напрямі кліматичних умов (вологості, середньорічної температури тощо). Вони можуть приводити до заміни екосистеми одного типу на інший.

Спрямовані послідовні зміни угруповань організмів, які із часом приводять до перетворення самої екосистеми, називають **сукцесією**. Угруповання організмів, які існують на початкових етапах сукцесії, характеризуються незначним видовим різноманіттям, слабко розгалуженими трофічними сітками, різкими коливаннями чисельності й густоти окремих популяцій та низькою здатністю підтримувати гомеостаз популяцій. Тому вони із часом заміщуються більш конкурентоспроможними видами. Унаслідок підвищується здатність екосистем до саморегулювання. Цей процес триває, аж поки не сформується багатовидова екосистема з максимально можливим у даних умовах ступенем стійкості (доки не стабілізуються колообіг речовин і потоки енергії).

Сукцесії можуть бути первинними і вторинними. ***Первинні сукцесії*** – це поява й розвиток рослинних угруповань у місцях, де рослинності раніше не було (оселення лишайників на скельних породах або вищих рослин на піщаних узбережжях тощо) (мал. 54.1, I). Наприклад, оселення сосни звичайної на пісках значно змінює умови існування такого угруповання: затінюючи поверхню ґрунту, сприяючи надходженню до нього органіки, утриманню ґрунтової води, вона створює можливість для оселення інших видів рослин. Тип рослинного угруповання, у свою чергу, визначає і видовий склад тварин.



Мал. 54.1. Приклади сукцесії: I – первинна сукцесія: 1 – оселення лишайників на скельній породі; 2 – заселення первинного ґрунту мохами; 3 – утворення трав'янистого рослинного покриву; 4 – формування угруповання із світлолюбних деревних і трав'янистих рослин; 5 – формування екосистеми лісу; II – вторинна сукцесія: замість культурних рослин (1) розвиваються бур'яни (2); 3 – формування трав'янисто-чагарникової рослинності; 4 – формування молодого соснового лісу

Вторинні сукцесії – відновлення природної рослинності після певних порушень, наприклад відновлення лісів після пожеж. Вторинну сукцесію зокрема можна спостерігати на прикладі кинутого поля (мал. 54.1, II). Культурні рослини витісняються дикорослими трав'янистими, а згодом можлива поява кущів і дерев.

Прикладом штучної екосистеми, не здатної до саморегуляції, є **агроценози** – збіднені видами високопродуктивні угруповання рослин, тварин, грибів і мікроорганізмів, створені людиною для отримання сільськогосподарської продукції. Від природних екосистем агроценози докорінно відрізняються властивостями та особливостями функціонування. Незначне видове різноманіття та погано розгалужені трофічні сітки зумовлюють слабку стійкість агроценозів, але високу продуктивність одного чи кількох видів у їхньому складі. Незважаючи на те, що до складу агроценозів можуть входити представники дикої фауни та флори, без яких вони не здатні існувати, в агроценозах, на відміну від природних біогеоценозів, майже відсутня саморегуляція; без постійного втручання людини вони руйнуються і зникають.

Унаслідок вирощування на значних площах протягом років одного чи кількох видів культурних рослин в агроценозах можливе масове розмноження бур'янів, шкідників та паразитів (комах, гризунів, паразитичних грибів тощо). Для забезпечення функціонування агроценозів людина має постійно запобігати процесам сукцесії, бо культурні рослини менш конкурентоспроможні, ніж дикі. На відміну від природних біогеоценозів, в агроценозах не відбувається колообіг речовин, оскільки більшу частину продукції людина вилучає у вигляді врожаю.

Створюючи агроценози, людина повинна враховувати зв'язки, що існують між організмами в природних угрупованнях, а також ті, які можуть виникати між культурними та дикими організмами за їхнього спільного існування.

Сукцесія завершується формуванням *зрілих стійких екосистем* зі значним видовим різноманіттям, розвиненими механізмами саморегуляції (які забезпечують підтримання гомеостазу), здатністю до самовідтворення. Такі дозрілі екосистеми перебувають у стані рівноваги з фізичним середовищем.

Обґрунтуйте необхідність дотримання екологічної культури під час ведення бізнесу в промисловості та сільському господарстві. Поясніть, чому перед реалізацією бізнесових проєктів слід обов'язково проводити попередні екологічні дослідження (екологічну експертизу). Чому без проведення екологічної експертизи замість прибутків можна отримати фінансові збитки?

Ключові терміни та поняття: **сукцесія, агроценоз.**

Перевірте здобуті знання

1. Які основні властивості екосистем? 2. У чому полягає саморегуляція екосистем? 3. Що таке сукцесії? 4. Які сукцесії називають первинними та вторинними?

Поміркуйте. Які основні відмінності між природною екосистемою та агроценозом?

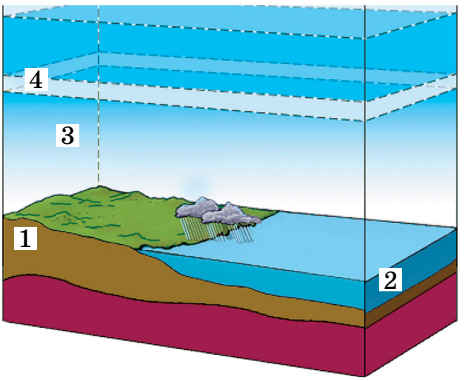
Творче завдання. З допомогою вчительки/вчителя запропонуйте заходи з підвищення стійкості та продуктивності агроценозів. Поясніть необхідність наукових досліджень для розв'язання таких завдань.

§55. БІОСФЕРА ЯК ЦІЛІСНА ЕКОЛОГІЧНА СИСТЕМА

Пригадайте, що таке колообіг речовин та потоки енергії в екосистемах. Що таке озоновий екран? У чому полягає космічна роль зелених рослин у біосфері? Що таке процеси дисиміляції?

Загальна характеристика біосфери. Планета Земля оточена оболонками (мал. 55.1) – твердою (літосферою), рідкою (гідросферою) та газоподібною (атмосферою).

Літосфера – зовнішня тверда оболонка Землі. Вона складається з поверхневого шару переважно осадових порід, сформованого за участю живих істот (вапняк, крейда, кремнезем тощо), граніту (середній шар) та базальту (нижній шар). У літосфері життя сконцентровано здебільшого у ґрунті. На глибинах 2–4 км можуть існувати лише деякі групи бактерій, переважно в нафтоносних шарах.



Мал. 55.1. Межі біосфери:
1 – літосфера; 2 – гідросфера;
3 – атмосфера; 4 – озоновий екран

Сукупність усіх водойм (океанів, морів, річок, озер тощо) утворює водну оболонку – **гідросферу**, яка охоплює майже 71 % поверхні планети та в деяких місцях сягає понад 11 км завглибшки. У гідросфері життя існує на будь-яких глибинах.

Атмосфера – це газова оболонка, розташована над поверхнею літосфери та гідросфери. Поширення організмів у атмосфері (переважно у вигляді спор і цист) визначається положенням озонового екрана, бо вище нього майже все живе гине під дією космічного випромінювання. Максимальна висота, на якій було виявлено спори бактерій і грибів, – близько 22 км.

Біосфера не утворює окремої оболонки Землі, а охоплює верхню частину літосфери, всю гідросферу та нижній шар атмосфери. Вона є сукупністю всіх екосистем Землі, тобто єдиною глобальною екосистемою. Найвищу концентрацію біомаси в біосфері спостерігають у місцях з найбільш різноманітними умовами існування: на межах літосфери та атмосфери, атмосфери та гідросфери, гідросфери та літосфери.

Жива речовина біосфери та її властивості. Усю сукупність організмів на планеті Земля В. І. Вернадський називав ***живою речовиною***. Основними її характеристиками є сумарна біомаса, хімічний склад та енергія. Енергія живої речовини біосфери насамперед проявляється у здатності організмів до розмноження та поширення. Життя на нашій планеті має значну стійкість до змін інтенсивності різних екологічних факторів. Тому організмів у межах біосфери немає лише в товщі льодовиків і кратерах діючих вулканів.

Однією з властивостей живої речовини є її постійний обмін з довкіллям. Організмам потрібні певні речовини й енергія, які вони отримують з навколишнього середовища, значно змінюючи його. У результаті

різні хімічні елементи надходять у живі істоти, можуть у них накопичуватись і виходити в довкілля лише через певний час або лише після їхньої загибелі.

Жива речовина (фототрофні організми) здатна вловлювати сонячну світлову енергію, перетворюючи її на енергію хімічних зв'язків синтезованих сполук. Сумарна продукція автотрофних організмів визначає біомасу біосфери в цілому. Завдяки фотосинтезу щорічно жива речовина Землі продукує близько 160 млрд тонн сухої органічної речовини, з якої приблизно 1/3 припадає на екосистеми біогеоценозу Світового океану, а 2/3 – суходолу.

Біохімічні функції живої речовини. Жива речовина виконує різноманітні функції, які забезпечують існування біосфери як цілісної системи.

Газова функція. Ви вже знаєте, що організми в процесі своєї життєдіяльності впливають на газовий склад атмосфери, Світового океану та ґрунту. Аеробні істоти під час дихання поглинають кисень і виділяють вуглекислий газ. Зелені рослини, деякі одноклітинні еукаріоти та ціанобактерії у процесі фотосинтезу поглинають вуглекислий газ і виділяють кисень. Життєдіяльність організмів, наприклад певних груп прокаріотів, може впливати на концентрацію інших газів (сірководню, метану, азоту тощо).

Цікаво знати

Поняття біосфера запропонував **Е. Зюсс** 1875 р., а вчення про неї як частину геологічних оболонок Землі, населену організмами, створив український учений В. І. Вернадський.

Окисно-відновна функція. За допомогою організмів у ґрунті, воді та атмосферному повітрі окиснюються чи відновлюються певні сполуки. Так, залізобактерії здатні окиснювати сполуки Феруму, сіркобактерії – Сульфуру, а денітрифікуючі – відновлювати нітрати та нітрити до молекулярного азоту або оксидів Нітрогену.

Концентраційна функція. Живі істоти можуть вбирати певні хімічні елементи з навколишнього середовища і накопичувати їх у своїх організмах. Так, молюски, форамініфери, десятиногі раки, хребетні тварини можуть накопичувати у своїх організмах, передусім у скелетах, панцирах, черепашках, неорганічні сполуки Кальцію та Фосфору, радіолярії – Стронцію та Силіцію, бурі водорості – Йоду тощо.

Біогеохімічні цикли. Здійснення функцій живої речовини пов'язано з міграцією атомів молекул у процесі колообігу речовин, тобто біогеохімічних циклів. У біосфері постійно триває колообіг води і всіх хімічних елементів, які входять до складу організмів.

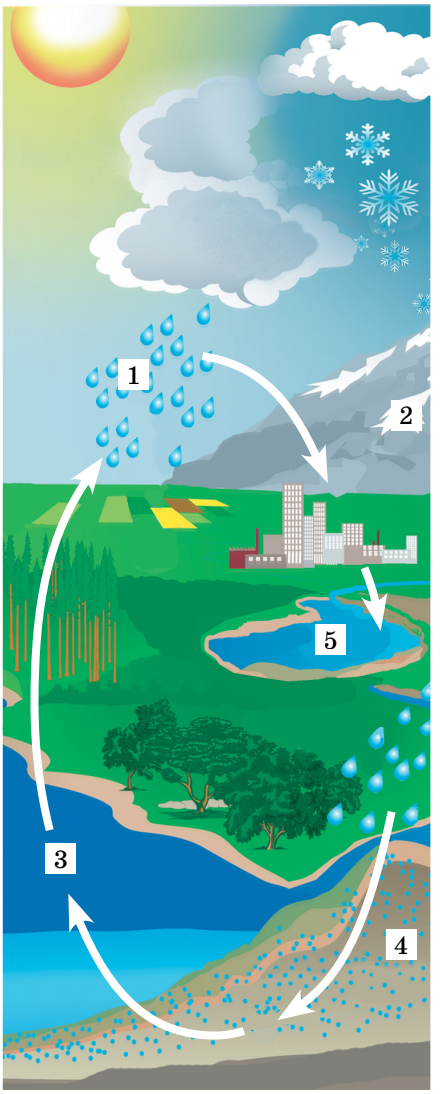
Як приклад розглянемо *біогеохімічний цикл води* (мал. 55.2). Вода – найпоширеніша хімічна сполука в біосфері. Її сукупні запаси на Землі становлять близько 1,5 млрд км^3. Водяна пара надходить в атмосферу під час випаровування з поверхні водойм, транспірації рослин, дихання тощо; у складі повітря її переміщує вітер. З атмосфери вода випадає у вигляді дощу або снігу. У морях та океанах її запас поповнюється завдяки стокам річок та опадів. Морські течії переносять воду різної температури на значні відстані, впливаючи на клімат певних ділянок

земної поверхні. Вода спричинює геологічні явища вимивання, перенесення та відкладання речовин. Воду поглинають живі істоти, і вона включається у процеси їхнього метаболізму. Організми виділяють воду з кінцевими продуктами життєдіяльності, під час дихання, випаровування тощо.

Роль організмів у перетворенні оболонок Землі. Організми беруть участь в утворенні осадових порід, ґрунту, формуванні атмосфери, змінюючи оболонки Землі.

Осадові породи виникають на дні водойм унаслідок нашарування різних нерозчинних речовин, значна частина яких має біогенне походження. З решток істот, які накопичують у своїх скелетах, черепашках, панцирах карбонати, фосфати, силіцій(II) оксид, утворюються різноманітні осадові породи (вапняк, крейда, кремнезем, радіолярити, діатоміти), які часто сягають значної товщини.

У накопиченні кремнеземних осадових порід (SiO_2) беруть участь одноклітинні еукаріоти – радіолярії та діатомові водорості. Так, радіолярити (осадові породи, утворені переважно зі внутрішньоклітинних скелетів радіолярій) представлені кременистими глинами, родовищами напівкоштовних каменів (яшми, опалів, халцедону). Поклади фосфоритів та апатитів (солі ортофосфатної кислоти, що їх застосовують як мінеральні добрива та сировину для промисловості) утворені залишками особливих вимерлих груп морських тварин, які мали черепашки із кальцій ортофосфату.



Мал. 55.2. Колообіг води в природі: 1 – вода атмосфери: 2 – вода льодовиків; 3 – вода океану; 4 – підґрунтові води; 5 – вода прісних водойм

Кам'яне та буре вугілля утворилися за особливих умов з відмерлих решток рослин. Поклади залізної руди – це здебільшого наслідки діяльності хемотрофних залізобактерій. Є гіпотези біогенного походження нафти, природного газу тощо.

Організми беруть участь і у вивітрюванні (руйнуванні) гірських порід. Наприклад, лишайники, оселяючись на скелях, виділяють органічні кислоти, які руйнують гірські породи. Цим процесам сприяють і гіфи грибів, що проникають у тріщини скельних порід.

Організми забезпечують основні ґрунтоутворювальні процеси: розкладання органічної речовини до мінеральних сполук, які споживають рослини, утворення гумусу та його розкладення тощо. Унаслідок цього мінеральні елементи літосфери включаються в біогенну (за участі організмів) частину колообігу речовин.

Завдяки життєдіяльності організмів підтримується і *газовий склад атмосфери*. Так, атмосферний кисень має фотосинтетичне походження. Рослинність Землі щорічно поглинає близько $1{,}7–10^8$ тонн вуглекислого газу і виділяє близько $1{,}2–10^8$ тонн кисню, який використовують у процесі дихання всі аеробні організми.

Цікаво знати

В. І. Вернадський заснував і нову науку – ***біогеохімію***, яка вивчає біогеохімічні процеси, що відбуваються в біосфері за участі живої речовини. У 1918 р. він організував першу у світі біогеохімічну лабораторію.

Ключові терміни та поняття: **біосфера, жива речовина біосфери, біогеохімічні цикли.**

Перевірте здобуті знання

1. Що таке біосфера і які її межі? 2. Які основні характеристики живої речовини Землі? 3. Які біогеохімічні функції живої речовини? 4. Що таке біогеохімічні цикли? 5. Яка роль організмів у перетворенні оболонок Землі?

Поміркуйте. Обґрунтуйте, чому біосфера не становить окремої оболонки Землі.

§56. ОСНОВНІ ЗАХОДИ ЩОДО ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Пригадайте основні форми господарської діяльності людини. Що таке епідемії та пандемії? Що таке екологічний моніторинг?

Сучасна екологічна криза. Людина на певному етапі розвитку цивілізації та техніки почала активно перетворювати природу, а її вплив на довкілля посилювався з кожним сторіччям, доки не став провідним екологічним фактором – *антропогенним*. Перелік екологічних проблем, породжених діяльністю людини, досить великий: це і зростання народонаселення планети, нестача продовольства, джерел енергії, прісної води, забруднення навколишнього середовища тощо. Вони поставили людство на межу всеосяжної екологічної кризи.

Зростання чисельності населення. За підрахунками вчених, у VII тисячолітті до нашої ери населення Землі налічувало не більше ніж 10 млн, на початку нашої ери – близько 300 млн, у середині XVII ст. – близько 700 млн, за XX ст. зросло майже вчетверо, 2016 р. воно становило майже 7,4 млрд, у 2021 р. – понад 7,9 млрд, а у 2030 р. може сягнути 9 млрд осіб. Лише за останні 50 років населення нашої планети збільшилося вдвічі, що змушує говорити про справжній *демографічний вибух*, наслідки якого можуть бути непередбачуваними.

Зростання населення Землі та розвиток промисловості супроводжуються інтенсивною розбудовою міських поселень (процес *урбанізації*), зокрема появою велетенських міст – *мегаполісів* (мал. 56.1). Нині в

містах проживає понад 40 % населення, хоча вони займають не більше як 0,5 % площі нашої планети. Міста та їхні околиці є прикладом антропогенно зміненого природного середовища: майже повне знищення природних екосистем, високий рівень забруднення промисловими та побутовими відходами, інтенсивний рух транспорту тощо. У містах унаслідок скупчення населення постійно існує високий ступінь ризику розвитку епідемій та пандемій коронавірусу, грипу, туберкульозу тощо.

Мал. 56.1. Мегаполіс (м. Київ)

Забезпечення населення Землі продуктами харчування потребує щорічного збільшення площі орних земель. Але вплив знарядь і способів обробітку, вирубування лісів, які захищають ґрунти від дії вітрів та інші фактори спричиняють їхню ерозію. ***Ерозія ґрунтів*** – це зменшення товщі їхнього верхнього, найродючішого, шару в результаті знесення вітром, водою або внаслідок утворення ярів (мал. 56.2). Через ерозію та інші явища (засолювання тощо) запаси родючих ґрунтів щорічно зменшуються на 24 млн т, а площа пустель лише за останні 20 років збільшилася на 100 млн га.

Мал. 56.2. Яружна ерозія ґрунту: виникнення та збільшення розмірів ярів, що робить землі непридатними для сільськогосподарського використання

Знищення лісів. Протягом останніх 10 тис. років під впливом діяльності людини площа лісів на нашій планеті скоротилася не менше ніж на третину (мал. 56.3). Нині площа угруповань деревних рослин щорічно скорочуються на 17 млн гектарів, насамперед за рахунок тропічних лісів, які відіграють провідну роль у підтриманні екологічної рівноваги на нашій планеті. Як відомо, зменшення площі лісів є однією з причин накопичення в атмосфері вуглекислого газу.

Мал. 56.3. Вирубування лісів у Карпатах загрожує стати екологічною катастрофою

Проблеми достатності енергоресурсів. Проблема енергозабезпечення тісно пов'язана з екологічним станом планети: ефективне використання енергоресурсів дає змогу знизити не тільки собівартість виробництва, а й

Мал. 56.4. Пожежа на АЕС «Фукусіма-1»

рівень видобутку корисних копалин і тим самим зменшити рівень забрудненості довкілля. Зокрема, збільшення споживання електроенергії потребує будівництва нових електростанцій, серед яких і атомні (АЕС). Експлуатація АЕС, які діють у понад 30 країнах світу, пов'язана з вирішенням проблем їхньої безаварійної роботи, забруднення радіонуклідами довкілля, захороненням відпрацьованого палива тощо.

Не виключена і можливість аварій на АЕС, унаслідок яких великі території стають непридатними для проживання та господарського використання. Такі аварії були на АЕС у Три Майл Айленд (США), ядерному заводі на Уралі поблизу Єкатеринбурга, у квітні 1986 р. на Чорнобильській АЕС, у березні 2011 р. у Японії на АЕС «Фукусіма-1» (мал. 56.4).

Кліматичні зміни. Діяльність людини є однією з причин змін клімату Землі. Зокрема, інтенсивний розвиток промисловості та енергетичного комплексу збільшує концентрацію вуглекислого газу в атмосфері, що в свою чергу спричиняє так званий *тепличний,* або *парниковий, ефект*: за останні двісті років уміст CO_2 збільшився на 25 %, а температура біля поверхні Землі зросла на 0,5 °С. Наслідки таких кліматичних змін ми можемо спостерігати нині (високі температури в літку, як наслідок – посуха, лісові пожежі, що охоплюють значні площі тощо).

Вплив діяльності людини на стан атмосфери. Забруднення атмосфери спричиняють викиди шкідливих для здоров'я людини та інших організмів відходів промислових підприємств, вихлопних газів автомобільного транспорту (H_2S та SO_2, NH_3 та NO_2, CO, важких металів тощо). Підприємства будівельної і вугільної промисловості (цементні та гіпсові заводи, відкриті вугільні кар'єри тощо) є джерелами забруднення атмосфери пилом. Особливу небезпеку для довкілля становлять ***кислотні дощі***, спричинені забрудненням атмосфери H_2S та NO_2. Сполучаючись із молекулами води, вони утворюють сильні неорганічні кислоти – сульфатну (H_2SO_4) та нітратну (HNO_3). Кислотні дощі призводять до тяжких наслідків: гинуть екосистеми лісів та прісних водойм (мал. 56.5).

Мал. 56.5. Наслідки кислотних дощів

Іншою небезпекою для здоров'я людини може стати послаблення озонового екрана. Це відбувається внаслідок потрапляння в атмосферу хлорфлуорвуглеце-

вих сполук, які використовують в охолоджувальних агрегатах, кондиціонерах, аерозольних балончиках – розпилювачах лаків, фарб, парфумів тощо.

Вплив діяльності людини на гідросферу. Діяльність людини негативно впливає на водні екосистеми. Це, зокрема, забруднення промисловими та побутовими відходами, пестицидами й добривами, які змиваються з полів, зведення гідротехнічних споруд, осушення, витік нафтопродуктів тощо (мал. 56.6). Погіршення санітарного стану водойм, а також виснаження водних ресурсів (насамперед прісних водойм і ґрунтових вод) загострює проблему питної води. Навіть очищені стічні води варто лише обмежено використовувати для потреб промисловості, енергетики, зрошування орних земель тощо.

Мал. 56.6. Забруднення води нафтою

Зникнення видів. Інтенсивний вплив людини на природні біогеоценози спричинює вимирання певних видів тварин і рослин унаслідок прямого винищення, руйнування місць їхнього існування, забруднення довкілля тощо. За підрахунками вчених, за останнє тисячоліття з нашої планети зникло понад 63 види та 70 підвидів ссавців, близько 94 види і 164 підвиди птахів, а кількість зниклих видів безхребетних тварин, рослин і грибів взагалі важко підрахувати.

Сучасний стан природних ресурсів України. Унаслідок інтенсивної господарської діяльності людини, особливо починаючи з другої половини XIX ст., природні ландшафти України дуже змінилися. Спотворено середовища життя диких видів тварин і рослин. Нині площа, охоплена природними угрупованнями, становить лише 29 % території країни. Зокрема, лісові масиви скоротилися до 14,3 % порівняно із 28 % у 1850 р. та 45 % на межі I та II тисячоліть. Майже повністю знищено цілинний степ, змінено гідрологічний режим багатьох територій через побудову гребель, водосховищ, осушення боліт Полісся та обводнення територій степової зони. Зокрема, унаслідок створення каскаду «штучних морів» у Дніпрі практично зникли осетрові риби через перекриття їм доступу із Чорного моря на нерест (осетер, білуга тощо). Надмірне антропогенне забруднення значних територій природних екосистем хімічними сполуками, радіонуклідами створює загрозу генофонду багатого й різноманітного тваринного та рослинного світу України.

В Україні зменшується чисельність видів ссавців – об'єктів полювання (наприклад лося (з 2017 р. цей вид занесений до Червоної книги України), козулі та ін.). Знижується промисел риби у водоймах.

Шляхи подолання екологічної кризи. Розвиток природничих наук зумовив розуміння того, що людина повинна підпорядковуватися законам природи як її складова частина, а не намагатися їх змінити. В. І. Вернадський ще в першій половині XX ст. передбачав, що біосфера під впливом наукової думки й людської праці переходить у новий стан – ноосферу.

Мал. 56.7. Приклади використання альтернативних джерел енергії: 1 – заряджання сучасного електромобіля; 2 – сонячні батареї; 3 – вітрові електростанції

Ноосфера (від грец. *ноос* – розум) – якісно нова форма організації біосфери, яка формується внаслідок її взаємодії із людським суспільством, коли буде досягнуте гармонійне співіснування природи та людини.

До вирішення будь-яких проблем людина повинна підходити з позицій ***екологічного мислення***, тобто підпорядкування повсякденної практичної діяльності людини законам природи та вимогам охорони природного середовища.

Альтернативні джерела енергії – це поновлювані джерела, до яких відносять енергію сонячного випромінювання, вітру, морів, річок, біомаси, теплоти Землі, та вторинні енергетичні ресурси, які існують постійно або виникають періодично в довкіллі (мал. 56.7).

Важливе використання нових джерел енергії, зокрема біопалива. **Біопаливо** – це паливо з рослинної або тваринної сировини, продуктів життєдіяльності організмів або органічних промислових відходів. На відміну від інших природних енергетичних ресурсів (нафта, вугілля, ядерне паливо), біопаливо – поновлюване джерело енергії; його повністю розкладають мікроорганізми і тому воно безпечне для навколишнього середовища.

Охорона природи – це прикладна галузь знання про збереження стану біосфери, для якої екологія слугує теоретичною базою. Лише з розвитком екології людство поступово почало розуміти значення досліджень взаємозв'язків між організмами та їхнім довкіллям, виявлення закономірностей, які керують функціонуванням біосфери. Адже навіть незначний вплив людини на навколишнє середовище здатний спричинити ланцюгові реакції, що можуть призвести до непередбачених наслідків у глобальному масштабі. Щоб уникнути глобальної екологічної кризи, потрібні об'єднані зусилля всіх країн у справі охорони природного середовища.

Основні напрями збереження різноманітності організмів. Збереження та поліпшення стану біосфери неможливе без збереження біологічного різноманіття (*біорізноманіття*) організмів, які населяють нашу планету. Для збереження видового різноманіття багато країн світу (серед яких і Україна) приєдналися до розробленої **Міжнародною спілкою охорони природи і природних ресурсів (МСОП)** *Всесвітньої стратегії охорони природи.*

Під ***сталим***, або ***збалансованим, розвитком*** розуміють такий процес економічних і соціальних змін людського суспільства, за якого

встановлюється баланс між використанням природних ресурсів, науково-технічним прогресом, необхідними для задоволення його сучасних потреб та врахуванням інтересів майбутніх поколінь, включно з їхнім правом на безпечне та здорове суспільство та задоволення власних потреб. Іншими словами, сучасне суспільство відповідає за те, в якому стані залишить після себе довкілля і природні ресурси наступним поколінням.

Розуміння необхідності ретельного обліку рідкісних і зникаючих видів організмів зумовило створення 1948 р. при МСОП постійної Комісії з видів рослин і тварин, яким загрожує зникнення. Результатом роботи комісії стало створення *Міжнародної Червоної книги* (її ще називають *Червоною книгою МСОП*), окремі випуски якої почали видавати з 1963 р. Водночас проводять роботу зі складання Червоних списків МСОП – всеосяжної збірки відомостей про охоронний статус не тільки тварин (як у Міжнародній Червоній книзі), а й рослин та грибів.

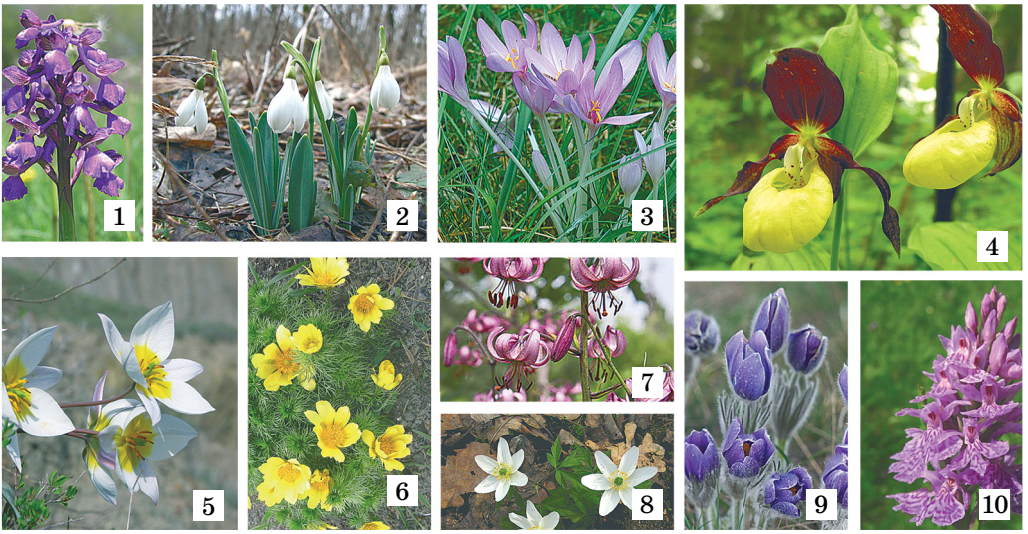
Створюють і так звані *Чорні списки* видів, які зникли з нашої планети починаючи з 1600 р. Підставою для введення певного виду до Чорного списку є відсутність достовірних його знахідок принаймні протягом останніх 50 років.

Формують списки видів, які потребують охорони на теренах окремих держав, та національні Червоні книги.

Червона книга України – державний документ про сучасний стан видів тварин, рослин і грибів, які перебувають під загрозою зникнення, та про заходи щодо їхнього збереження та науково обґрунтованого відтворення. До неї заносять види, які постійно чи тимчасово (наприклад, перелітні птахи) мешкають у природних умовах на території України або в межах її територіальних вод. Нині до Червоної книги України занесено 826 видів рослин і грибів та 542 види тварин (див. мал. 56.8, 56.9, форзаци).

Українські фахівці вперше у світі розробили ***Зелену книгу***, до якої заносять рідкісні й типові для певної місцевості рослинні угруповання, що потребують встановлення особливого режиму їх використання.

Мал. 56.8. Тварини Червоної книги України: 1 – бражник олеандровий; 2 – мідянка; 3 – рись звичайна; 4 – дельфін білобочка; 5 – лелека чорний; 6 – пелікан кучерявий 7 – сорокопуд сірий; 8 – саламандра плямиста; 9 –хохуля звичайна



Мал. 56.9. Рослини Червоної книги України: 1 – зозулинець салепів; 2 – підсніжник білосніжний; 3 – пізньоцвіт осінній; 4 – зозулині черевички; 5 – тюльпан двоквітковий; 6 – горицвіт весняний; 7 – лілія лісова; 8 – анемона дібровна; 9 – сон-трава; 10 – пальчатокорінник травневий

Види, занесені до Червоної книги, охороняють насамперед на різноманітних природоохоронних територіях. Відтворення та використання цих територій, які є національним надбанням, здійснюються згідно із *Законом України «Про природно-заповідний фонд»* (1992). Біосферні заповідники (Асканія-Нова, Карпатський, Чорноморський, Дунайський, Чорнобильський радіаційно-екологічний) мають міжнародне значення і створені з метою збереження у природному стані найтиповіших природних комплексів біосфери та проведення екологічного моніторингу. У біосферних заповідниках здійснюють міжнародні наукові та природоохоронні програми.

Цікаво знати

Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник, створений 2016 р., розташований на території Зони відчуження Чорнобильської АЕС. За площею цей найбільший об'єкт природно-заповідного фонду України займає 226 964,7 га. Флора Заповідника налічує 1276 видів вищих рослин та понад 300 видів хребетних тварин, багато з яких занесені до Червоної книги України.

Природні заповідники – це природоохоронні науково-дослідні установи загальнодержавного значення, які створюють з метою збереження у природному стані типових для даної місцевості або унікальних природних комплексів, вивчення природних процесів і явищ, що в них відбуваються, розробки наукових засад охорони природи. На території України природні заповідники (їх створено 19) розміщені в усіх природних зонах. Так, у зоні мішаних лісів розташовані Древлянський, Поліський, Рівненський, Черемоський; лісостеповій – Канівський, «Розточчя», «Медобори», «Михайлівська цілина»; степовій – Луган-

ський, Український степовий, Дніпровсько-Орільський, «Єланецький степ», Опукський; у Криму – Казантипський, Карадазький, Кримський, Ялтинський гірсько-лісовий, «Мис Мартьян»; в Українських Карпатах – «Горгани».

Національні природні парки – природоохоронні, науково-дослідні та культурно-просвітні установи, покликані зберігати цінні природні, а також історико-культурні комплекси та об'єкти. На їхній території за умов дотримання заповідного режиму дозволено організований туризм і певні форми відпочинку. Як і у випадку з природними заповідниками, 53 національні природні парки розташовані в усіх природних зонах України.

Регіональні ландшафтні (пейзажні) парки – природоохоронні заклади місцевого або регіонального значення, покликані виконувати ті самі завдання, що й національні природні парки.

Заказники – природні території, створені з метою збереження і відтворення певних природних комплексів або окремих видів організмів. Наукова та деякі види господарської і культурно-просвітньої діяльності дозволені на їхній території з дотриманням вимог охорони навколишнього природного середовища.

Пам'ятки природи – окремі унікальні природні утворення, які мають природоохоронне, наукове, естетичне або пізнавальне значення.

Особливе місце у здійсненні природо-охоронних заходів посідають *ботанічні сади* та *зоологічні парки*, які створюють з метою вивчення, збереження, акліматизації та ефективного господарського використання рідкісних й інших видів місцевої та світової фауни і флори. Вони здійснюють і просвітницьку діяльність.

Цікаво знати

Загальна площа природно-заповідного фонду України становить 4 485 млн га, а кількість територій і об'єктів – 8633. Це близько 7 % від загальної площі України.

Ключові терміни та поняття: **ерозія ґрунтів, кислотні дощі, ноосфера, екологічне мислення, Червона книга, Зелена книга.**

Перевірте здобуті знання

1. У чому причини сучасної екологічної кризи? 2. Чим небезпечне стрімке зростання чисельності населення Землі? 3. Які наслідки урбанізації для біосфери та здоров'я людини? 4. Як учені розуміють поняття «ноосфера» та «екологічне мислення»? 5. Які основні напрями охорони природи? 6. Що собою становить Червона книга України? 6. Схарактеризуйте природно-заповідний фонд України.

Поміркуйте. Як ви оцінюєте сучасну екологічну ситуацію в Україні?

Творче завдання. З'ясуйте, які об'єкти природно-заповідного фонду України розташовані у вашій місцевості. За допомогою вчительки/вчителя підготуйте доповіді/презентації про їхній рослинний і тваринний світ.

ТЕМА 9. БІОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНИ

У цій темі ви дізнаєтесь про:

- завдання сучасної селекції;
- основні напрями селекції рослин, тварин і мікроорганізмів;
- завдання та основні напрями сучасної біотехнології;
- роль генетичної інженерії в біотехнології і медицині;
- генетично-модифіковані організми та проблеми, які з ними пов'язані.

§57. ЗАВДАННЯ СУЧАСНОЇ СЕЛЕКЦІЇ

Пригадайте внесок Ч. Дарвіна в розвиток біології. Що таке чисті лінії, генофонд, гібридизація? Що таке аналізуюче схрещування? Для чого його застосовують? Яке схрещування називають спорідненим і неспорідненим? Що таке летальні та сублетальні алельні гени?

Селекція – наука про теоретичні основи та методи створення нових і поліпшення якостей існуючих сортів рослин, порід тварин і штамів мікроорганізмів, пристосованих до сучасних вимог сільського господарства та промисловості. Теоретичними основами селекції слугують результати генетичних досліджень і вчення про штучний добір (*пригадаймо*, його автором є Ч. Дарвін). Для досягнення ефективних результатів селекціонер має бути добре обізнаним також з особливостями розмноження, індивідуального розвитку та процесів життєдіяльності видів, з якими він працює.

Пригадаймо: ***породою тварин*** або ***сортом рослин*** називають сукупність особин одного виду з певними спадковими ознаками (особливостями будови, процесів життєдіяльності, продуктивності тощо), створену людиною внаслідок штучного добору (мал. 57.1). ***Штам*** – це чиста культура (тобто нащадки однієї клітини) мікроорганізмів

Мал. 57.1. Групи порід собак. ***Завдання.*** *Знайдіть на малюнку вихідну форму – вовка, а також представників службових, мисливських і декоративних порід*

Мал. 57.2. Штами мікроорганізмів вирощують на поживних середовищах, наприклад на агарі, який отримують із червоних водоростей; від складу поживного середовища часто залежить продуктивність того чи іншого штаму

(мал. 57.2). Від однієї материнської клітини за допомогою селекції можна отримати різні штами, які відрізняються за продуктивністю, чутливістю до антибіотиків тощо.

Селекція відіграє значну роль у розв'язанні основного завдання сільського господарства – забезпеченні максимального обсягу виробництва високоякісних харчових продуктів за мінімальних вкладених коштів і витрат енергоносіїв. У нашій країні селекційна робота зосереджена в науково-дослідних інститутах, племінних господарствах, на сортовипробувальних станціях тощо.

Завдання З допомогою вчителя/вчительки назвіть провідні наукові селекційні установи в Україні та схарактеризуйте основні напрями їхніх досліджень.

Для успіху селекційної роботи дуже важливе генетичне різноманіття вихідного матеріалу. Тому вчені постійно шукають ознаки, що їх цікавлять, серед представників диких видів. Збільшенню різноманіття вихідного матеріалу сприяють використання для селекційної роботи плідників різного географічного походження, вплив різних факторів, зокрема мутагенних (у селекції рослин і мікроорганізмів).

Породи тварин і сорти рослин, які мають високу продуктивність в одних географічних зонах, не завжди придатні для використання в інших. Тому вчені всебічно досліджують властивості нових порід і сортів та перевіряють їх придатність для використання в певній кліматичній зоні, тобто здійснюють районування.

Районування **– комплекс заходів, спрямованих на перевірку відповідності властивостей тих чи інших порід або сортів умовам певної кліматичної зони. Це необхідна умова раціонального використання порід і сортів у межах будь-якої країни.**

Методи селекції. Класичні методи селекції – це штучний добір і гібридизація.

Штучний добір – це відбір людиною найбільш цінних щодо господарських цілей тварин, рослин, мікроорганізмів для отримання від них нащадків з бажаними ознаками. Це найважливіший елемент будь-якої селекційної роботи, потрібний для збереження та подальшого вдосконалення досягнутих результатів.

Штучний добір здійснюють за кілька послідовних етапів. Серед багатьох тварин або рослин певного виду людина підмічає особин, які відрізняються від інших цікавими для неї варіантами ознак, і відбирає їх для подальшого розмноження. З покоління в покоління бажаний

Мал. 57.3. Півні породи Фенікс мають довгий хвіст, який за рік може відростати на 90 см

варіант ознаки проявляється дедалі більше, оскільки як плідників відбирають особин, у яких він виражений краще. Одночасно за допомогою гібридизації людина може поєднувати в нащадках різні корисні для неї ознаки батьківських форм. Штучний добір, зазвичай, приводить і до змін деяких інших ознак, а із часом – до помітної перебудови самого організму, тобто до створення нового сорту або породи (див. мал. 57.1).

Ознаки, які відбирає людина, не завжди виявляються корисними для самих організмів: створені породи чи сорти часто не здатні до самостійного існування і потребують постійної турботи з боку людини. Наприклад, важко собі уявити, як можуть врятуватися від хижаків у дикій природі півні певних порід з довгим хвостом (мал. 57.3) або особини м'ясних порід великої рогатої худоби, що мають масивне тіло та коротенькі ноги.

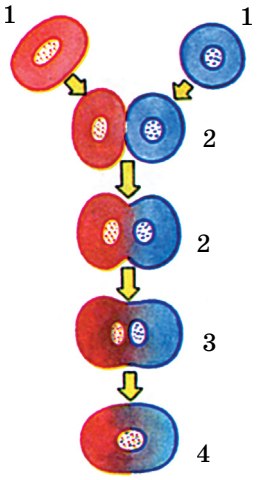
Формування порід і сортів почалося з приручення людиною диких видів тварин і вирощування диких видів рослин. Основою різноманіття певних порід і сортів є один або кілька видів диких предків. Наприклад, предком усіх порід свійської собаки (яких налічують близько 500) вважають вовка (див. мал. 57.1), а свійської свині – дику свиню (кабана).

Цікаво знати

На початкових етапах створення культурних форм діяв *несвідомий добір*: надаючи переваги під час розмноження певним особинам, людина не ставила свідомо перед собою завдання вивести нові породи та сорти з певними ознаками і не застосовувала свідомо різні системи схрещувань та типів штучного добору. Згодом починаючи з другої половини XVIII ст. несвідомий штучний добір було замінено *плановим* (*методичним*). Він ґрунтується на підборі батьківських пар, застосуванні різних варіантів схрещування та плановому доборі серед отриманих нащадків за певними ознаками, що дає змогу створювати породи або сорти із заздалегідь запланованими властивостями.

Застосовують масову та індивідуальну форми штучного добору. За *масового добору* з вихідного матеріалу відбирають групи особин з певними фенотиповими особливостями. Хоча масовий добір простий у застосуванні і дає на початку застосування непогані результати, він має низку недоліків. Групи ззовні подібних особин можуть виявитися генетично різнорідними (*пригадаймо:* особини, гомозиготні за домінантними алелями, та гетерозиготні можуть мати подібний фенотип), що знижує ефективність добору.

За *індивідуального добору* кожного плідника обирають на підставі детального вивчення як його фенотипу, так і генотипу. Інформацію про генотип цих організмів можна отримати, вивчаючи родоводи або за допомогою аналізуючих схрещувань тощо.



Мал. 57.4. Гібридизація соматичних клітин: 1 – батьківські клітини; 2 – початкові етапи злиття цитоплазми; 3 – утворення єдиної клітини з двома ядрами; 4 – злиття ядер гібридної клітини

Ефективність селекції залежить не лише від форми штучного добору, а й від правильного вибору батьківських пар плідників і застосування відповідної системи схрещування організмів – **гібридизації**. Гібриди виникають унаслідок статевого процесу або шляхом об'єднання нестатевих клітин. В останньому випадку ядра гібридних клітин можуть зливатися або ж залишаються відокремленими (мал. 57.4). За допомогою гібридизації у фенотипі нащадків поєднують бажані для практичного застосування стани ознак батьків.

Гібридизація можлива як між особинами одного (внутрішньовидова), так і різних видів (міжвидова, або віддалена). ***Внутрішньовидова гібридизація*** буває спорідненою і не спорідненою. Найтісніші форми спорідненої гібридизації (***інбридингу***) спостерігають серед самозапильних рослин і гермафродитних самозаплідних тварин. В організмів з перехресним заплідненням найбільш тісні форми спорідненого схрещування спостерігають у разі парування нащадків спільних батьків і батьків із власними нащадками. Унаслідок послідовних споріднених схрещувань з кожним наступним поколінням підвищується гомозиготність.

Біологічним результатом спорідненого схрещування є ослаблення або навіть виродження нащадків унаслідок фенотипового прояву летальних чи сублетальних рецесивних алелів, які переходять у гомозиготний стан. Отже, тісний інбридинг часто призводить до появи організмів з різноманітними спадковими аномаліями. У селекції споріднене схрещування застосовують для отримання чистих ліній: інбридинг дає можливість отримати цінні ознаки в гомозиготному стані та закріпити їх серед нащадків. З одного боку, отримання чистих ліній організмів з бажаними властивостями може бути кінцевим результатом селекційної роботи. З іншого боку, чисті лінії можуть бути використані для подальшої гібридизації (*пригадайте* досліди Г. Менделя) та наступного добору.

Неспоріднене схрещування (аутбридинг) – гібридизація представників різних ліній, сортів чи порід одного виду. *Пригадаймо:* неспорідненими вважають особини, у яких спільних предків не було принаймні протягом попередніх шести поколінь. Неспоріднене схрещування здійснюють, щоб поєднати в нащадках цінні властивості, притаманні різним лініям, породам чи сортам. За своїми генетичними наслідками аутбридинг прямо протилежний інбридингу: за неспорідненого схрещування з кожним наступним поколінням підвищується гетерозиготність нащадків. У нащадків, отриманих унаслідок неспорідненого схрещування, часто спостерігають явище гібридної сили, або **гетерозису**.

Гетерозис **– явище, коли перше покоління гібридів, отриманих унаслідок неспорідненого схрещування, має підвищені життєздатність і продуктивність порівняно з батьками.**

У гетерозисних особин сублетальні й летальні рецесивні алелі переходять у гетерозиготний стан, завдяки чому їхній несприятливий вплив не проявляється у фенотипі. До того ж у генотипі гібридних особин можуть поєднуватися сприятливі домінантні алелі, які були в різному наборі в обох батьків (*пригадаймо:* для прояву у фенотипі певного варіанта ознаки іноді потрібна взаємодія домінантних алелів двох або більшого числа неалельних генів).

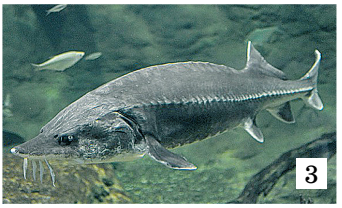
Мал. 57.5. Бройлер Редбро: маса курей сягає 4 кг, півнів – 7 кг; кури починають нести яйця з 4-місячного віку, за рік одна курка відкладає до 300 яєць

Прикладом явища гетерозису є ***бройлери*** – скоростиглі гібриди свійських тварин (курей, качок, кролів тощо), отримані схрещуванням між собою представників різних порід (мал. 57.5).

Гетерозис найчіткіше проявляється в першому поколінні гібридів, а в наступних поколіннях слабшає й до восьмого покоління сходить нанівець. У рослин гетерозисні зміни фенотипу передаються нащадкам під час вегетативного розмноження.

Явище гетерозису широко застосовують у сільському господарстві, оскільки воно дає змогу значно підвищити продуктивність різних культурних рослин (наприклад, кукурудзи до 20–25 %). У тваринництві схрещування представників різних порід прискорює ріст і статеве дозрівання, поліпшує якість м'яса, молока тощо. При схрещуванні несучих порід курей між собою (наприклад, леггорнів з австралорнами) продуктивність гібридів зростає на 20–25 яєць на рік.

Віддалену гібридизацію – схрещування представників різних видів – здійснюють також для отримання високопродуктивних гібридів. За допомогою віддаленої гібридизації створено гібриди пшениці та пирію (мал. 57.6, 1), що вирізняються високою продуктивністю (до 300–450 ц/га зеленої маси) та стійкістю до полягання; пшениці з житом, китайської цукрової тростини з дикими видами (що дало змогу підвищити вміст цукрів). Відомі міжвидові гібриди й серед плодових культур (малини та ожини, сливи та терену, горобини та сибірського глоду тощо). У тваринництві також виведено значну кількість міжвидових гібридів. Гібриди кобили й віслюка (мули; мал. 57.6, 2) чи одногорбого й двогорбого верблюдів вирізняються значною силою, витривалістю і довголіттям. Гібрид білуги та стерляді (бістер) характеризується швидким ростом і високими смаковими якостями (мал. 57.6, 3). Але селекціонери часто стикаються з проблемою безпліддя міжвидових гібридів, гамети яких зазвичай не дозрівають. Так, мули не здатні до розмноження; у гібрида яка (жуйної тварини, що походить з Тибету) і великої рогатої худоби самці безплідні, а самки – плодючі.



Мал. 57.6. Приклади міжвидових гібридів у тварин і рослин: 1 – гібрид пшениці та пирію; 2 – мул – гібрид самки коня і самця віслюка; 3 – бістер: 170 см, маса тіла – до 30 кг. Цей міжвидовий гібрид виявився плодючим: самки відкладають до 300 тис. ікринок

Ключові терміни та поняття: **сорт, порода, штам, селекція, штучний добір, гібридизація, гетерозис.**

Перевірте здобуті знання

1. Що таке селекція? Які завдання сучасної селекції? 2. Що таке районування? Для чого його здійснюють? 3. Що таке штучний добір? Хто автор теорії штучного добору? 4. Від чого залежить ефективність штучного добору? 5. Що таке гібридизація? 6. Що таке споріднене та неспоріднене схрещування і які їхні наслідки? 7. Що таке віддалена гібридизація? Для чого її застосовують?

Поміркуйте. 1. Що спільного та відмінного в механізмах дії штучного та природного добору? 2. Чому для обґрунтування своєї концепції природного добору Ч. Дарвін звертався до практики сільського господарства?

§58. ОСОБЛИВОСТІ СЕЛЕКЦІЇ ТВАРИН, РОСЛИН ТА МІКРООРГАНІЗМІВ

Пригадайте, що таке поліплоїдія. Як вона впливає на фенотип організмів? Що таке щеплення в рослин? Що таке мутагени? Які групи мутагенів вам відомі?

Археологічні та палеонтологічні дослідження дали змогу з'ясувати, що перші вдалі спроби введення в культуру рослин і приручення тварин було здійснено 20–30 тис. років тому. Вважають, що головними вихідними центрами зародження сільського господарства були п'ять регіонів світу: Південно-Східна Азія (Близький Схід – долини річок Тигру та Євфрату); Китай (долини річок Янцзи та Хуанхе); Центральна Америка (територія сучасної Мексики та прилеглі до неї регіони; Південна Америка (Анди); схід Північної Америки. Більшість цих регіонів характеризуються найбільшим розмаїттям диких рослин і тварин, придатних для використання у сільському господарстві.

Особливості селекції рослин. ***Центри походження і різноманітності культурних рослин*** дослідив **М. І. Вавилов.** Він встановив, що для кожного з видів культурних рослин існує свій центр різноманітності, де виявлено найбільшу кількість їхніх сортів і форм. Учений зробив висновок: центри різноманітності культурних рослин є водночас районами їхнього походження.

Виявлення центрів різноманітності культурних рослин підказало вченим, де саме потрібно шукати генетично різноманітний вихідний матеріал для селекційної роботи. Родинні зв'язки культурних рослин

і диких видів встановлюють на підставі аналізу особливостей каріотипів та інших ознак, насамперед завдяки молекулярно-генетичним, біохімічним та фізіологічним дослідженням тощо.

Цікаво знати

Завдяки експедиціям М. І. Вавилова було створено унікальну колекцію насіння (приблизно 1600 видів рослин), яку використовували для селекційної роботи.

Мал. 58.1. Тюльпан Шренка – один з найгарніших видів тюльпанів. В Україні в природних умовах трапляється в південно-східних регіонах, найчисленніший на території Криму. Занесений до Червоної книги України

Культурні рослини належать до більш ніж 25 тис. видів. Учені вважають, що одними з перших ввели в культуру кукурудзу, гарбуз, кокосову пальму, цибулю, горох посівний, ячмінь, пшеницю, рис. Диких предків деяких культурних рослин у природі не знайдено (наприклад, цибулі городньої), інші – і дотепер поширені в природних екосистемах (наприклад, дикі капуста та морква). Деякі культурні рослини було виведено за допомогою віддаленої гібридизації (наприклад, ріпак – гібрид, отриманий унаслідок схрещування капусти і свиріпи).

Хоча землеробство на території України розвивається понад 5 тисячоліть, майже всі культурні рослини, які вирощують у нас, походять з інших країн. Утім, багато їхніх сортів виведено саме в нас. Єдиний вид на сучасних теренах України, одомашнений татарами за часів Кримського ханства, – це характерний для степової зони тюльпан Шренка (мал. 58.1). Через Туреччину він потрапив до Європи; з кінця XVI ст. лідером із селекції декоративних сортів тюльпана поступово стали Нідерланди.

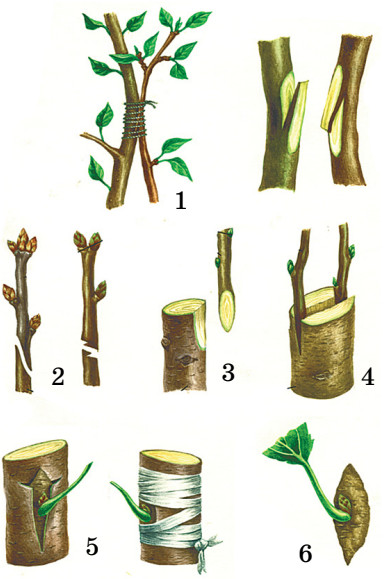
В Україні функціонує багато центрів селекції рослин. Один з найвідоміших у світі – це Миронівський інститут пшениці (Київська область), який тривалий час очолював видатний український селекціонер академік **В. М. Ремесло** (мал. 58.2). Тепер цей інститут носить його ім’я.

У селекції рослин є можливість використовувати різні форми штучного добору (як масовий, так й індивідуальний). Для підвищення різноманітності вихідного матеріалу у селекції рослин застосовують різні форми гібридизації спільно з використанням штучних мутагенів. Міжвидові гібриди рослин часто безплідні, проте їх розмножу-

Мал. 58.2. **Василь Миколайович Ремесло** (1907–1983). Під його керівництвом створено 20 сортів пшениці, які вирощують у багатьох країнах. Найвідомішим є сорт «Миронівська-808», який вважають шедевром світової селекції пшениці

ють вегетативно або долають безпліддя, подвоюючи число хромосом гібридів. Створено поліплоїдні високопродуктивні сорти різних культурних рослин: картоплі, садових суниць, цукрового буряку, гречки, льону, кавуна, м'якої пшениці, жита, кукурудзи, проса тощо.

Широко в селекції рослин використовують і ***щеплення*** (мал. 58.3) – особливий спосіб штучного об'єднання частин різних особин. Частину рослини, яку прищеплюють, називають *прищепою*, а рослину, до якої прищеплюють, – *підщепою*.



Мал. 58.3. Форми щеплення рослин: 1 – зближення; 2 – копулювання; 3 – у прикладку; 4 – у розщіп; 5 – окулірування (6 – вічко)

Щеплення відрізняється від справжньої гібридизації тим, що приводить лише до неспадкових змін фенотипу прищепленої особини, не змінюючи генотипи прищепи та підщепи. Щеплення здійснюють для підсилення бажаних змін фенотипу, поєднуючи властивості прищепи й підщепи та поширюючи їх на весь новостворений організм. Наприклад, прищеплення до зимостійкої дички живців від південних високопродуктивних сортів плодових культур забезпечує поєднання високих смакових якостей плодів прищепи з холодостійкістю підщепи. Крім того, застосовуючи різні способи щеплення можна отримувати такі міжвидові гібриди рослин, які неможливо отримати методом схрещування.

Особливості селекції тварин. ***Райони одомашнювання і походження порід свійських тварин*** зазвичай пов'язані з давніми центрами землеробства, але точно встановити ці місця складніше, ніж культурних рослин. Це пояснюють здатністю тварин до активного пересування та зміною ареалів протягом історичного розвитку.

Одного з перших, 10–15 тис. років тому, у декількох районах Євразії одомашнено собаку свійського, якого спочатку використовували для захисту і як помічника в полюванні. Приблизно 6 тис. років тому на території Ближнього Сходу та Давнього Єгипту для захисту запасів зерна від гризунів приручено кота свійського (його предком вважають кота африканського (близькосхідного або степового)).

Одними з перших об'єктів скотарства, вік одомашнення яких оцінюють у 10 тис. років, були вівці та кози. Вівчарство виникло в гірських регіонах Близького Сходу, Греції, Кавказу, Малої та Середньої Азії. До найбільш стародавніх об'єктів скотарства відносять і велику рогату худобу (8 тис. років тому). Предком великої рогатої худоби був дикий бик – тур, який жив на території лісостепової та степової зон Євразії та в Північній Африці (останню тварину цього виду знищено 1627 р. у Польщі). Вважають, що його було одомашнено в Південно-Західній Азії та Північній Африці.

Мал. 58.4. Кабан (1) та породи свійських свиней: 2 – дюрок-джерсійська; 3 – беркширська; 4 – українська степова біла

До найважливіших свійських тварин належить кінь. Його предком був вимерлий дикий кінь – тарпан, якого одомашнено приблизно 6 тис. років тому в степовій зоні на території нинішньої України. Кінь, якого спочатку було одомашнено заради шкіри, м'яса і молока, згодом став основним транспортним засобом.

Свійського кроля, якого тепер розводять у всьому світі заради м'яса та хутра, одомашнено не більше ніж 2 тис. років тому в південних регіонах Європи. Його предок – дикий кріль – і нині трапляється в південних областях України (його туди було завезено XIX ст.). Одомашнені й розводяться людиною такі хутрові звірі, як норка, соболь, песець, лисиця, нутрія, ондатра.

Важливою галуззю тваринництва в Україні є свинарство. Предком свині свійської є кабан (дика свиня), який і нині поширений у природі (мал. 58.4, 1). Вважають, що одомашнення свиней розпочалося близько 13 тис. років тому на Близькому Сході, звідки вони потрапили на територію Європи. На сьогодні виведено понад 100 різних порід свиней. В Україні поширені такі породи, як велика біла, українська степова біла, миргородська, українська степова ряба тощо (мал.58.4, 2–4).

Людина одомашнила й багато видів птахів. Так, свійські кури походять від диких банківських курей, одомашнених 5–6 тис. років тому на теренах Південної та Південно-Східної Азії. Індіанські племена Центральної Америки одомашнили близько 5 тис. років тому інших представників ряду куроподібних – індичок (предок – дика індичка), яких, як і курей, розводять заради м'яса, яєць та пуху.

Свійська качка походить від дикої качки – крижня, поширеної в Північній півкулі. Різноманітні породи свійської качки (українську, московську тощо) розводять заради м'яса, а також яєць. Приблизно одночасно з качкою (близько 4 тис. років тому) з подібною метою людина одомашнила сіру гуску. Нині штучно розводять деякі інші види птахів – перепелів, куріпок, фазанів тощо.

Мал. 58.5. Кінь Пржевальського – єдиний нині існуючий підвид коня дикого

Цікаво знати

Дикий кінь Пржевальського (мал. 58.5), який зберігся майже виключно на територіях природно-заповідного фон-

ду, не є безпосереднім предком свійського коня. Тарпана та коня Пржевальського більшість дослідників розглядають як різні підвиди дикого коня. У 1998 р. коней Пржевальського завезли в зону відчуження Чорнобильської АЕС. Там виникла одна з найбільших у світі популяцій. Коня Пржевальського як підвид дикого коня занесено до Червоної книги України.

Введення в культуру диких видів рослин та одомашнення тварин триває дотепер.

Особливостями селекції тварин є те, що свійським тваринам притаманне лише статеве розмноження, тому вегетативне розмноження безплідних міжвидових гібридів неможливе. У селекції тварин майже не застосовують масовий добір, бо кількість нащадків незначна і тому кожна особина має значну цінність.

У селекції тварин застосовують як споріднене (для переведення певних генів у гомозиготний стан), так і неспоріднене схрещування, а також віддалену гібридизацію (для виведення нових порід). Широко використовують і явище гетерозису. Наприклад, схрещуючи дюрок-джерсійську та беркширську породи свиней, отримують швидкостиглих нащадків, які за неповний рік сягають значної маси (до 300 кг і більше) (див. мал. 58.5, 2, 3).

Деякі практично важливі спадкові ознаки можуть не проявлятися у фенотипі в особин однієї зі статей. Наприклад, у самців великої рогатої худоби не проявляються молочність і жирномолочність, у півнів – несучість. Тому для виявлення подібних властивостей застосовують ***метод визначення якостей плідників за властивостями нащадків***. При цьому порівнюють продуктивність нащадків плідників протилежної статі (наприклад, корів – дочок одного бугая) із середніми показниками по породі. Із кінця XX ст. у селекції тварин дедалі частіше застосовують клонування.

Цікаво знати

Одним з видатних селекціонерів тварин, робота якого пов'язана з Україною, був академік **Михайло Федорович Іванов** (1871–1935). За його ініціативи 1925 р. засновано племінну станцію в Асканії-Новій (Херсонська обл.), нині – Інститут тваринництва степових районів ім. М. Ф. Іванова – Національний науковий селекційно-генетичний центр з вівчарства. М. Ф. Іванов вивів такі відомі породи, як асканійська порода тонкорунних овець та українська степова біла порода свиней (див. мал. 58.4, 4).

Селекція мікроорганізмів. Мікроорганізми (прокаріоти та деякі мікроскопічні еукаріоти, наприклад дріжджі) широко використовують у харчовій, мікробіологічній, виноробній та інших галузях, для біологічної боротьби зі шкідниками, очищення навколишнього середовища тощо. Вони мають низку особливостей, які потрібно враховувати в селекційній роботі з ними. Насамперед, гібридизація для більшості видів мікроорганізмів неможлива через відсутність статевого розмноження. Тому для збільшення різноманітності вихідного матеріалу здійснюють штучний мутагенез, а потім відбирають найпродуктивніші штами для подальшої роботи з ними; також застосовують методи генної і клітинної інженерії. Багато прокаріотів мають гаплоїдний

набір генів – єдину кільцеву молекулу ДНК, тому мутації проявляються вже в першому поколінні нащадків. Завдяки високим темпам розмноження можна швидко отримати потрібну кількість «мутантів» з певними властивостями. За допомогою вірусів-бактеріофагів, здатних переносити спадкову інформацію від однієї бактеріальної клітини до іншої, штучно об'єднують спадковий матеріал клітин з різних штамів чи видів.

Ключові терміни та поняття: **щеплення рослин, метод визначення якостей плідників за властивостями нащадків.**

Перевірте здобуті знання

1. Які методи застосовують у селекції рослин? Які їхні особливості? 2. Для чого здійснюють щеплення культурних рослин? 3. Як можна підвищити різноманітність вихідного матеріалу в селекції рослин? 4. Які особливості селекції тварин порівняно із селекцією рослин? 5. Що таке оцінка плідників за якостями нащадків? 6. З якою метою здійснюють селекцію мікроорганізмів і які її особливості?

Поміркуйте. Чим можна пояснити, що райони одомашнення тварин зазвичай збігаються із центрами походження культурних рослин?

§ 59. ОГЛЯД ТРАДИЦІЙНИХ БІОТЕХНОЛОГІЙ

Пригадайте, що таке ферменти, інтерферони, вітаміни, антибіотики, пестициди. Яка роль дощових червів у процесах ґрунтоутворення? Що таке біологічні методи боротьби із видами-шкідниками?

Біотехнологія (від грец. *біос* – життя, *техне* – мистецтво, майстерність і *логос* – учення) – сукупність промислових методів, у яких використовують організми або біологічні процеси. Біотехнологія виникла внаслідок взаємодії біологічних, хімічних і технічних наук. Завдання цієї науки – розв'язувати актуальні проблеми сучасного людства: забезпечення його продовольством, джерелами енергії, лікарськими препаратами, збереження та поліпшення стану навколишнього середовища.

Біохімічні процеси людина з давніх часів використовує для виробництва різних речовин і харчових продуктів (сирів, молочних продуктів, тіста, пива тощо), але сам термін «біотехнологія» у нинішньому його розумінні запропоновано лише в 70-х роках XX ст.

Використання біотехнологічних процесів, у яких задіяні мікроорганізми, у промислових масштабах можна проілюструвати схематично (мал. 59.1).

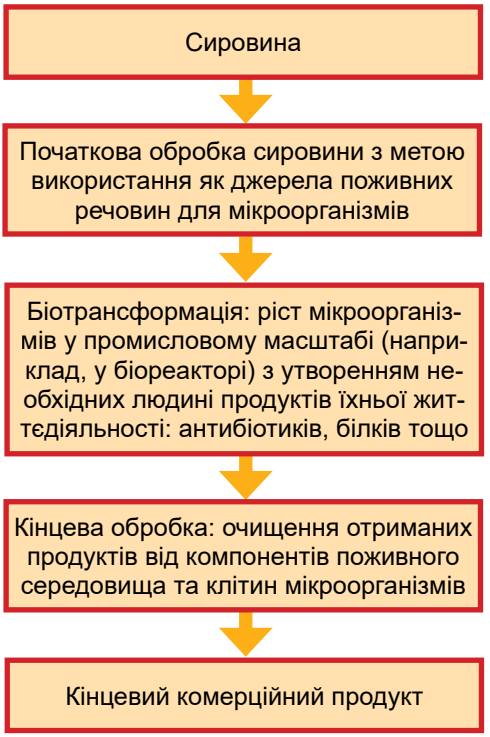
Цікаво знати

Уперше термін «біотехнологія» застосував угорський інженер **Карл Ерекі** 1917 р. для описання процесу широкомасштабного вирощування свиней. К. Ерекі запропонував використовувати цукровий буряк (***сировину***) як корм для свиней (***біотрансформація***) для отримання їхнього дешевого м'яса (***кінцевий продукт***).

Важко переоцінити роль біотехнології в галузі збереження здоров'я людини. За допомогою біотехнологій створено багато нових високоефективних лікарських препаратів (антибіотиків, вакцин, вітамінів,

амінокислот, гормонів та ін.), препаратів, призначених для ранньої діагностики захворювань тощо.

Використовуючи високопродуктивні штами мікроорганізмів людина збільшує випуск високоякісних продуктів харчування (кисломолочних, сирів тощо) і кормів для тварин (силос, кормові дріжджі) тощо. Селекціонери створили штами грибів, здатні синтезувати кормові білки з відходів рослинництва, нафти й нафтопродуктів, та штами бактерій, які можуть вилучати сполуки цінних рідкоземельних елементів і дорогоцінні метали з руд і промислових відходів. Бактерії поглинають їх з навколишнього середовища та накопичують у своїх клітинах. Мікроорганізми виробляють основну кількість харчової лимонної кислоти. В останні роки біотехнології дедалі ширше використовують для отримання біопалива.



Мал. 59.1. Основні етапи біотехнологічного процесу: від початкової обробки сировини до отримання очищеного кінцевого продукту

Переваги біопалива над традиційними джерелами енергії (нафтою, природним газом, кам'яним вугіллям та ін.) полягають у тому, що воно є прикладом відновлюваних джерел енергії. Біопаливо повністю розкладається мікроорганізмами і тому не забруднює довкілля. Останнім часом як сировину для отримання біопалива використовують сільськогосподарські рослини, такі як кукурудзу та сою (у США), льон і ріпак (у країнах Європи), цукрову тростину (у Південній Америці), пальмову олію (у Південно-Східній Азії). За участі мікроорганізмів побутові та промислові відходи можна перетворювати на біогаз.

Біопаливо – органічні матеріали, які людина використовує для отримання енергії (деревина, сільськогосподарська продукція, спирти тощо). Біопаливом вважають будь-яке паливо, у якому вміст продуктів, отриманих від організмів, не менше ніж 80 % від його об'єму.

Біотехнологічні методи застосовують для очищення навколишнього середовища, зокрема стічних вод і ґрунтів, від побутового і промислового забруднення. Вони базуються на здатності гетеротрофних бактерій і грибів розкладати органічні сполуки. Штучно створені штами руйнують сполуки, стійкі до впливу природних мікроорганізмів. За допомогою різних груп мікроорганізмів можна очищувати ґрунт, стічні води тощо від різноманітних забруднювачів, зокрема пестицидів. У

відходах харчової промисловості та залишках харчових продуктів залишається ще багато корисних для людини сполук. Отримати їх також допомагають сучасні методи біотехнології.

Штами мікроорганізмів, а також штучні популяції певних видів паразитичних нематод, кліщів і комах застосовують у ***біологічному методі боротьби*** зі шкідниками сільського та лісового господарств, членистоногими – паразитами свійських тварин і людини та кровосисними видами. Необхідною умовою використання організмів у біологічному методі боротьби зі шкідливими для людини видами є їхня безпека для інших організмів. Застосування цих методів зменшує рівень забрудненості довкілля шкідливими для здоров'я людини і свійських тварин сполуками. На великих фермах і птахофабриках личинок багатьох видів мух завдяки спеціальним біотехнологічним методикам використовують для швидкого перероблення посліду. Ці продукти перероблення використовують як добриво; а багатих на білки личинок вбивають гарячою водяною парою та у свіжому чи висушеному і розмеленому вигляді додають до кормів; це збільшує приріст біомаси свійських тварин.

Так само для перероблення органічних решток використовують деякі види дощових червів, наприклад **каліфорнійського червоного черв'яка** (наукова назва – гнойовий черв'як). Наслідком діяльності цього виду є створення високоефективного добрива – біогумусу (мал. 59.2). За допомогою селекції створено високопродуктивні поліплоїдні форми гнойового черв'яка.

Застосування певних видів дощових черв'яків дає змогу одночасно вирішувати різні важливі проблеми: утилізувати органічні рештки, які забруднюють довкілля (наприклад, відмерлі частини рослин) й одночасно отримувати комерційний продукт – високоефективне добриво.

Галузі господарства, де використовують біотехнологічні процеси, наведено в таблиці 3.

У своїй роботі біотехнологи використовують різні типи біологічних систем: віруси, мікроорганізми, багатоклітинні організми, їхні клітинні лінії тощо. Досить часто такі біологічні системи зазнають генетичної модифікації: їхній спадковий матеріал змінюється. Класичним об'єктом, який застосовують у біотехнології, є бактерія кишкова паличка. Ця бактерія входить до складу нормальної мікрофлори киш-

Мал. 59.2. Широко використовують для перероблення компостів (1) (суміш рослинних решток та посліду тварин) гнойового черв'яка (2). Наслідком діяльності цього виду є отримання біогумусу (3)

ківника людини, але трапляється і за його межами, наприклад у ґрунті та водоймах.

Таблиця 3

Застосування біотехнології в господарстві людини

Технологія	Галузь господарства				
	охорона здоров'я	**харчова промисловість**	**сільське господарство**	**енергетика**	**хімічна промисловість**
Бродіння	Ферменти, вітаміни, амінокислоти, діагностичні препарати	Лимонна кислота, ферменти, біополімери, виноробство, пивоваріння	Біологічні препарати для боротьби з видами-шкідниками	Енергетичні сполуки (етанол, біогаз тощо)	Етилен, ацетон, бутанол тощо
Генна інженерія	Інтерферони, гормони, вакцини		Біологічні препарати для боротьби зі шкідливими видами		
Клітинна інженерія (культури клітин і тканин)	Інтерферони, вакцини, антитіла	Кормові білки	Клонування свійських тварин		

Основні напрями досліджень у сучасній біотехнології такі: розроблення наукових засад створення нових біотехнологій за допомогою методів молекулярної біології, генетичної та клітинної інженерії; одержання й використання біомаси мікроорганізмів і продуктів мікробіологічного синтезу.

Біотехнологія **– це комплекс різних наук і технічних засобів, спрямованих на використання різних біологічних систем (вірусів, бактерій, одноклітинних та багатоклітинних еукаріотів) для отримання комерційного продукту, яким можуть бути як самі організми, так і продукти їхньої життєдіяльності (ферменти, інтерферони, антибіотики, вітаміни тощо).**

Ключові терміни та поняття: **біотехнологія, клітинні культури, пестициди, біологічні методи боротьби, біопаливо.**

Перевірте здобуті знання

1. Що таке біотехнологія? 2. Які завдання стоять перед біотехнологією? 3. З якими біологічними науками взаємодіє біотехнологія? 4. Які основні етапи біотехнологічного процесу? 5. Який зв'язок має біотехнологія із збереження й поліпшення стану навколишнього природного середовища?

Поміркуйте. Які перспективи в майбутньому відкривають перед людством застосування біотехнологій?

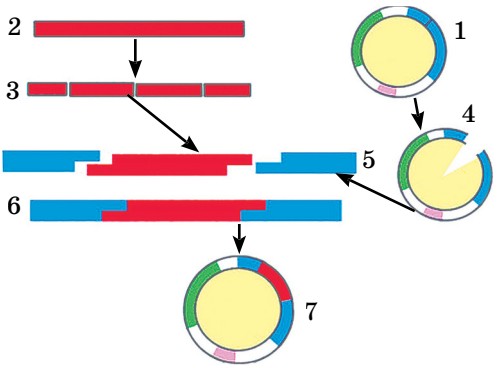
§60. ГЕНЕТИЧНА (ГЕННА) ІНЖЕНЕРІЯ. ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНІ ОРГАНІЗМИ

Пригадайте методи втручання у спадковий матеріал різних організмів. Чим представлено спадковий матеріал бактерій? Що таке рекомбінації? Які їхні джерела? Що таке геном, плазміди, кодон та антикодон? Що таке генна терапія та молекулярна діагностика спадкових захворювань? Що таке антибіотики?

Генна (генетична) інженерія. Завданнями ***генної (генетичної) інженерії*** є розроблення та вдосконалення методів перебудови геномів організмів видаленням або введенням окремих генів чи їхніх груп. Сучасні біотехнологічні процеси часто базуються на методах генної інженерії – отриманні рекомбінантних ДНК. Під ***рекомбінантними*** розуміють молекули ДНК, утворені шляхом об'єднання двох або більшої кількості фрагментів ДНК, виділених з різних джерел (мал. 60.1).

Як переносники (вектори) рекомбінантних молекул ДНК використовують віруси та плазміди. З генома, який містить певний ген, виділяють молекулу мРНК, на якій синтезують комплементарну нитку ДНК. Так виникає ДНК-РНК-комплекс, з якого мРНК видаляють, а на нитці ДНК, що залишилася, за принципом комплементарності синтезують другу. Її вбудовують у молекулу ДНК плазміди, яка слугує переносником.

За іншої методики молекулу ДНК розділяють на окремі фрагменти. Далі ці фрагменти сполучають із заздалегідь переведеною у лінійну форму молекулою векторної ДНК. У такому вигляді вони потрапляють усередину клітини, відділяються від переносника та приєднуються до ДНК хазяїна. Під час перенесення із клітини в клітину еукаріотів метафазних хромосом вони зазвичай розпадаються на фрагменти, одні з яких зникають, інші – вбудовуються в хромосому клітини-хазяїна.



Мал. 60.1. Технологія створення рекомбінантної молекули ДНК: 1 – плазміда, виділена з клітини бактерії; 2 – молекула ДНК, фрагмент якої цікавить дослідників; 3 – дослідники за допомогою ферментів розшивають молекулу ДНК на фрагменти; 4 – за допомогою відповідного ферменту розшивають плазміду; 5 – з молекули ДНК за допомогою ферментів виділяють фрагмент; 6 – фрагмент молекули ДНК вставляють у плазміду (зверніть увагу, під час вшивання фрагмента ДНК використовують комплементарні кінці цієї молекули та плазміди; знайдіть їх на малюнку); 7 – плазміда із вбудованим фрагментом молекули ДНК

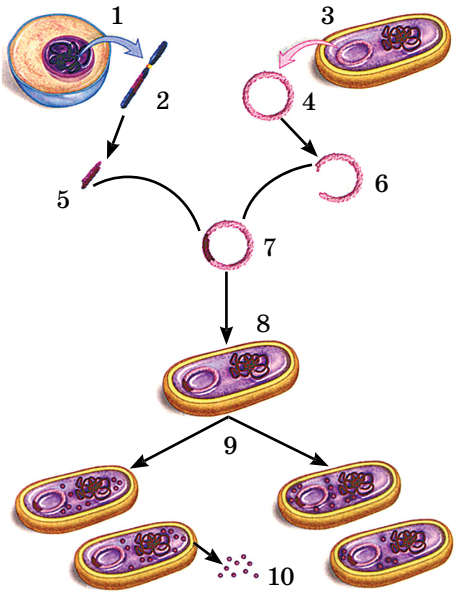
Методика рекомбінантної ДНК пов'язана з перенесенням генетичного матеріалу (молекули нуклеїнової кислоти або її фрагменту) з одного організму в інший.

Об'єктами досліджень генної інженерії раніше були переважно прокаріоти. Наприклад, у геном бактерій введено гени пацюка і людини, які відповідають за синтез гормону інсуліну, потрібного хворим на цукровий діабет (мал. 60.2). Але часто недостатньо просто ввести гени еукаріотів у прокаріотичну клітину, ще необхідно змусити їх «працювати». Для цього потрібно, щоб ці гени потрапили під контроль регуляторних елементів клітини хазяїна.

Практичне застосування результатів генної інженерії. Завдяки методам генної інженерії від генетично змінених бактеріальних клітин отримано білки інтерферони (захищають організми людини і тварин від вірусних захворювань, наприклад грипу, пригнічуючи розмноження вірусів), гормон росту (дає можливість лікувати деякі форми карликовості), вакцини проти збудників дифтерії, гепатиту В та ін. Перелік медичних препаратів, отриманих за допомогою методів генної інженерії, щорічно зростає. Наприклад, з використанням різних штамів цвілевих грибів, актиноміцетів, бактерій отримують понад 4500 різних видів антибіотиків.

Слід зазначити, що будь-який ген (відповідний фрагмент ДНК) можна синтезувати біохімічним шляхом. Уперше це зробив американський учений **Х. Г. Хорана**, який 1970 р. синтезував ген тРНК дріжджів. Результати досліджень у галузі генної інженерії важливі і для розвитку теоретичної біології. Завдяки їм було зроблено важливі відкриття про будову та функціонування генів, структуру геномів різних видів та ін.

Для генної інженерії важливим є створення ***банків генів***, тобто колекцій генетичного матеріалу. Зокрема це може бути насіння рослин. Але переважно застосовують кріоконсервації: збереження в умовах низьких температур статевих і соматичних клітин, тканин організмів. Цей



Мал. 60.2. Перенесення генів у бактеріальну клітину: 1 – клітина людини; 2 – молекула ДНК клітини людини; 3 – клітина бактерії; 4 – бактеріальна плазміда; 5 – ген, який кодує гормон інсулін; 6 – за допомогою ферменту бактеріальну плазміду «розшивають»; 7 – за допомогою іншого ферменту вводять ген гормону інсуліну в бактеріальну плазміду, отримуючи рекомбінантну ДНК; 8 – плазміду-переносник уводять у клітину бактерії; 9 – під час розмноження бактеріальної клітини відбувається клонування гену інсуліну; 10 – молекули синтезованого інсуліну

метод забезпечує тривале зберігання такого матеріалу. Банки генів широко застосовують у селекції, для збереження біорізноманіття нашої планети.

Застосування методів генної інженерії в медицині. *Пригадаймо*: перспективним напрямом медичної генетики є *генна терапія* – медична процедура, під час якої у хворого вилучають певні типи клітин (крові, епітелію шкіри або кишківника тощо), замінюють їхні дефектні алельні гени нормальними, а потім вводять їх в організм. Завдяки цьому в організмі людини з хворобою можуть синтезуватися білки, яких до цього не вистачало.

За певних онкологічних та інфекційних захворювань методами генної терапії можна пригнічувати активність генів, не притаманну нормальній клітині, або, навпаки, посилювати її (наприклад, для посилення синтезу гемоглобіну в осіб серпоподібноклітинною анемією; *пригадайте*, що це за захворювання.

Ще одним напрямом генної терапії, що ґрунтується на методиках визначення алелів, які зумовлюють певні спадкові захворювання або схильність до них, є молекулярна діагностика спадкових захворювань, про яку ви дізналися з § 39. Методи молекулярної діагностики дають можливість поставити діагноз задовго до появи симптомів захворювання і, відповідно, розпочати профілактику або лікування.

Цікаво знати

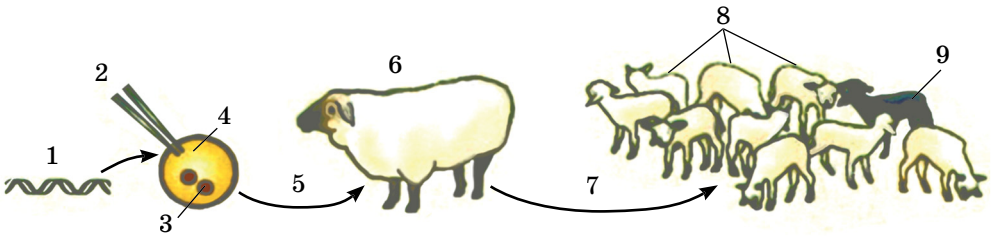
Нині на стадії розроблення (й навіть клінічних випробувань) є кілька сотень проєктів, спрямованих на лікування онкологічних, інфекційних (СНІД, гепатит, туберкульоз) та спадкових захворювань.

Генетично модифіковані організми. Нині багато уваги приділяють ***генетично зміненим***, або ***трансгенним, організмам*** (їх ще називають ***генетично модифікованими організми – ГМО***). Наприклад, методами генної інженерії в геном рослин уводять певні гени, які забезпечують стійкість до дії пестицидів, шкідників, збудників захворювань, інших несприятливих факторів навколишнього середовища. Зокрема, до геному певних сортів картоплі вбудовують гени бактерій, що робить цю рослину неїстівною для колорадського жука. Генетично модифіковані організми часто мають підвищені показники продуктивності та плодючості, що важливо для розв'язання проблеми забезпечення людства продуктами харчування.

З 1996 р. у США, Канаді, Аргентині та інших країнах розпочали масово вирощувати генетично змінені рослини. Але до таких організмів, доки вони не пройдуть належної всебічної перевірки, слід ставитись обережно. Є дані, що споживання генетично змінених рослин може спричиняти в людини харчові алергії та отруєння, погіршення здоров'я тощо. Невідомо також, впливатиме чи ні їхнє споживання на генотип людей і як генетично змінені організми впливатимуть на природні екосистеми, їхнє біологічне різноманіття.

Цікаво знати

Дискусії щодо трансгенних організмів зумовили прийняття в Україні закону «Про державну систему біобезпеки під час здійснення генетично-інженерної



Мал. 60.3. Метод отримання трансгенних тварин: 1 – ДНК-конструкція; 2 – позаядерна реакція; 3 – проядро; 4 – запліднена яйцеклітина; 5 – імплантація; 6 – самка-раципієнт (сурогатна матір); 7 – вагітність; 8 – нетрансгенні нащадки; 9 – трансгенний засновник

діяльності». Він передбачає обов'язкову наукову оцінку ризику застосування генетично змінених організмів.

Біологічна безпека (біобезпека) **– збереження організмами своєї біологічної сутності, біологічних якостей та запобігання масштабним втратам біологічної цілісності унаслідок впливу генної або клітинної інженерії на органи, тканини та організми; проникнення в екосистеми невластивих для них видів; забруднення природних ресурсів (ґрунту, води, харчових ресурсів) тощо.**

Процес створення трансгенних тварин складніший, ніж рослин (мал. 60.3). Фрагмент молекули ДНК іншого виду вводять у запліднену яйцеклітину, яка ділиться у штучних умовах. Так вирощують ембріон до стадії бластули. Потім цей ембріон імплантують у так звану сурогатну матір. Після народження нащадків сурогатною матір'ю їх перевіряють на наявність введених генів, аналізуючи ДНК молекулярно-генетичними методами. У разі підтвердження наявності введених генів у нащадків їх схрещують між собою для отримання чистих трансгенних ліній. Така селекція триває досить швидко; наприклад, для створення невеликої групи трансгенних кіз потрібно лише 1,5–2 роки. Одними з перших трансгенних тварин були миші, у геном яких вбудовано ген гормону росту пацюка. Деякі з них швидко росли та досягали велетенських порівняно з контрольними особинами розмірів.

Ключові терміни та поняття: **генна (генетична) інженерія, банк генів, генетично модифіковані організми (ГМО), біобезпека.**

Перевірте здобуті знання

1. Які завдання генної інженерії? 2. Які методики генна інженерія використовує в своїх дослідженнях? 3. Що собою становлять рекомбінантні молекули ДНК? Як їх можна отримати? 4. Які організми називають генетично модифікованими? 5. Які перспективи застосування генетичної інженерії в медицині? 6. Що таке банки генів? З якою метою їх створюють?

Поміркуйте. Яка роль генної інженерії в розвитку теоретичної біології.

§61. КЛІТИННА (ТКАНИННА) ІНЖЕНЕРІЯ

Пригадайте, що таке культури клітин. Які клітини називають стовбуровими? Що таке плацента?

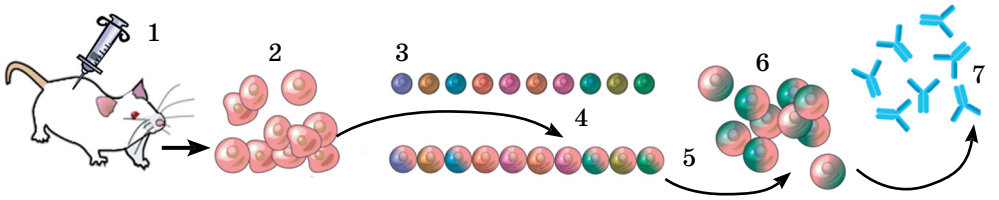
Клітинна (тканинна) інженерія – галузь біотехнології, у якій використовують методи виділення клітин з організму, їхньої перебудови і вирощування на поживних середовищах (створення культури клітин; так звані ***цитотехнології***). *Пригадаймо*: такі культури дають змогу отримати важливі сполуки: вітаміни, гормони, фітогормони, цілющі препарати (наприклад, женьшеню) у потрібних кількостях, що значно знижує їхню собівартість. Вони слугують для різноманітних експериментів, наприклад, вивчення дії лікарських препаратів та інших речовин тощо. Культури клітин застосовують і для культивування вірусів, які згодом можуть бути використані як переносники в генній інженерії, для діагностики вірусних захворювань чи отримання вакцин. Ще один з важливих напрямів цитотехнології – діагностування патологій різних органів завдяки дослідженню виділених з них клітин.

Методами клітинної інженерії здійснюють віддалену ***гібридизацію соматичних клітин*** організмів, яку неможливо зробити іншим способом (людини і миші, людини і моркви, курки і дріжджів тощо) (див. мал 57.5). За допомогою цього методу можна з'єднати в одну кілька попередньо оброблених соматичних клітин (зокрема, у клітин рослин треба зруйнувати клітинні оболонки), які належать віддаленим щодо систематичного положення організмам. Для рослин така процедура може привести до виведення нового сорту з новими властивостями.

***Клітинна інженерія*, або *цитотехнології*, – це напрям біології, який спеціалізується на культивуванні рослинних і тваринних клітин та тканин поза організмом з метою отримання потрібних людині сполук.**

За допомогою гібридизації лімфоцитів (здатних виробляти антитіла певного типу) та пухлинних клітин (здатних необмежено розмножуватись у культурі) отримують так звані ***гібридоми*** – клітини, що виробляють високоспецифічні антитіла (мал. 61.1). Вони знищують клітини злоякісних пухлин, не діючи на здорові. Також за допомогою гібридизації здійснюють: штучне запліднення – злиття статевих клітин, яке неможливе природним шляхом; перенесення клітин з культури в організм тощо. Генетично модифіковані ембріональні клітини (після їх розмноження в культурі) вводять в ембріон на стадії бластули та поміщають такий ембріон у сурогатну матір.

Одним з напрямів клітинної інженерії є ***використання стовбурових клітин*** для відновлення ушкоджених тканин та органів. У лабораторних умовах можливі розмноження та подальша спеціалізація стовбурових клітин. Це уможливлює штучне вирощування тканин та деяких органів людини і тварин з метою їхнього подальшого введення в організми. Властивістю стовбурових клітин є те, що вони можуть кровоносною системою просуватись до джерела ураження й відновлю-



Мал. 61.1. Технологія отримання гібридом: 1 – імунізація миші: їй вводять антигени, під впливом яких активуються В-лімфоцити (2), що продукують антитіла; 3 – культура клітин мієломи (так називають онкологічне захворювання, унаслідок якого відбувається неконтрольований поділ клітин); 4 – злиття клітин В-лімфоцитів та мієломних клітин, унаслідок чого отримують гібридоми (5); 6 – отримання культури гібридом; 7 – отримання високоспецифічних антитіл, які використовують для знищення злоякісних пухлин

вати пошкоджені органи та тканини. У лабораторних умовах можна стимулювати стовбурові клітини до розмноження та подальшої спеціалізації. Це відкриває перспективи отримати тканини та органи людини й тварин поза організмом з метою їхнього подальшого введення в організм. Як вихідний матеріал стовбурових клітин людини використовують, наприклад, клітини пупкового канатика, що сполучає зародок з організмом матері, або плаценти. Встановлено, що пуповинна кров, яка містить стовбурові клітини, може бути використана в майбутньому при лікуванні різноманітних захворювань.

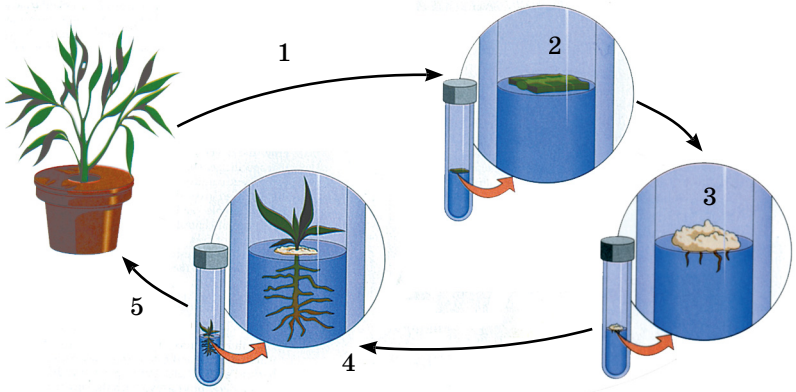
Крім етичних проблем, на шляху до широкого впровадження методик пересаджування стовбурових клітин або отриманих з них тканин чи органів є багато невирішених наукових питань. Зокрема, важко досягти того, щоб організм розпізнавав уведені тканини чи органи як «свої» та не боровся з ними. Тому нині стовбурові клітини використовують для лікування лише незначної кількості захворювань. Зокрема, на піддослідних тваринах показано, що після введення їхніх власних стовбурових клітин, отриманих із червоного кісткового мозку, в уражений після інфаркту серцевий м'яз, він майже повністю відновлювався.

Клонування організмів – ще один напрям клітинної інженерії.

Клон – це сукупність клітин або особин, отриманих від спільного предка нестатевим шляхом.

Клон складається з генетично однорідних клітин або організмів. Клонування організмів базується на тому, що кожна соматична клітина містить повну генетичну інформацію, притаманну даному організму. Тому з неї, за певних умов, теоретично можна виростити цілий організм. Для рослин, які здатні розмножуватися вегетативним шляхом (тобто відокремленням груп соматичних клітин), така процедура є звичайною в сучасній біотехнології (мал. 61.2).

Методика клонування тварин починається з того, що з незаплідненої яйцеклітини видаляють ядро і пересаджують до неї ядро соматичної клітини іншої особини. Після цього таку штучну зиготу імплантують у



Мал. 61.2. Клонування рослин: 1 – отримання клітинного матеріалу від рослини-донора; 2 – культивування клітин на штучному поживному середовищі; 3 – отримання культури недиференційованих клітин; 4 – завдяки диференціації клітин з'являються тканини та органи клонованої рослини; 5 – клоновану рослину висаджують у ґрунт

матку самки, де й розвивається ембріон. Цю методику створено в розрахунку на можливість отримувати від цінних за своїми якостями плідників необмежену кількість нащадків, які є їхньою точною генетичною копією. Але оскільки в кожній спеціалізованій соматичній клітині тварин певні групи генів заблоковано, для клонованих організмів (отриманих уже для багатьох хребетних тварин) характерний високий рівень смертності, вкорочений час життя та поява різних аномалій. Отже, хоча роботи з клонування тварин мають вагомий науковий інтерес, практична цінність їх наразі залишається невисокою. У принципі можна клонувати й людину, проте в багатьох країнах це заборонено законодавством, насамперед, з етичних міркувань.

Гістотехнології – напрям досліджень, який розробляє методики тривалого зберігання (консервації) тканин поза організмом і виготовлення тканинних та клітинних препаратів для наступного вивчення й практичного застосування. Гістотехнологічні методи дають змогу вчасно встановити наявність патологічних змін у тканинах, які свідчать про розвиток певного захворювання, зокрема злоякісних пухлин.

Патологія (від грец. *патос* – страждання та *логос* – учення) – наука про структурні, біохімічні та функціональні зміни в клітинах, тканинах та органах, спричинені хворобою.

Ключові терміни та поняття: **клітинна (тканинна) інженерія, гібридизація соматичних клітин, гібридоми, клонування організмів, гістотехнології.**

Перевірте здобуті знання

1. Які завдання клітинної (тканинної) інженерії? 2. Що таке клонування організмів? Яка методика цього процесу? 3. З якими проблемами стикаються дослідники під час клонування організмів? 4. З якою метою отримують гібридоми? Яка методика цього процесу? 5. Що таке гістотехнології? Яке їхнє практичне застосування?

Поміркуйте. Батькам при народженні дитини часто пропонують збирати пуповинну кров і зберігати її в умовах низьких температур у банках крові. Яке це може мати значення для збереження здоров'я такої людини.

§62. БІОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА МЕДИЦИНИ. БІОЕТИКА

Пригадайте, що таке патологія. Які залози називають ендокринними? У чому полягає метод полімеразної ланцюгової реакції? Що таке реакція антиген-антитіло?

Біологія як основа медицини. Між різноманітними біологічними науками та медициною існує тісний зв'язок.

Медицина **– система наукових знань та практичної діяльності, спрямованих на збереження та поліпшення здоров'я людини, профілактику, діагностику та лікування різноманітних захворювань.**

Тісні зв'язки біології з медициною зокрема пояснюють тим, що сучасний кваліфікований лікар має бути обізнаний з різноманітними біологічними науками. Унаслідок такої взаємодії виникли такі дисципліни, як медична генетика (*пригадайте* медико-генетичне консультування), медична паразитологія (наука, яка вивчає паразитів людини і хвороби, які вони викликають) тощо.

Зокрема глибокі знання з біології потрібні фахівцям у галузі клінічної медицини (діагностика та лікування хворих), сімейної медицини (завдання сімейного лікаря – збереження та відновлення здоров'я людини та членів її родини), профілактичної медицини (запобігання захворюванням, зокрема – проведення профілактичних щеплень), педіатрії (питання профілактики та лікування захворювань у дітей), військової медицини (питання збереження здоров'я військослужбовців, профілактики та лікування травм і хвороб), лабораторна діагностика (за допомогою різноманітних методів здійснює виявлення збудників інфекційних та інвазійних захворювань людини, що дає змогу лікарям встановлювати точний діагноз) тощо.

У сучасній лабораторній діагностиці захворювань людини дедалі ширше використовують методи полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР) та імуноферментного аналізу (ІФА).

Якщо метод ПЛР дає змогу встановити наявність збудника певного захворювання в організмі за допомогою виявлення його генетичного матеріалу, то методи ІФА базуються на реакції антиген – антитіло. Потрапляння в організм збудників захворювань або сполук, які він сприймає як антигени, стимулюють вироблення специфічних антитіл, які зв'язують відповідні антигени. Проте, цей метод дає можливість встановити те, що людина перехворіла на певне захворювання, навіть якщо збудник цього захворювання в організмі відсутній. Слід зазначити, що метод ІФА досить точний і значно дешевший порівняно з методом ПЛР. Однак метод ІФА не можна застосовувати для діагностики захворювання, коли паразити щойно потрапили в організм хазяїна, адже для вироблення антитіл потрібний певний час.

Біологічна етика (біоетика). Стрімкий науковий прогрес, зокрема й у галузі біології та медицини, іноді ставить дослідників перед питанням: чи варто з метою отримання швидкого результату нехтувати певними моральними засадами, яких людське суспільство притримувалося впродовж багатьох віків. Зокрема це стосується прав людини та поваги до життя тварин. Розв'язати ці питання покликана біоетика.

Біоетика (від грец. *біос* – життя та *етикос* – моральний) – вчення про моральні аспекти діяльності людини у галузі біології (селекції, біотехнології, генетичної інженерії тощо) та медицини.

Теоретичною основою біоетики є моральна оцінка діяльності людини та її наслідків. Зокрема вона опікується питаннями відносин лікарів та їхніх пацієнтів, а також людини та об'єктів навколишнього середовища – організмами та їхніми угрупованнями.

Цікаво знати

Розпочиналась біоетика з розроблення моральних засад поводження людини з лабораторними тваринами. Згодом коло проблем значно розширилося, включно з питаннями соціальних і правових аспектів, наприклад, у взаємовідносинах лікаря та пацієнта. Термін біоетика вперше застосував німецький пастор **Фріц Яр** (1895–1953).

Питання, якими опікується біоетика, часто складні і не мають однозначної відповіді. Наприклад, проблеми етичного плану зокрема виникають у разі штучнго втручання в геноми. Зміна генотипів організмів, особливо людини, може призвести до непередбачених наслідків незалежно від намірів експериментаторів (*поміркуйте* чому). Тому подібні дослідження мають проводитись із дотриманням вимог біоетики.

Складним питанням є й вилучення органів і тканин у померлої людини. З одного боку, органи для трансплантації мають бути вилучені у найкоротші терміни (*поміркуйте* чому), з іншого – постає питання фіксації факту смерті потенціального донора. А раптом існує хоча б найменший шанс реанімувати таку людину? Адже можливо пацієнт перебуває у стані клінічної смерті.

Клінічна смерть – стан організму, який виникає після зупинки дихання та кровообігу та триває до 5 хвилин. У цей час зникають усі зовнішні прояви життєдіяльності, але зберігається можливість їх поновити, застосовуючи методи реанімації.

Питання біоетики стосуються і трансплантації органів людині від тварин. Захисники прав тварин, які вважають неетичним вилучення для трансплантації органів у тварин. Вони вважають, що тварини мають таке саме право на життя, як і людина.

Медична і наукова спільнота дійшла одностайної думки, що лікар-учений не може бути вище за загальнолюдські цінності. Приймаючи рішення, поряд з науковими інтересами, що, безумовно, сприятимуть розвитку теоретичної і практичної медицини, лікар має брати до уваги моральні цінності. У галузі медицини основними принципами біоетики є: пошана людської гідності і принцип «твори добро і не заподіюй зла!».

Біоетика, яка також також регулює поведінку людей з позицій збереження життя на Землі, відіграє дедалі більшу роль у суспільстві. Нехтування правами людини на здорове довкілля призвело до того, що сучасне людське суспільство постало перед загрозою всеосяжної екологічної кризи, яка загрожує масовому вимиранню видів тварин і рослин.

Отже, сучасна біоетика має два основних напрями:

- медичний, який стосується відносин «лікар-пацієнт» (медична біоетика);
- екологічний, що обґрунтовує цінність і права окремих живих істот і цілісних природних екосистем на існування.

Ключові терміни та поняття: **медицина, біомедицина, полімерна ланцюгова реакція (ПЛР), імуноферментний аналіз (ІФА), біоетика.**

Перевірте здобуті знання

1. Дайте визначення поняттю медицина. 2. Схарактеризуйте зв'язки біології та медицини. 3. Що собою становить біомедицина? 3. Для чого в лабораторній діагностиці застосовують методи ПЛР та ІФА? 4. Що таке біоетика? Які її завдання? 5. Які питання вирішує медична біоетика?

Поміркуйте. Які проблеми етичного плану можуть виникнути під час клонування людини?

Узагальнення

Основні властивості живих систем

Питання про появу і суть життя здавна хвилювали вчених, філософів і широкі верстви населення; це зрозуміло, адже ми самі – живі істоти. Незважаючи на бурхливий розвиток біологічних наук, застосування сучасних біохімічних, молекулярно-генетичних методів досліджень, методів генної та клітинної інженерії, електронної мікроскопії та складної обчислювальної техніки, сутність життя досі залишається загадковою для людства. Сучасна наука не здатна штучно створити навіть найпростіший організм, невідомі причини появи життя на нашій планеті. Тому дотепер визначення життя має лише описовий характер і складається з перерахування його основних форм і властивостей:

1. Організми складаються з тих самих хімічних елементів, що й неживі тіла. На відміну від неживої природи, процентне співвідношення хімічних елементів у всіх живих істотах майже однакове (пригадайте його).

2. Живі істоти складаються з особливих, переважно високомолекулярних, органічних сполук, води й деяких інших неорганічних речовин. Серед органічних речовин основні – це білки, нуклеїнові кислоти, вуглеводи й ліпіди.

3. Обмін речовинами та енергією з навколишнім середовищем – необхідна умова існування живих систем. Дві його сторони – асиміляція (пластичний обмін) й дисиміляція (енергетичний обмін), взаємно врівноважуючись, забезпечують динамічну сталість будови та властивостей внутрішнього середовища біологічних систем, що складає основу їхньої здатності до ***саморегуляції.***

4. Жива матерія характеризується різними взаємопов`язаними рівнями організації: молекулярним, клітинним, організмовим, популяційно-видовим, екосистемним (біогеоценотичним) і біосферним.

5. Живі істоти здатні до розмноження, росту та індивідуального розвитку. Усі нові клітини та організми утворюються завдяки розмноженню материнських клітин та організмів.

6. Спадкова інформація закодована у вигляді певної послідовності нуклеотидів молекул нуклеїнових кислот (ДНК чи вірусної РНК). Під час поділу клітини вона або повністю (мітотичний поділ), або частково (мейотичний поділ) передається кожній з дочірніх клітин.

7. Генотип реалізується у фенотипі під час матричного синтезу білків і може змінюватися за рахунок мутацій і рекомбінацій. Фенотип формується за рахунок взаємодії генотипу організму з факторами навколишнього середовища.

8. Процеси життєдіяльності клітин забезпечуються органелами, а багатоклітинних організмів – ще й тканинами та органами.

9. Для всіх живих істот характерна подразливість: здатність сприймати подразники внутрішнього та зовнішнього середовища і певним чином на них відповідати.

10. Функції організмів регулюються біологічно активними речовинами (наприклад, фітогормонами), а більшості багатоклітинних тварин – ще й нервовою (шляхом рефлексів), ендокринною (за допомогою гормонів та інших біологічно активних речовин) та імунною системами.

11. Еволюція – процес виникнення адаптацій організмів до змін навколишнього середовища в послідовних рядах поколінь. Здатність живих істот та надорганізмових живих систем пристосовуватись до умов середовища життя – показник ступеня їхньої ***екологічної пластичності***. Процес формування адаптацій відбувається в елементарних еволюційних одиницях – популяціях, при цьому екосистеми (біогеоценози) слугують середовищем еволюції. Темпи еволюції залежать від швидкості змін умов довкілля.

12. Живі системи всіх рівнів організації можуть нормально функціонувати лише за умови підтримання їхнього гомеостазу.

Можливості й перспективи застосування досягнень біології у забезпеченні існування людства. Біологічні дослідження потрібні для створення наукових основ прогнозування та планування розвитку збалансованого процвітаючого людського суспільства майбутнього. Для цього необхідно відвернути наявну загрозу біосферної кризи, яку в пресі часто називають «екологічною». Причина загрози сучасної екологічної кризи у змінах біосфери, спричинених господарською діяльністю людини.

Одне з важливих завдань біології – це вивчення біорізноманіття істот нашої планети. Воно далеко незавершене: учені-систематики вважають, що невідомими науці залишаються щонайменше один чи декілька мільйонів видів нині існуючих живих організмів.

Значні перспективи має ***генетична*** (***генна***) ***інженерія***. Крім практичних напрямів (підвищення продуктивності штамів мікроорганізмів, перенесення в клітини прокаріотів генів еукаріотів, які відповідають за синтез важливих сполук (вітамінів, гормонів, ферментів тощо), у майбутньому вона зможе розв'язувати глобальні проблеми. Так, у галузі боротьби зі спадковими захворюваннями будуть розроблені методи вилучення з хромосом генів – носіїв інформації про ці захворювання, із заміною на безпечні алелі, та інші способи змін генотипу. А перенесення генів бактерій, які визначають здатність до фіксування атмосферного азоту, до хромосом вищих рослин дало б можливість значно економити кошти, які витрачаються на виробництво і внесення азотних добрив, а також знизило б небезпеку забруднення довкілля нітратами. Для подальшого розвитку генетичної інженерії створюють банки генів – колекції генів різноманітних організмів, вбудованих в плазміди.

Широко застосовуватимуть у майбутньому генетично змінені, так звані ***трансгенні***, або ***генетично модифіковані***, ***організми***. Вони часто характеризуються стійкістю до впливу несприятливих чинників, високою продуктивністю і плодючістю, що може допомогти розв'язати проблему забезпечення людства продуктами харчування.

Багато чекають у майбутньому від ***клітинної інженерії***. Унаслідок штучного поєднання соматичних клітин організмів різних видів, що можуть належати до різних родів і родин, буде отримано багато високопродуктивних гібридів. Гібридизація соматичних клітин дає можливість створювати препарати, які підвищують стійкість організму до різноманітних інфекцій.

Завдяки виділенню соматичних клітин з організму та перенесенню на поживні середовища будуть створювати культури клітин (тканин) для отримання цінних речовин, що значно зменшить їхню собівартість і припинить вилучення лікарських рослин та інших організмів з природи. Крім того, оскільки соматичні клітини містять усю спадкову інформацію, притаманну особині, існує можливість вирощувати із них значну кількість нащадків з ідентичними спадковими властивостями, тобто здійснювати клонування.

Застосування ***стовбурових клітин*** у медицині дасть можливість лікувати різноманітні захворювання, зокрема онкологічні, відновлювати ушкоджені органи, омолоджувати організм тощо.

На завершення нашого курсу автори цього підручника бажають вам успіхів у вивченні та збереженні різноманітного і чудового світу живої природи.

ЗМІСТ

Дорогі дев'ятикласниці та дев'ятикласники! 3

Вступ

§1. Біологія – комплексна наука про живу природу. Рівні організації біологічних досліджень 4
§2. Основні методи біологічних досліджень 8

Тема 1. Хімічний склад клітини

§3. Вода та її фізико-хімічні властивості. Інші неорганічні сполуки 12
§4. Поняття про органічні речовини. Ліпіди та вуглеводи 15
§5. Білки, їхня структурна організація та властивості 19
§6. Основні функції білків. Ферменти, їхня роль у клітині 24
§7. Нуклеїнові кислоти. Властивості та функції РНК 27
§8. Будова, властивості і функції ДНК 30
§9. Аденозинтрифосфатна кислота (АТФ) – універсальна енергетична сполука 33
Практична робота 1. Розв'язання елементарних вправ зі структури білків та нуклеїнових кислот 35

Тема 2. Структура клітини

§10. Типи мікроскопії 37
§11. Структура еукаріотичної клітини: поверхневий апарат 40
§12. Будова еукаріотичної клітини: цитоплазма, рибосоми, органели руху, клітинний центр 46
§13. Будова еукаріотичної клітини: ендоплазматична сітка, комплекс Гольджі, лізосоми, вакуолі 50
§14. Будова еукаріотичної клітини: мітохондрії і пластиди 53
§15. Ядро: будова та функції 56
§16. Типи клітин та їхня порівняльна характеристика. Будова прокаріотичної клітини 61

Тема 3. Принципи функціонування клітин

§17. Обмін речовин та перетворення енергії в клітині. Клітинне дихання 65
§18. Енергетичний обмін. Кисневий (аеробний) етап 69
§19. Особливості процесів пластичного обміну. Фотосинтез: світлова фаза 73
§20. Фотосинтез: темнова фаза. Хемосинтез 76

Тема 4. Збереження та реалізація спадкової інформації

§21. Особливості організації генів і геномів прокаріотичних та еукаріотичних організмів 80
§22. Роль різних типів молекул РНК у кодуванні та реалізації спадкової інформації. Генетичний код 83
§23. Біосинтез білків 87
Практична робота 2. Розв'язування елементарних вправ з реплікації, транскрипції та трансляції 91
§24. Клітинний цикл. Мітоз 94
§25. Мейоз 97

§26. Статеві клітини і запліднення 101
§27. Процеси запліднення 104
§28. Етапи індивідуального розвитку організмів 109
§29. Післязародковий розвиток організмів 113

Тема 5. Закономірності успадкування ознак

§30. Генетика – наука про закономірності спадковості й мінливості організмів 115
§31. Класичні методи генетичних досліджень 119
§32. Закономірності спадковості, які встановив Г. Мендель 124
Практична робота 3. Складання схем схрещування 129
§33. Явище зчепленого успадкування. Хромосомна теорія спадковості... 130
§34. Генетика статі. Успадкування, зчеплене зі статтю 133
§35. Генотип організму як цілісна інтегрована система 137
§36. Форми мінливості. Модифікаційна мінливість – наслідок взаємодії генотипу та умов довкілля 140
§37. Види мутацій та причини їх виникнення 144
§38. Причини виникнення мутацій. Властивості мутацій 146
§39. Спадкові захворювання людини. Генетичне консультування 151

Тема 6. Еволюція органічного світу

§40. Процес еволюції як універсальна властивість біологічних систем ... 156
§41. Еволюційні погляди Ж.-Б. Ламарка. Теорія еволюції Ч. Дарвіна ... 159
§42. Основні положення сучасної теорії еволюції. Популяція як елементарна одиниця еволюції 163
§43. Видоутворення. Основні напрями еволюційного процесу 167
§44. Роль різних наук в обґрунтуванні теорії еволюції 173
§45. Світоглядні та наукові погляди на походження та історичний розвиток життя 177
§46. Етапи еволюції людини 182

Тема 7. Біорізноманіття

§47. Основи еволюційної філогенії та систематики 188
§48. Неклітинні форми життя – віруси 191
§49. Прокаріоти 195
§50. Еукаріоти 198

Тема 8. Надорганізмові біологічні системи

§51. Екологія. Екосистема та її характеристики 203
§52. Трофічні зв'язки та потоки енергії в екосистемах 206
§53. Біотичні, абіотичні та антропогенні екологічні фактори 211
§54. Стабільність екосистем і причини її порушення 214
§55. Біосфера як цілісна екологічна система 217
§56. Основні заходи щодо охорони навколишнього середовища 220

Тема 9. Біологія як основа біотехнології та медицини

§57. Завдання сучасної селекції 228
§58. Особливості селекції тварин, рослин та мікроорганізмів 233
§59. Огляд традиційних біотехнологій 238
§60. Генетична (генна) інженерія. Генетично модифіковані організми.... 242
§61. Клітинна (тканинна) інженерія 246
§62. Біологія як основа медицини. Біоетика 249
Узагальнення. Основні властивості живих систем 252