



## Тема **7** Генотип як цілісна система

Під час вивчення теми ви дізнаєтесь про основні закономірності функціонування генів у про- і еукаріотів; про результати досліджень у галузі генетики людини; роль генотипу і середовища у формуванні фенотипу; закономірності диференціації клітин; генетичні основи селекції; химерні та трансгенні організми; основні напрями сучасної біотехнології. Ви також навчитеся обережному ставленню до вживання продуктів із використанням генетично модифікованих організмів; оцінювати можливі наслідки застосування сучасних біотехнологій.

### § 13. ОСНОВНІ ОСОБЛИВОСТІ ГЕНОМУ ВІРУСІВ І ПРОКАРІОТІВ



**Аби краще засвоїти матеріал цього параграфа, слід пригадати:** що таке ген, геном, генотип, регуляторні та структурні гени, екзони, інтрони? Які особливості організації та функціонування бактеріофагів? Що таке плазмід?

Дослідження організації геному неклітинних форм життя (віруси, віроїди тощо) та різних груп організмів, а також закономірностей функціонування генів має теоретичне та важливе практичне значення. Зокрема ці знання вчені з успіхом використовують у селекції організмів, біотехнології тощо.

#### Які особливості організації геному вірусів?

Досить детально вивчений геном одного з бактеріофагів –  $\phi$ X-174. Його кільцева молекула ДНК містить лише 10 генів. Така незначна кількість генів компенсується тим, що спадкова інформація з одних і тих само генів може зчитуватись у різний спосіб. Наприклад:

**АУГ\_ГАЦ\_ЦГУ\_ААЦ\_ЦГГ\_УАА** – один варіант зчитування спадкової інформації

**А\_УГГ\_АЦЦ\_ГУА\_АЦЦ\_ГГУ\_АА** – інший варіант зчитування спадкової інформації





Завдяки тому, що межі генів можуть перекриватись своїми кінцями, забезпечується компактність зберігання спадкової інформації. В еукаріотів це явище спостерігають дуже рідко.

**Запам'ятайте:** невелика кількість ДНК у вірусів забезпечує зберігання відносно істотної кількості спадкової інформації.

Гени вірусів кодують різні білки, зокрема ферменти, які забезпечують процеси подвоєння їхньої нуклеїнової кислоти. Серед білків є регуляторні білки, які впливають на процеси обміну речовин клітини-хазяїна, змушуючи її синтезувати вірусні білки та білки, що забезпечують розчинення оболонки клітини-хазяїна. У бактеріофага- $\beta$  до складу молекули ДНК також входять гени, які впливають на процеси транскрипції. Вони пригнічують або стимулюють активність інших генів.

### Чим характеризується спадковий матеріал прокариотів?

Геном клітин прокариотів містить значну кількість ДНК і, відповідно, більше генів порівняно з вірусами. Наприклад, у бактерії кишкової палички є понад 4100 генів, які кодують білкові молекули, та близько 120 генів, що кодують молекули РНК. Гени в ДНК розмежовані міжгенними ділянками. Значна частина структурних генів кишкової палички утворює групи. На кожній групі синтезується одна молекула іРНК, що кодує кілька білків. Ці білки беруть участь у спряжених біохімічних процесах (наприклад, забезпечують синтез певної сполуки). Крім того, ДНК кишкової палички містить велику кількість регуляторних генів, які впливають на активність структурних.

**Запам'ятайте:** серед структурних генів прокариотів та еукаріотів є три основні групи. Гени першої кодують структуру молекул білків, другої – тРНК, третьої – рРНК. Молекули іРНК синтезуються лише на одному з ланцюгів молекули ДНК. При цьому послідовність нуклеотидів молекули іРНК комплементарна послідовності ланцюга ДНК, на якому вона синтезована, і збігається за послідовністю нуклеотидів з іншим ланцюгом, який називають *кодуючим*, або *змістовним*.

**АУГ\_ГЦГ\_АУЦ\_ЦГГ** – ділянка молекули іРНК  
**ТАЦ\_ЦГЦ\_ТАГ\_ГЦЦ** – ділянка молекули ДНК, на якій здійснюється процес транскрипції  
**АТГ\_ГЦГ\_АТЦ\_ЦГГ** – другий ланцюг молекули ДНК – кодуючий, або змістовний

У багатьох видів прокариотів геном представлений єдиною молекулою ДНК, яка зосереджена у ядерній зоні клітини – нуклеоїді. Тому їм притаманний гапліодний набір генів і рецесивні алелі можуть проявлятися у фенотипі. Крім того, у цитоплазмі бактеріальних клітин є плазмідні, або позахромосомні фактори спадковості. Це невеликі кільцеві молекули ДНК, до складу яких входять кілька генів.

### Як здійснюється регуляція експресії генів?

Структурні гени не можуть бути постійно в активному стані, тому їхня діяльність то активується, то пригнічується. Але у прокариотів, в яких високий рівень активності обміну речовин, більшість генів постійно активні: на них синтезуються молекули іРНК, або РНК інших типів. Це дає змогу





прокаріотичній клітині швидко реагувати на зміни в навколишньому середовищі.

Процес, за якого спадкова інформація, закодована у вигляді послідовності нуклеотидів молекули ДНК, втілюється у функціональний продукт – молекулу білка або РНК певного типу, називається *експресія* (від лат. *експресіо* – вираження) *генів*.

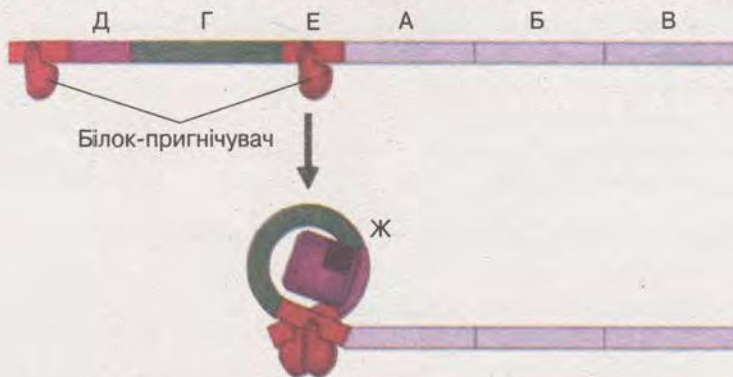
Експресія генів може регулюватись під час транскрипції, трансляції або остаточних змін у структурі білка чи РНК, завдяки чому ці молекули стають функціонально активні.

Клітини прокаріотів та еукаріотів здатні ефективно регулювати експресію генів. Так, за певних умов деякі гени залишаються неактивними, тоді як активність інших зростає або зменшується. Зміни умов середовища можуть спричинити активацію неактивних та пригнічення активних генів.

Механізми регуляції активності генів різноманітні. Насамперед вони можуть реалізуватися на рівні синтезу молекул РНК. Зокрема, така регуляція може здійснюватись або за допомогою білків, одні з яких пригнічують транскрипцію, тоді як інші необхідні для початку цього процесу. У першому випадку процеси транскрипції розпочинаються лише тоді, коли свої властивості втрачає білок-пригнічувач (депресор). В іншому – процеси транскрипції тривають, доки не втрачають своєї активності білки-активатори.

Білкові молекули, які здатні впливати на експресію генів, спочатку зв'язуються з *промотором* (від англ. *premoute* – той, який просуває, сприяє) – послідовністю нуклеотидів, розташованою перед кодуючою частиною гена. Кожний ген або група генів може мати один або кілька промоторів, регуляція кожного з яких здійснюється окремо.

На малюнку 13.1 зображено ділянку бактеріальної ДНК. До її складу входять три структурні гени (позначені літерами А, Б, В). Вони кодують структуру ферментів, що беруть участь у процесах розщеплення молочного цукру – лактози (*пригадайте, до якого класу вуглеводів належить ця сполука*). Ця функціонально єдина група генів має один спільний промотор (Г), який оточують дві регуляторні ділянки нуклеотидів (Д, Е). У разі відсутності молочного цукру за участі цих двох ділянок нуклеотидів та особливого регуляторного білка утворюється петля ДНК (Ж). Структурні гени стають неактивними, оскільки з промотором, що опинився всередині петлі, не можуть зв'язатися ферменти, які забезпечують синтез іРНК. Після того як концентрація молочного цукру зростає, регуляторний білок



Мал. 13.1. Регуляція активності генів у кишкової палички



втрачає зв'язок з ДНК, петля зникає і промотор активується – структурні гени знову набувають здатності забезпечувати синтез ферментів.

**Запам'ятайте:** важливу роль у регуляції експресії генів у прокаріотів відіграють взаємодії регулюючих білків з відповідними послідовностями нуклеотидів молекули ДНК.

**Нові терміни та поняття.** Експресія генів.



**Запитання для повторення:** 1. Чим досягається компактність кодування генетичної інформації у вірусів? 2. Які характерні риси геному прокаріотів? 3. Що таке промотор? 4. Які механізми експресії генів у прокаріотів? 5. Як зовнішні чинники можуть впливати на експресію генів прокаріотів?

**Проблемне завдання.** Поміркуйте, про що може свідчити здатність спадкової інформації вірусів-бактеріофагів вбудовуватись у ДНК бактеріальної клітини.

## § 14. ОСНОВНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГЕНІВ У ЕУКАРІОТІВ



**Аби краще засвоїти матеріал цього параграфу, слід пригадати:** що таке ген, геном, регуляторні та структурні гени, екзони, інтрони, сплайсинг? Як відбувається синтез білкових молекул? Які з гормонів людини мають стероїдну та білкову природу? Які існують механізми регуляції активності генів у прокаріотів? Яка будова хромосоми? Яка будова гемоглобіну?

### Які особливості організації геному еукаріотів?

В еукаріотів значна частина геному представлена послідовностями нуклеотидів, які не кодують структури молекул білків та РНК. Учені з'ясували, що 20–50 % генів еукаріотів мають одну, інші – кілька зазвичай не ідентичних копій. Понад 50 % усієї кількості ДНК припадає на повтори. Завдяки копіям, мутації окремих генів мало впливають на фенотип. Повторювані послідовності нуклеотидів зосереджені переважно на кінцях хромосом і в зоні прикріплення ниток веретена поділу (центромера).

Генам еукаріотів, на відміну від генів прокаріотів, притаманний мозаїчний характер будови: кодуючі ділянки (екзони) чергуються з некодуючими (інтронами). Серед інтронів є ділянки, що здійснюють важливі регуляторні функції. Регуляторні ділянки є й у складі міжгенної ДНК. Обов'язковим етапом, необхідним для здійснення молекулою іРНК своїх функцій, є процес *сплайсингу*: інтрони за участі відповідних ферментів вирізаються, а екзони зшиваються, утворюючи матрицю для синтезу білкової молекули (див. мал. 9.1).

### Які особливості регуляції експресії генів у еукаріотів?

На відміну від прокаріотів, у клітинах еукаріотів молекули іРНК синтезуються на молекулах ДНК в ядрі і вже звідти транспортуються до цитоплазми. Таким чином, такі основні етапи експресії гена, як транскрипція та трансляція (синтез білкової молекули на матриці іРНК) в еукаріотів розділені у просторі та часі.



Гени багатоклітинних організмів поділяють на дві функціональні групи: одні з них активні в усіх клітинах, де забезпечують універсальні функції живого, а інші – активні лише у клітинах певних типів. Особливу групу становлять *псевдогени* – змінені внаслідок мутацій послідовності нуклеотидів, які нагадують певні гени, однак інформація з них не зчитується.

До регуляторних елементів експресії генів належать промотори (послідовність нуклеотидів, з якої розпочинається процес транскрипції), послідовності нуклеотидів, які впливають на ефективність процесу транскрипції, а також ті, що забезпечують припинення транскрипції та трансляції.

**Запам'ятайте:** на активність генів еукаріотів і прокаріотів впливають певні регуляторні послідовності нуклеотидів, які функціонально пов'язані з ними.

Гени еукаріотів, які керують процесами транскрипції, не можуть бути постійно активними. Тому гени та їхні функціональні групи під впливом певних чинників чи фаз клітинного циклу то активуються, то через певний час знову стають неактивними. Завдяки тому, що не всі гени клітини активні одночасно, різні типи клітин продукують не весь закодований комплекс білків чи молекул РНК, а лише потрібні на даний момент. Так, гени, які кодують структуру субодиниць гемоглобіну дорослої людини, активні лише у клітинах-попередниках еритроцитів. Здатність клітин «вмикати» або «вимикати» структурні гени має важливе значення і для економного витрачання енергетичних ресурсів.

**Запам'ятайте:** активність будь-якого структурного гена залежить від наявності в клітині чинників, які пригнічують процеси транскрипції або стимулюють їх.

Для регуляції активності певних генів використовується механізм, за якого особливі білкові молекули запобігають розпізнаванню ферментом, що забезпечує синтез іРНК, сигналу про припинення синтезу цієї молекули. Такий сигнал становить певну послідовність нуклеотидів, розташовану всередині кодуючої частини гена (*пригадайте, які саме триплети сигналізують про припинення синтезу білкової молекули*). За наявності факторів, які запобігають розпізнаванню ферментом сигналу про припинення синтезу іРНК, синтез цієї молекули продовжується і вона стає функціонально активною.

Деякі неактивні гени можуть активуватись позаклітинним сигналом, наприклад впливом підвищеної температури чи певних гормонів. Так, потрапивши до клітини, стероїдний гормон взаємодіє з клітинним білком і змінює його структуру. Змінений білок проникає у ядро і зв'язується зі специфічним регуляторним елементом, який ініціює транскрипцію відповідного гена – синтез молекули іРНК.

Гормони білкової природи зв'язуються з відповідним рецептором, розташованим на зовнішньому боці мембрани. Це активує фермент, за участі якого починає діяти фактор транскрипції певного гена.

Деякі білкові молекули здатні переміщуватись у внутрішньому середовищі клітини, «шукаючи» відповідні регуляторні послідовності нуклеотидів. Їхня взаємодія може сприяти активації транскрипції або блокувати цей процес. Перехід певних генів в активний чи неактивний стан можливий і при взаємодії цих білкових молекул з ферментами, що каталізують синтез іРНК.



**Запам'ятайте:** існують послідовності нуклеотидів, що межують, перекриваються або розташовані поза промотором, з якими взаємодіють регуляторні білки. Ці білки можуть бути активаторами або пригнічувачами (дипресорами), а також запобігати завершенню транскрипції.

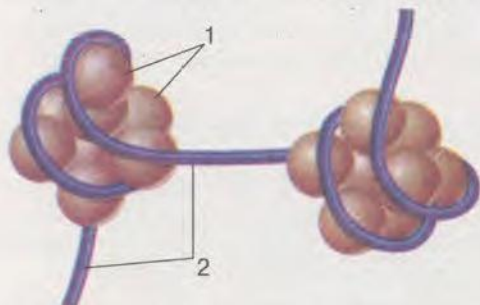
Як ви пам'ятаєте, структурною частиною хромосоми є нуклеосома (мал. 14.1). Вона формується за рахунок взаємодії нитки ДНК з білками (гістонами). Нуклеосоми є загальними пригнічувачами активності генів. Більшість генів у клітині перебуває в неактивному стані, за винятком активованих факторами транскрипції. Активація транскрипції потребує перебудови хроматинових ниток. Ця перебудова пов'язана з тим, що певні ділянки хроматинових ниток стають менш ущільненими і регуляторні ділянки молекули ДНК, пов'язані з даним геном, звільняються від нуклеосом. Так відповідні ділянки ДНК стають доступними для чинників, які забезпечують процес транскрипції.

На експресію генів можуть впливати й зміни хімічного складу ДНК, але послідовність нуклеотидів у молекулі при цьому не змінюється. Так, у певних ділянках може відбуватись введення метильної групи ( $-CH_3$ ) (процес метилювання). Така модифікація молекули ДНК не супроводжується зміною нуклеотидної послідовності. Підвищення ступеня метилювання у певних ділянках спричиняє зменшення або повне пригнічення експресії сусідніх генів. І навпаки, зменшення ступеня метилювання пов'язане з підвищенням рівня їхньої експресії.

Під час формування специфічної природної структури ДНК регуляторні послідовності і відповідні структурні гени зближуються, що полегшує їхню взаємодію. Крім того, фактори транскрипції (наприклад, певні білки) зв'язуються з регуляторними послідовностями нуклеотидів і можуть утворювати ланцюжок, який зближує віддалені структурні гени та їхні регуляторні ділянки.

Активність генів може залежати від взаємодії молекул нуклеїнових кислот між собою. Одним з таких механізмів є **РНК-інтерференція** (від лат. *інтер* – між, посеред і *ферентіс* – який несе) – процес пригнічення експресії гена за допомогою молекул мікро-РНК. Це пригнічення експресії гена відбувається під час транскрипції, трансляції або руйнування іРНК.

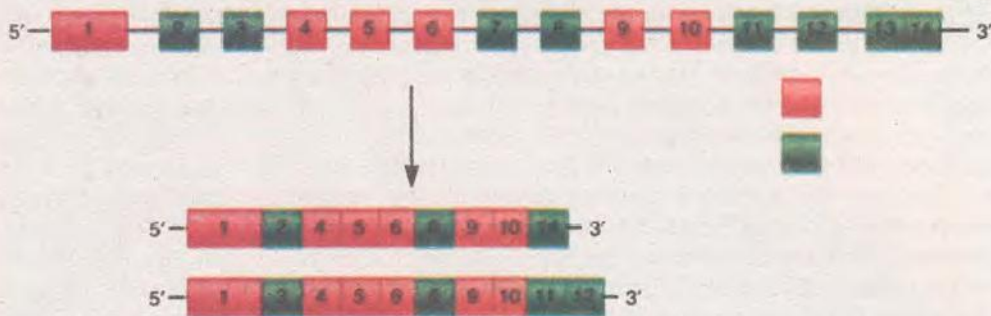
Молекули мікро-РНК не кодують структуру білків і мають незначну довжину: 19–21 пара нуклеотидів. Як вони виникають? Активація певних генів зумовлює синтез молекул РНК з дволанцюговими ділянками. Ці



Мал. 14.1. Структура нуклеосоми:  
1 – глобулярні білки; 2 – нитка ДНК

ділянки вирізаються за участі особливого ферменту. З них утворюються молекули мікро-РНК, кожна з яких зв'язується з кількома білковими молекулами, що забезпечують розплітання ланцюгів РНК. Згодом один з ланцюгів мікро-РНК сполучається з комплементарною ділянкою іРНК, яка кодує структуру певного гена. Наслідки такої взаємодії бувають різні. *По-перше*, це може бути ущільнення хроматину та пригнічення активності гена. *По-друге*,





**Мал. 14.2.** Альтернативний сплайсинг: вгорі – молекула незрілої іРНК, яка кодує білок  $\alpha$ -тропоміозин: червоним кольором показано екзони, які обов'язково залишаються у зрілій молекулі іРНК (1, 4–6, 9, 10), зеленим (2, 3, 7, 8, 11–14) – необов'язково. Зверніть увагу: залежно від того, які саме необов'язкові екзони залишаються після альтернативного сплайсингу, утворюються різні молекули іРНК: верхня кодує білок, що входить до складу непосмугованих м'язових клітин, нижня – посмугованих

після транскрипції молекула іРНК може зруйнуватись, що унеможливує синтез білка (переважно в рослинних клітинах). *По-третє*, можлива зупинка синтезу білка (переважно в тваринних клітинах). Є дані, що молекули мікро-РНК можуть також безпосередньо взаємодіяти з молекулами ДНК.

**Запам'ятайте:** експресія генів може залежати від взаємодії молекул нуклеїнових кислот між собою або змін їхнього хімічного складу.

Ще один шлях регуляції експресії генів – це *альтернативний сплайсинг*. Ми згадували, що сплайсинг – процес, пов'язаний з видаленням з іРНК ділянок, що відповідають інтронам. Але він може перебігати й альтернативним<sup>1</sup> шляхом (звідки й походить його назва). Наприклад, за участі певних ферментів можуть вирізатись декілька екзонів як на початку, так і всередині гена. У результаті цього з однієї ділянки можуть бути синтезовані різні варіанти молекул іРНК, які кодують різні білки (мал. 14.2). У геномі людини середня кількість альтернативних форм іРНК, які припадають на один ген, становить 5,4.

**Запам'ятайте:** експресія генів може пригнічуватися під час транскрипції або трансляції. При цьому послідовність генів може не змінюватись.

### Як результати вивчення активності генів застосовують у генетичній інженерії?

Генетична інженерія – це експериментальна галузь молекулярної генетики. Її основні завдання:

- синтез поза організмом, виділення з клітин і перебудова окремих генів;
- копіювання і розмноження виділених або синтезованих генів;
- введення генів або їхніх груп до геномів інших організмів;
- поєднання різних геномів в одній клітині.

<sup>1</sup> Альтернатива (від лат. *альтернаре* – чергуватися, вагатися, *альтер* – один з двох) – необхідність вибору між двома можливостями, що виключають одна одну.



Важливим етапом цих досліджень є встановлення нуклеотидних послідовностей окремих генів. Без цього неможливо виділяти окремі гени з організму або здійснювати їхній синтез поза організмом. Але недостатньо просто ввести певний ген у геном іншого організму. Вся ця робота втрачає свій сенс, якщо не відбудеться експресії такого гена. А вона неможлива без урахування різноманітних чинників, які впливають на неї.

Регуляторні послідовності нуклеотидів еукаріотів за своєю структурою та розташуванням відносно кодону, який ініціює процес транскрипції, відрізняються від подібних послідовностей у клітинах прокаріотів. Якщо гени еукаріотів просто ввести у прокаріотичну клітину, бактеріальний фермент, який забезпечує синтез іРНК, не розпізнає ці послідовності. Тому для експресії генів еукаріотів у клітинах прокаріотів потрібно, щоб ці гени потрапили під контроль регуляторних елементів клітини хазяїна.

При перенесенні генів еукаріотів необхідно також враховувати, що в їхніх клітинах кожний структурний ген має власний набір регуляторних елементів, які активуються специфічними сигналами у різні періоди клітинного циклу. Натомість структурні гени прокаріотичних клітин об'єднані у групи, що мають спільні елементи регуляції.

Досконале вивчення проблем експресії тих чи інших генів у клітині дало змогу вирішити деякі важливі практичні питання за допомогою генної інженерії. Ви знаєте, що відсутність або недостатність вироблення тих чи інших гормонів в організмі людини або тварин спричинює важкі наслідки. Зокрема, досить поширене захворювання людей – цукровий діабет – є наслідком втрати здатності до синтезу інсуліну; тому для підтримання життєдіяльності необхідно періодично вводити в організм цей гормон. Отримувати препарати інсуліну у достатній кількості дозволило введення відповідних генів у бактеріальну клітину.

РНК-інтерференцію можна використовувати у медичній практиці та селекції. Для цього створюють так звані *антисенсорні* (від грец. *анти* – протилежний та лат. *сенса* – відчуття) молекули РНК. За складом вони відповідають послідовності нуклеотидів молекули іРНК певної клітини. Припустимо, що така сенсорна РНК несе інформацію про шкідливі для організму або небажані для селекціонера білки. Тоді вчені синтезують і вводять у клітину молекулу антисенсорної РНК. Її нуклеотиди зв'язуються з нуклеотидами сенсорної РНК. Це блокує біосинтез білків, закодованих у молекулі сенсорної РНК. Наприклад, застосовуючи антисенсорні технології, можна послабити симптоми ВІЛ-інфекції, коли антисенсорні молекули РНК зв'язують комплементарну іРНК вірусу, що гальмує його розмноження.

Застосування антисенсорної технології у селекції рослин має вже певні практичні результати. У помідорів відомі ферменти, які сприяють їхньому швидкому дозріванню. Але фермерам потрібно, щоб ці овочі достигали поступово, оскільки важко реалізувати значні обсяги продукції за короткий термін. Крім того, один з ферментів прискорює розщеплення полісахариду пектину в клітинних стінках, унаслідок чого плоди швидко псуються. Завдяки введенню у геном помідорів антисенсорних молекул РНК синтез відповідних ферментів гальмується.

Метод РНК-інтерференції застосовують для з'ясування деяких теоретичних питань при дослідженнях з використанням культур клітин або живих організмів. За рахунок синтезованих дволанцюгових молекул мікро-РНК, які вибірково впливають на активність тих чи інших генів,



можна з'ясувати їхні функції. При введенні молекули мікро-РНК вона пригнічує активність специфічного гена, і за наслідками цього процесу вчені роблять висновки щодо його функцій.

**Нові терміни та поняття.** Явище РНК-інтерференції, антисенсорні технології.

**?** **Запитання для повторення:** 1. Чим відрізняються між собою організації генному еукаріотів і прокариотів? 2. Яка роль сплайсингу в активації генів? 3. Як регулюється експресія генів за участю регуляторних білків? 4. Які відомі регуляторні послідовності нуклеотидів, що впливають на експресію генів? 5. У чому полягає явище РНК-інтерференції? 6. У чому полягає значення альтернативного сплайсингу?

**Проблемне завдання.** Поміркуйте, що спільного та відмінного між процесами транскрипції у вірусів та альтернативним сплайсингом в еукаріотів.

## § 15. ГЕНЕТИКА ЛЮДИНИ

**Аби краще засвоїти матеріал цього параграфа, слід пригадати:** що таке геном, популяції, гомозиготи та гетерозиготи? Про що говорить закон розщеплення? Чим представлений спадковий матеріал мітохондрій?

### Що вивчає генетика людини?

**Генетика людини** – розділ генетики, що вивчає особливості організації та функціонування геному людини, закономірності її спадковості та мінливості. Ця наука зародилася в надрах *євгеніки* (від грец. *євгенес* – доброго роду) – вчення про спадкове здоров'я людини та шляхи його поліпшення. Його започаткував Френсіс Гальтон (мал. 15.1) – двоюрідний брат Ч. Дарвіна. Він вперше розглядав спадковість людини як предмет самостійного дослідження. Ф. Гальтон та його послідовники вважали, що особливими заходами можна поліпшити людський рід. І хоча євгеніка мала гуманну мету – збільшити у генотипі людини кількість «корисних» генів і зменшити кількість «шкідливих», її положення з часом використали для обґрунтування расистських теорій.

**Расизм** – це світогляд, що ґрунтується на расовій дискримінації, тобто визнанні вродженої фізичної та інтелектуальної переваги представників певної раси над іншими. Послідовники расистських поглядів стверджують, що різниця між представниками різних рас і народів зумовлена механізмами спадковості і не повністю зникає у результаті виховання, соціалізації та інших культурних процесів. Відповідно расист-



**Мал. 15.1.** Френсіс Гальтон (1822 – 1911) започаткував євгеніку та метод дактилоскопії (встановлення особи людини за відбитками пучок пальців)





ські теорії «доводять» право на експлуатацію і навіть винищення одних народів іншими. Це призвело до заборони евгенічних досліджень у більшості цивілізованих країн, а частину питань, які досліджували у рамках цього вчення, нині вивчає генетика людини, зокрема медична генетика.

### Чим характеризуються методи досліджень у галузі генетики людини?

Як і будь-яка наука, генетика людини має свої специфічні методи досліджень. Закономірності спадковості і мінливості людини, на відміну від інших організмів, заборонено вивчати за допомогою методів, пов'язаних із втручанням у її спадковий матеріал (наприклад, генетичної інженерії, коли певні гени вилучають або замінюють). Тому в генетиці людини застосовують лише генеалогічний, популяційно-статистичний, близнюковий, цитогенетичний і молекулярно-генетичний методи.

Учені мають враховувати низку особливостей, притаманних виду Людина розумна. Так, у неї статеве дозрівання відносно пізне, тому для зміни поколінь потрібно 20–30 років. Це ускладнює аналіз успадкування тих чи інших ознак. Такі складнощі частково долають за допомогою вивчення родоводів, складених протягом тривалого часу. Незначна кількість нащадків більшості людей ускладнює статистичний аналіз розщеплення ознак.

При дослідженні впливу довкілля на формування фенотипу слід враховувати, що створити однакові умови існування для всіх людей (мікроклімат, дієта, житлові умови, параметри роботи або навчання тощо) практично неможливо.

### Які системи шлюбів притаманні людині?

У будь-яких організмів певного виду існують різні системи схрещування: споріднене та неспоріднене. *Споріднене схрещування* відбувається між особинами, що мають спільних предків принаймні попередніх шести поколінь. *Неспорідненим* вважають схрещування між особинами, у яких не було спільних предків протягом шести попередніх поколінь.

У людини відповідно розрізняють споріднені та неспоріднені шлюби.

Одним із наслідків споріднених шлюбів є підвищення серед нащадків частоти гомозигот за певним алелем. При цьому рецесивні алелі (серед яких летальні та сублетальні) можуть перейти у гомозиготний стан і проявитись у фенотипі нащадків. Небезпека народження дитини з певними спадковими захворюваннями або генетичними вадами зростає зі збільшенням ступеня спорідненості осіб, що беруть шлюб. Наприклад, якщо обидва батьки фенотипно здорові, але гетерозиготні за рецесивним алелем, який визначає глухоту, їхні діти можуть народитися глухими. Майже 20 % усіх альбіносів є нащадками від споріднених шлюбів. Відомо кілька рецесивних летальних алелів, здатних у гомозиготному стані спричинити передчасну смерть.

У нащадків від неспоріднених шлюбів рецесивні алелі, здатні у гомозиготному стані спричинити певні спадкові захворювання або вади, часто переходять у гетерозиготний стан і тому не проявляються у фенотипі.

### Які особливості організації геному людини?

Каріотип людини складається з 22 нестатевих хромосом (аутосом) та двох статевих (XX – у жінок та XY – у чоловіків) (мал. 15.2). Йому притаманні



24 групи зчеплення (22 аутосоми, Х- та Y-хромосоми, які мають відмінні набори генів).

Одним з міжнародних біологічних проектів кінця ХХ – початку ХХІ сторіччя було розшифрування геному людини. Вчені встановили нуклеотидні послідовності і створили генетичні карти, на які нанесли близько 15 тис. структурних генів. Дослідники оцінили геном людини у 3,2 млрд пар нуклеотидів. Вважають, що кількість генів, які кодують білки, не перевищує 21 тис., а тих, які несуть інформацію про різні молекули РНК, – понад 4 тис. Для 12,5 тис. генів встановлено, які саме ознаки вони кодують. Загальна довжина кодуючих ділянок становить близько 34 млн пар нуклеотидів, що складає лише 1,2 % геному. 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.

Геном людини характеризується відносно короткими екзонами, розділеними видовженими інтронами (близько 34 % усієї кількості ДНК).

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.

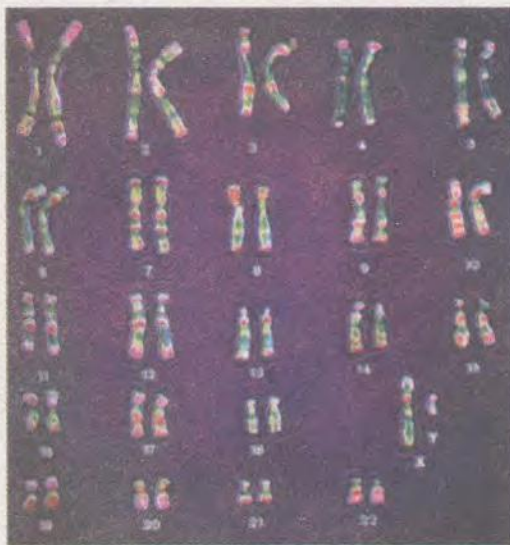
### Які типи успадкування ознак відомі у людини?

Тип успадкування, пов'язаний з генами нестатевих хромосом, називають *аутосомним*. Якщо певний стан ознаки визначає домінуючий алель, то такий тип успадкування називають *аутосомно-домінантним*, якщо рецесивний, – *аутосомно-рецесивним*. Зверніть увагу на таблицю 15.1, у якій наведено домінуючі та рецесивні стани певних ознак людини.

Таблиця 15.1

#### Домінуючі та рецесивні стани ознак у людини

Домінуючі стани	Рецесивні стани
Карі очі	Блакитні очі
Зелені очі	Блакитні очі
Довгі вії	Короткі вії
Темне волосся	Світле волосся
Монголоїдний розріз очей	Європеїдний розріз очей



Мал. 15.2. Каріотип людини (знайдіть статеві хромосоми, визначте стать людини з даним каріотипом)



Домінантні стани	Рецесивні стани
Наявність залишку третьої повіки	Відсутність залишку третьої повіки
Короткозорість	Нормальний зір
Вільні мочки вуха	Прирослі мочки вуха
Товсті губи	Тонкі губи
Округле обличчя	Видовжене обличчя
Позитивний резус-фактор	Негативний резус-фактор
Короткопалість	Нормальні пальці
Нормальна пігментація	Альбінізм
Прогресуюча атрофія зорового нерва	Нормальний стан

Існує й успадкування, зчеплене зі статтю. Якщо певний ген розташований лише в Y-хромосомі, маємо справу з *Y-зчепленим типом успадкування*. Ознака, яку визначає такий ген, передається по чоловічій лінії.

Гени, розташовані лише в X-хромосомі, визначають *X-зчеплений тип успадкування*. Він може бути *X-зчепленим рецесивним* та *X-зчепленим домінантним*. При X-зчепленому рецесивному типі відповідний стан ознаки проявляється переважно у чоловіків (*пригадайте, чому*). X-зчеплений домінантний тип успадкування характеризується тим, що відповідний варіант ознаки може проявлятися як у чоловіків (успадковують X-хромосому з відповідним домінантним алелем від матері), так і у жінок. А батько передаватиме відповідні алельні гени донькам і ніколи – синам. Деякі стани ознак людини, які успадковуються зчеплено зі статтю, наведені у таблиці 15.2.

Таблиця 15.2

## Деякі стани ознак людини, зчеплені зі статтю

Варіант ознаки	Тип успадкування
Волохатість вух (гіпертрихоз)	Y-зчеплений тип
Перетинки між пальцями ніг	Y-зчеплений тип
Гемофілія (нездатність крові зсідатися)	X-зчеплений рецесивний тип
Дальтонізм (нездатність розрізняти червоний та зелений кольори)	X-зчеплений рецесивний тип
Прогресуюча дистрофія м'язів	X-зчеплений рецесивний тип
Рахіт, не пов'язаний з дією вітаміну D	X-зчеплений домінантний тип

**Нові терміни та поняття.**

Гетерозис, споріднене та неспоріднене схрещування, аутомно-рецесивний, аутомно-домінантний, X- та Y-зчеплений типи успадкування.





**Запитання для повторення:** 1. Які методи генетичних досліджень застосовують для вивчення спадковості людини? 2. У чому полягають особливості виду Людина розумна як об'єкта генетичних досліджень? 3. Чим характеризується геном людини? 4. Охарактеризуйте варіанти успадкування ознак у людини.

**Проблемне завдання.** Вважають, що людина та людиноподібні мавпи (передусім шимпанзе та горила) мають багато спільного в наборах спадкової інформації. За допомогою яких методів генетичних досліджень можна це підтвердити або спростувати?

## § 16. РОЛЬ ГЕНОТИПУ І ФАКТОРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА У ФОРМУВАННІ ФЕНОТИПУ ЛЮДИНИ. МЕДИЧНА ГЕНЕТИКА

**Аби краще засвоїти матеріал цього параграфа, слід пригадати:** як можуть взаємодіяти алельні та неалельні гени між собою? Що таке множинна дія генів? Як здійснюється та регулюється експресія генів? Чим зумовлена позаядерна спадковість? Які особливості будови та функціонування імунної системи людини? Які є групи мутагенів?

Формування фенотипу – генетично визначений процес, який залежить від умов середовища життя. Особливості фенотипу визначають взаємодія алельних (повне та неповне домінування, проміжний характер успадкування) та неалельних (епістаз, комплементарність, полімерія) генів та їхня множинна дія.

### Чи впливає на формування фенотипу людини позаядерна спадковість?

Як ви пам'ятаєте, мітохондрії мають власний спадковий матеріал – кільцеву молекулу ДНК. Оскільки сперматозоїди не передають своїй мітохондрій при заплідненні, то до зиготи мітохондрії потрапляють з цитоплазмою яйцеклітини. Отже, ознаки, закодовані в генах мітохондрій, можуть проявитись у фенотипах особин обох статей, однак успадковуються по материнській лінії. До таких ознак належать втрата зору у центральній частині зорового поля або утворення доброякісної<sup>1</sup> пухлини нирок.

### Як фактори навколишнього середовища впливають на формування фенотипу людини?

Дані щодо впливу умов довкілля на організм отримують, застосовуючи близнюковий метод досліджень. Оскільки генотипи однойцевих близнюків однакові, то розбіжності в їхніх фенотипах будуть спричинені виключно впливом факторів середовища життя. Це дає можливість з'ясувати, формування яких саме ознак визначає генотип, а на які з них впливають умови середовища життя (табл. 16.1).

<sup>1</sup> Доброякісна пухлина характеризується тим, що її клітини не врастають у сусідні тканини, а тільки стискають та відсувають їх.



## Відсотки збігу певних ознак однояйцевих близнюків

Ознака	Збіг, %
Група крові	100
Колір очей	99
Колір волосся	89
Розумова відсталість	97
Епілепсія	72
Туберкульоз	56
Заяча губа	42
Шизофренія	46
Бронхіальна астма	92
Цукровий діабет	56
Гіперфункція щитоподібної залози	47
Псоріаз	61
Кір	97

У деяких випадках певні алелі визначають не варіант ознаки, а схильність до її прояву (наприклад, може передаватись у спадок схильність до ожиріння або цукрового діабету). При цьому ймовірність прояву того чи іншого варіанта ознаки залежить від різних чинників: статі, способу життя (наприклад, людям, схильним до ожиріння, необхідно вести активний спосіб життя, щоб уникнути цієї вади), дієти (людям зі схильністю до цукрового діабету слід обмежувати вживання продуктів, що містять глюкозу).

**Запам'ятайте:** умови життя можуть як знижувати, так і підвищувати ризик прояву у фенотипі певних вад або хвороб.

## Як здійснюється генетична регуляція диференціації клітин?

Розвиток людського організму здійснюється шляхом вибіркового «вмикання» та «вимикання» специфічних генів у клітинах того чи іншого типу у певний час від початку розвитку. Ці проблеми вивчає розділ генетики – **генетика розвитку**.

Будь-яка нестатева (соматична) клітина має повний набір спадкової інформації, притаманний цілісному організму. Таким чином, клітинам багатоклітинного організму притаманна властивість реалізовувати генетичну інформацію, що забезпечує їхню диференціацію та розвиток до цілісного організму. Звідси випливає висновок: різні типи клітин використовують не всі, а лише певні гени з усього їхнього набору.

Учені запропонували **гіпотезу диференціальної експресії генів**. Клітини, які виникли на ранніх етапах поділу зиготи, спроможні дати початок окремому повноцінному організму (мал. 16.1). Саме так виникають одно-

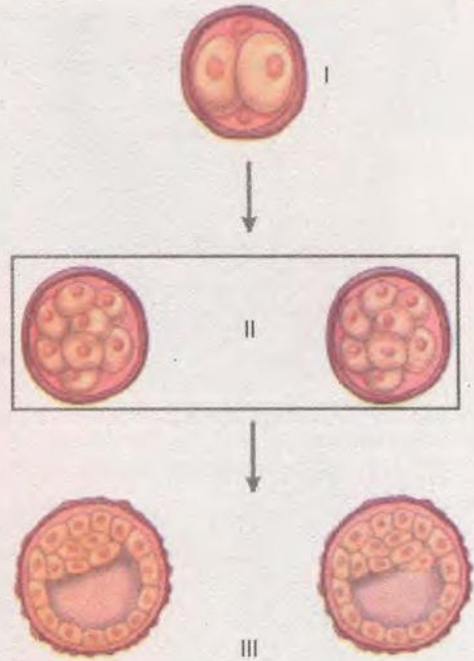


яйцеві близнюки. Клітини на пізніших етапах зародкового розвитку таку властивість зазвичай втрачають, оскільки відбувається їхня диференціація.

**Запам'ятайте:** у клітинах різного типу існують «вимкнені» гени, що можуть бути активовані за певних умов.

У деяких випадках диференціювання клітин може бути пов'язане з перебудовою генетичного матеріалу. Наприклад, такі клітини імунної системи людини, як В-лімфоцити після взаємодії з антигеном починають ділитися і перетворюються на клітини, здатні синтезувати антитіла. Із значної кількості антитіл, структура яких закодована у геномі В-лімфоцитів, ці клітини після активації починають синтезувати тільки один їхній тип, залежно від антигену, з яким вони стикнулися. Така диференціація пов'язана з перебудовою певних ділянок молекул ДНК, які відповідають за синтез антитіл. Інші клітини імунної системи – Т-лімфоцити – також можуть втрачати частину свого геному при формуванні рецепторів, здатних взаємодіяти з певним антигеном.

На диференціальну активність генів, яка позначається на диференціації клітин, впливають біологічно активні речовини.



**Мал. 16.1.** Дроблення зиготи (I). II і III – послідовні стадії ембріонального розвитку двох однайцевих близнюків

### Що досліджує медична генетика?

**Медична генетика** – наука про спадкові хвороби та вади людини. Вона 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 вадами. За допомогою методів цієї науки визначають батьківство. Оскільки дитина частину спадкової інформації отримує від матері, а частину – від батька, то завдяки різноманітним методам з високим відсотком ймовірності (до 99 %) можна зробити висновок, чи є певна людина батьком дитини або ні.

### Які відомі типи спадкових захворювань і вад людини?

Спадкові захворювання і вади, а також генетична схильність до різних захворювань – актуальні медико-біологічні проблеми. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, 5 зі 100 новонароджених страждають тим чи іншим важким спадковим захворюванням, ще 5 мають генетичні вади, 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 захво-





Мал. 16.2. Полідактилія (поява 6-го, рідше 7-го пальця на всіх чи деяких кінцівках) (I) і синдактилія (зрощення пальців) (II)

рювань і захворювань зі спадковою схильністю, тоді як у 1958 р. – не більше 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); багатопа́льність чи зрощення пальців (мал. 16.2) тощо;
- розлад фізіологічних функцій, наприклад гемофілія та дальтонізм;
- порушення процесів обміну речовин,

зокрема цукровий діабет, фенілкетонурія та ін.

Деякі зі спадкових захворювань, наприклад хвороба Дауна, проявляються відразу після народження. Інші, наприклад хорея Гентінгтона (захворювання клітин нервових вузлів, яке супроводжується мимовільними рухами, поступово прогресуючою недоумкуватістю тощо), проявляються лише у певному віці.

Різноманітні спадкові захворювання та генетичні вади можуть бути спричинені змінами будови хромосом (табл. 16.2).

Таблиця 16.2

**Можливі фенотипні наслідки через втрату ділянки певної хромосоми людини**

Фенотипний прояв	Номер хромосоми зі втраченою ділянкою (позначено «+»)		
	4-та	5-та	18-та
Синдром котячого крику	–	+	–
Недоумкуватість	+	+	+
Порушення розвитку головного мозку	+	–	–
Зменшення розмірів голови	+	+	+
Косоокість	+	+	+
Недорозвиненість носу та верхньої щелепи	–	–	+
Дефекти вušних раковин	+	+	+
Розщеплення піднебіння	+	–	–
Вади серця	+	–	+

Вади, зумовлені втратою ділянки хромосоми або цілої хромосоми, успадковуються досить рідко. Мутації цього типу спричиняють настільки тяжкі наслідки, що такі люди зазвичай не залишають нащадків. Виживають лише зародки, у яких відбулися втрати чи подвоєння невеликих ділянок хромосом.



Частина (5–20 %) онкологічних захворювань зумовлена спадковою схильністю до них. За даними Міністерства екології та природних ресурсів України, нині кожний 50-й мешканець нашої країни (2 % населення) страждає на онкологічні захворювання. Зокрема, радіонукліди, що утворилися внаслідок Чорнобильської аварії, значно збільшують кількість випадків раку щитоподібної залози, лімфатичної та кровоносної систем тощо.

### У чому полягає 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, медики тощо. За допомогою різноманітних методів вони виявляють носіїв алелів, які зумовлюють прояви спадкових захворювань, враховують ймовірність успадкування і прояву спадкових захворювань у нащадків. Коли ймовірність появи нащадків із значними спадковими вадами 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 прояву того чи іншого спадкового захворювання і прогнозують можливість його прояву в її фенотипі у майбутньому.

Різнманітні тести дають змогу виявляти дефектні алелі, які відповідають за спадкові захворювання та вади, не лише у майбутніх батьків, а й у зародків. Так, за допомогою вивчення зародкових клітин, взятих із навколоплідної рідини, деякі порушення обміну речовин можна виявити вже на 14–16-му тижні вагітності.

Оскільки домінантні мутантні алелі або хромосомні захворювання проявляються у фенотипі, їхнє діагностування не дуже складне, на відміну від мутантних рецесивних алелів, які у гетерозиготному стані зазвичай не проявляються. Але за допомогою аналізу крові можна виявити людей, гетерозиготних за рецесивним алелем, наприклад, серпоподібноклітинної анемії. Разом з тим, якщо шлюб беруть гетерозиготні за певним мутантним геном особини, рецесивні алелі можуть у нащадків перейти в гомозиготний стан і проявитись фенотипно. Ймовірність народження хворої дитини у гетерозиготних батьків становить 25 %.

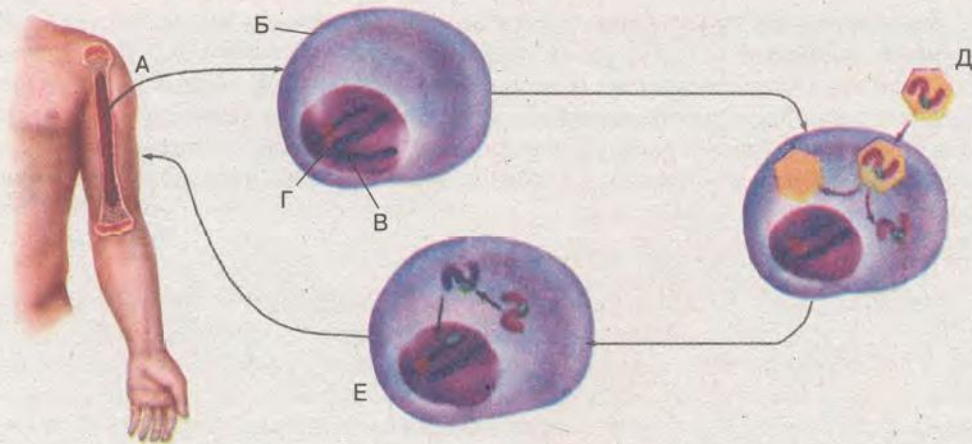
Перспективним напрямом у медичній генетиці є генна терапія.

### Що таке генна терапія?

*Генна терапія* (від грец. *therapeia* – лікування, оздоровлення) – медична процедура, під час якої у хворого виділяють певні типи клітин (крові, епітелію шкіри або кишечнику та ін.), замінюють їхні дефектні алельні гени нормальними, а потім вводять в організм. Завдяки цьому в організмі хворої людини можуть синтезуватись білки, яких до цього не вистачало. Нормальні гени виділяють з організму здорової людини та методами генної інженерії отримують їхні численні копії (мал. 16.3).

Для введення генів у клітину необхідний переносник, так званий *вектор* (від лат. *вектор* – носій). Для цього використовують деякі віруси, наприклад ретровіруси. Проникнувши у цитоплазму клітини людини або





**Мал. 16.3.** 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. Введення клітин з нормальними генами в організм людини (Е)

тварин, вони на власній молекулі РНК, використовуючи її як матрицю, синтезують ланцюг ДНК, а потім до нього добудовується друга нитка. Ця ДНК проникає через ядерну оболонку та вбудовується в хромосомну ДНК клітини. Останнім етапом такої процедури є введення клітин з нормальними генами в організм людини (Е).

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 застосування генної терапії – генетична модифікація клітин, спрямована на посилення імунних реакцій.

Загалом до 80 % сучасних розробок генної терапії пов'язані з пухлинними захворюваннями людини. Введення «генів-убивць» призводить до загибелі пухлинних клітин. Особливе місце у розробках генної терапії посідають методи боротьби зі СНІДом. Зокрема учені створюють генетично модифіковані клітини, здатні виробляти антитіла проти ВІЛу.

**Молекулярна діагностика спадкових захворювань** – напрям генної терапії, що ґрунтується на методиках визначення алелів, які зумовлюють ті чи інші спадкові захворювання або схильність до них (хвороба Альцгеймера, рак молочної залози, цукровий діабет, атеросклероз тощо). Своєчасно поставлений діагноз дає можливість розпочати профілактику або лікування ще до того, як з'являться перші симптоми такого захворювання.

**Запам'ятайте:** мета генної терапії – виправлення або знищення спадкової інформації, яка зумовлює захворювання.

### Нові терміни та поняття.

Диференційна експресія генів, медико-генетичне консультування, генна терапія, молекулярна діагностика спадкових захворювань.





**Запитання для повторення:** 1. Від яких чинників залежить формування фенотипу людини? 2. Яку роль відіграє позаядерна спадковість у формуванні фенотипу людини? 3. Від яких чинників залежить диференціація клітин? 4. Які завдання медичної генетики? 5. Чим зумовлені спадкові захворювання та вади людини? 6. У яких формах можуть проявлятися спадкові захворювання та вади людини? 7. Які методи досліджень застосовують у медичній генетиці? 8. Що таке медико-генетичне консультування та які його завдання? 9. Для чого застосовують генну терапію?

**Проблемне завдання.** Поміркуйте, чому втручання в спадковий матеріал людини може мати негативні наслідки. Які проблеми етичного плану виникають при проведенні медико-генетичного консультування?

## § 17. ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИ СУЧАСНОЇ СЕЛЕКЦІЇ

**Аби краще засвоїти матеріал цього параграфа, слід пригадати:** що таке порода тварин, сорт рослин, штам мікроорганізмів, чисті лінії, генофонд? Яка роль генотипу та умов середовища у формуванні фенотипу? Які існують системи шлюбів у людини та які їхні наслідки? Що таке гібридизація?

**Селекція** (від лат. *селекціо* – вибір, добір) – наука про теоретичні основи і методи створення нових і поліпшення існуючих сортів рослин, порід тварин і штамів мікроорганізмів, пристосованих до сучасних вимог сільсько-господарства і промисловості.

Теоретичними основами селекції слугують результати генетичних досліджень і вчення про штучний добір. Для досягнення ефективних результатів селекціонер повинен бути добре обізнаним також з особливостями розмноження, індивідуального розвитку та процесів життєдіяльності видів, з якими він працює.

### Які завдання селекції?

Селекція відіграє значну роль у вирішенні основного завдання сільсько-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.

**Запам'ятайте:** для успіху селекційної роботи дуже важливе генетичне різноманіття вихідного матеріалу. Генофонд існуючих порід свійських тварин і сортів культурних рослин значно обмежений порівняно з вихідними природними популяціями. Тому для його урізноманітнення вчені постійно шукають ознаки, що їх цікавлять, серед диких видів. Ці види слугують резервом спадкового матеріалу для проведення селекційної роботи. Тож генофонд диких видів потребує охорони.



### Що таке сорт рослин, порода тварин та штам мікроорганізмів?

**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.

**Штам** (від нім. *штам* – стовбур, родина) – це чиста культура (тобто нащадки однієї клітини) мікроорганізмів. Від однієї материнської клітини внаслідок селекції можливо отримати різні штами, які відрізняються за продуктивністю, чутливістю до антибіотиків тощо.

**Запам'ятайте:** породи тварин, сорти рослин чи штами мікроорганізмів є своєрідними штучними популяціями, створеними людиною. На відміну від природних популяцій, породи, сорти або штами не здатні існувати поза певними штучними угрупованнями (поля, пасовища, ферми тощо). Без підтримки людини сорти рослин і породи тварин можуть вироджуватись – втрачати притаманні їм властивості.

Вчені всебічно досліджують властивості нових порід і сортів і 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.

### Які основні методи застосовують у селекції?

Класичні методи селекції – це штучний добір і гібридизація.

**Штучний добір** – це відбір людиною найбільш цінних у господарському відношенні тварин, рослин, мікроорганізмів для отримання від них нащадків з бажаними ознаками.



Мал. 17.1. Групи порід собак: знайдіть на малюнку вихідну форму – вовка, а також представників службових, мисливських та декоративних порід



**Мал. 17.2.** Вільгельм Людвіг Іогансен (1857–1927) – датський учений, який 1909 року у своїй праці «Елементи точного вчення спадковості» ввів терміни «ген», «генотип», «фенотип»



Формування порід і сортів почалося з приручення людиною диких видів тварин і вирощування диких видів рослин. Основу різноманіття порід і сортів складає один або кілька видів диких предків. Наприклад, предком усіх порід свійського собаки, яких нараховують близько 450, вважають вовка (мал. 17.1), а свійського голуба (понад 150) – скельного голуба.

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 варіант ознаки проявляється все більше, оскільки як плідників відбирають особин, у яких він виражений краще. Такий добір, зазвичай, приводить і до змін деяких інших ознак, а з часом – і до помітної перебудови самого організму, тобто до створення нового сорту або породи.

Штучний добір серед самозапильних рослин і самозапідних тварин закінчується виділенням з неоднорідної за генним складом вихідної групи чистих (гомозиготних) ліній. У таких особин єдиним джерелом спадкових змін слугують лише мутації. Так, свого часу датський генетик В. Л. Іогансен (мал. 17.2) від різних самозапильних рослин квасолі відібрав дві групи насіння з найбільшою і найменшою масами. В межах кожної з них він проводив добір відповідно на збільшення або зменшення маси насіння. В обох випадках протягом поколінь добір не дав помітних результатів.

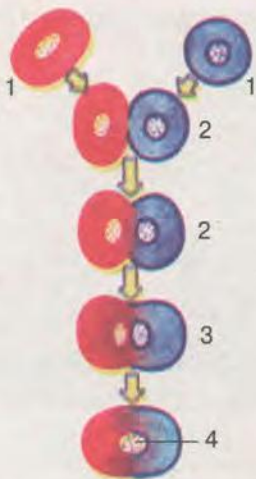
### Які існують форми штучного добору?

Застосовують масову та індивідуальну форми штучного добору. При **масовому доборі** з вихідного матеріалу відбирають особин з певними фенотипними особливостями. Хоча масовий добір простий у застосуванні і дає непогані результати, проте має низку недоліків. Групи ззовні подібних особин можуть виявитися генетично різнорідними (наприклад, гомозиготними за домінантними алелями або гетерозиготними), що обов'язково вплине на ефективність добору. Так, при схрещуванні між собою гетерозиготних організмів у гібридів перших поколінь частка особин з бажаними для селекціонера варіантами ознак буде значною. Але в міру накопичення гомозиготних нащадків ефективність добору в подальшому буде знижуватися.

При **індивідуальному доборі** кожного плідника обирають на підставі детального вивчення як його фенотипу, так і генотипу. Інформацію про генотип цих організмів можна отримати, вивчаючи родоводи, за допомогою системи аналізуючих схрещувань тощо.

Ефективність селекції залежить не лише від форми штучного добору, а й від правильного вибору батьківських пар плідників і застосування відповідної системи схрещування організмів – гібридизації.





Мал. 17.3. Гібридизація соматичних клітин: 1 – батьківські клітини; 2 – початкові етапи злиття цитоплазми; 3 – утворення єдиної клітини з двома ядрами; 4 – злиття ядер гібридної клітини

Гібриди виникають унаслідок статевого процесу або шляхом об'єднання нестатевих клітин. Ядра гібридних клітин можуть зливатися (мал. 17.3) або ж залишаються відокремленими. Шляхом гібридизації у фенотипі нащадків поєднують бажані для практичного застосування стани ознак батьків і запобігають проявам негативних наслідків споріднених схрещувань.

### Які існують системи гібридизації?

Гібридизація можлива між особинами одного (внутрішньовидова) та різних видів з одного чи двох родів (міжвидова, або віддалена) організмів. Внутрішньовидове схрещування буває спорідненим і неспорідненим.

Найтісніші форми спорідненого схрещування спостерігають серед самозапильних рослин і гермафродитних самозапильних тварин. В організмів з перехресним заплідненням найбільш тісні форми спорідненого схрещування відбуваються при паруванні нащадків спільних батьків і батьків із власними нащадками.

Ви знаєте, що внаслідок послідовних споріднених схрещувань з кожним наступним поколінням підвищується гомозиготність. У самозапильних рослин майже повну гомозиготність спостерігають в 10-му поколінні (до 99,9 %), а у тварин подібний результат відмічений після 20-го покоління. Проте 100 %-ї гомозиготності за всіма генами досягти не вдається, бо її порушують мутації.

Споріднене схрещування, як ви вже знаєте, може призводити до ослаблення, виродження або загибелі нащадків внаслідок переходу до гомозиготного стану рецесивних летальних чи сублетальних алелів. У селекції його використовують для отримання чистих ліній.

Неспоріднене схрещування – гібридизація представників різних ліній, сортів чи порід одного виду. За неспорідненого схрещування гетерозиготність нащадків зростає з кожним наступним поколінням, тобто за генетичними наслідками воно протилежне спорідненому. У нащадків, отриманих унаслідок неспорідненого схрещування, часто спостерігають явище гібридної сили, або гетерозису.

**Гетерозис** (від грец. *гетероіозис* – зміна, перевтілення) – явище, коли перше покоління гібридів, отриманих унаслідок неспорідненого схрещування, має підвищену життєздатність і продуктивність порівняно з батьками. У гетерозисних особин сублетальні і 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 обох батьків. Це, в свою чергу, може зумовлювати взаємодію домінантних алелів неалельних генів (наведіть приклади). Також деякі стани ознак повніше проявляються у гетерозигот, ніж у гомозигот. Як показали біохімічні дослідження гетерозисних істот, у них, порівняно з батьками, ширший набір і підвищена активність ферментів.





**Мал. 17.4.** Прояв гетерозису у курей: вихідні породи: корніш (1) та плімутрок (2); 3 – бройлери (гетерозисні курчата м'ясних порід)



**Мал. 17.5.** Міжвидові гібриди: кобили та осла – мул (1), коня із зеброю (2), пшениці та пирію (3)

Гетерозис найчіткіше проявляється в першому поколінні гібридів, а в наступних поколіннях унаслідок розщеплення ознак і переходу частини генів у гомозиготний стан, ефект гібридної сили слабшає і до восьмого покоління сходить нанівець. У рослин гетерозисні зміни фенотипу передаються нащадкам при вегетативному та партеногенетичному розмноженні. Гетерозис може більше проявитись у певних ознаках, не зачіпаючи інших.

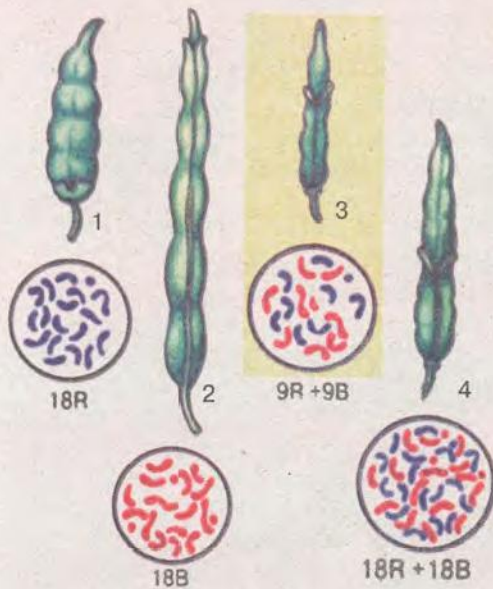
Явище гетерозису широко застосовують у сільському господарстві, оскільки воно дає змогу значно підвищити продуктивність кукурудзи (до 20–25 %), цибулі, помідорів, огірків, баклажанів, цукрового буряку тощо. У тваринництві схрещування представників різних порід пришвидшує ріст і статеве дозрівання, поліпшує якість м'яса (мал. 17.4), молока та ін.

Віддалену гібридизацію здійснюють з метою отримання високопродуктивних гібридів (мал. 17.5). Різноманітні міжвидові гібриди отримані у рослинництві та тваринництві. Гібриди кобили і осла (мули) чи одnogорбого і двогорбого верблюдів вирізняються значними силою, витривалістю і довголіттям. Гібрид білуги і стерляді (бістер) характеризується швидким ростом і високими смаковими якостями.

### Як можна подолати безпліддя міжвидових гібридів?

Селекціонери часто стикаються з проблемою безпліддя міжвидових гібридів, гамети яких зазвичай не дозрівають. Навіть за однакового числа хромосом в обох батьківських каріотипах вони можуть розрізнятися за розмірами та особливостями будови і тому нездатні до кон'югації під час мейозу. Так, мули нездатні до розмноження; у гібрида яка і великої рогатої худоби самці безплідні, а самки – плодючі.





**Мал. 17.6.** Гібрид капусти та редьки – видів з різних родів родини Капустяні: 1 – редька та її хромосомний набір ( $2n = 18$ ); 2 – капуста та її хромосомний набір ( $2n = 18$ ); 3 – диплоїдний ( $2n$ ) стерильний гібрид; 4 – здатний до розмноження тетраплоїдний гібрид ( $4n = 36$ )

Методику подолання безпліддя міжвидових гібридів у рослин вперше розробив 1924 року російський учений Георгій Дмитрович Карпеченко (1899–1942) на прикладі гібрида капусти з редькою (мал. 17.6). Створений гібрид виявився безплідним, оскільки під час мейозу «капустяні» і «редькові» хромосоми між собою не кон'югували. Тоді вчений подвоїв число хромосом, тобто в тетраплоїдних ядрах нестатевих клітин гібридів опинилося по два повних набори хромосом кожного з батьківських видів. Завдяки цьому процес мейозу відбувався нормально: «капустяні» хромосоми кожної пари кон'югували з «капустяними», а «редькові» – з «редьковими». Таким чином, у кожну з гамет завжди потрапляло по гаплоїдному набору хромосом редьки та капусти.

### Які є центри походження і різноманітності культурних рослин та свійських тварин?

Археологічні та палеонтологічні дослідження дали змогу з'ясувати, що перші вдалі спроби введення в культуру рослин і приручення тварин були 20–30 тис. років тому, а більшість з них проведено за останні 4–6 тис. років.

Центри походження і різноманітності культурних рослин дослідив М. І. Вавилов. Під його керівництвом у 20–30-х роках ХХ сторіччя були організовані численні експедиції в різні куточки нашої планети. Вони встановили, що для кожного з видів культурних рослин існує свій центр різноманітності, де виявлено найбільшу кількість їхніх сортів і форм. Центри походження одомашнених видів – частина ареалу диких предків, де ймовірно їх вводили в культуру. Вчений зробив висновок: *центри різноманітності культурних рослин є водночас районами їхнього походження* (табл. 17.1).

Виявлення таких центрів підказало вченим, де саме потрібно шукати генетично різноманітний вихідний матеріал для селекційної роботи. Завдяки експедиціям М.І. Вавилова було створено унікальну колекцію насіння приблизно 1600 видів рослин, яку використовували для селекційної роботи. Родинні зв'язки культурних рослин і диких видів встановлюють на підставі порівняльно-морфологічного аналізу особливостей каріотипів та інших ознак, молекулярно-біологічних, біохімічних та фізіологічних досліджень тощо.



Таблиця 17.1

**Центри різноманітності і походження культурних рослин  
(за М.І. Вавиловим)**

Назва центру	Де розташований	Які види походять
<b>Південно-азійський тропічний</b>	Індія, Індокитай, Південний Китай, острови Південно-Східної Азії	Огірки, кілька видів цитрусових і бананів, рис, цукрова тростина
<b>Східноазійський</b>	Центральний і Східний Китай, Японія, Корея, Тайвань	Соя, гречка, редька, яблуна, груша, слива, шовковиця, кілька видів проса
<b>Південно-західноазійський</b>	Мала і Середня Азія, Кавказ, Іран, Афганістан, Північно-Західна Індія	Горох посівний, сочевиця, морква, цибуля ріпчаста, бавовник, льон, виноград, абрикос, мигдаль, волоський горіх, кілька видів м'якої пшениці, жита, ячменю та вівса
<b>Середземно-морський</b>	Узбережжя Середземного моря	Цукровий буряк, капуста, олива, конюшина, люпин
<b>Абіссінський</b>	Абіссінське нагір'я, південь Аравійського півострова	Тверда пшениця, зернове сорго, особливий вид бананів
<b>Центрально-американський</b>	Південна Мексика та острови Карибського моря	Кукурудза, червоний перець, гарбуз, тютюн, какао, довговолокнутий бавовник, соняшник
<b>Південно-американський (Андійський)</b>	Частина Анд уздовж узбережжя Південної Америки	Картопля, помідори, арахіс, ананас, хінне дерево

Культурні рослини належать до більш ніж 25 тисяч видів. Учені вважають, що одними з перших ввели в культуру кукурудзу, гарбуз, кокосову пальму, цибулю, горох посівний, ячмінь, пшеницю, рис. Дикі предки одних культурних рослин у природі не знайдені (наприклад, цибулі ріпчастої), інших – дотепер поширені в природних екосистемах (наприклад, дикі капуста та морква). Деякі культурні рослини було виведено за допомогою віддаленої гібридизації (наприклад, ріпак – гібрид капусти і свиріпи). Залежно від мети вирощування розрізняють харчові (зернові, зернобобові, овочеві, плодово-ягідні та ін.), кормові, лікарські, технічні (олійні, ефіроолійні, прядильні тощо), декоративні та інші культурні рослини. Завдяки селекційній роботі виведена велика кількість сортів цих рослин (наприклад, пшениці понад 4000, тюльпанів – 8000 сортів).

Хоча землеробство на території України розвивається понад 5 тисячоліть, практично всі культурні рослини, які вирощують у нас, походять з інших країн. Єдиний вид із сучасних меж України, окультурений





Мал. 17.7. Цвітіння тюльпанів Шренка в українському степу

татарами за часів Кримського ханства, це характерний для степової зони тюльпан Шренка (мал. 17.7). Через Туреччину він потрапив до Європи, і починаючи з кінця XVI сторіччя лідером із селекції декоративних сортів тюльпана поступово стали Нідерланди.

**Які відомі райони одомашнювання і походження порід свійських тварин?**

Райони одомашнювання і походження порід свійських тварин (табл. 17.2) пов'язані з давніми центрами землеробства, точно встановити ці місця значно складніше, ніж культурних рослин. Це пояснюють здатністю тварин до активного пересування та зміною ареалів протягом історичного розвитку. Одомашнювання могло відбуватись у будь-якому місці первинного ареалу, а подальше поширення порід пов'язане не з природним середовищем існування, а з діяльністю людини. Предки свійських тварин, зазвичай, вели гуртовий спосіб життя, що сприяло одомашненню. У свійських тварин відбулися значні зміни в будові, життєвих функціях, індивідуальному розвитку, поведінці.

Таблиця 17.2

**Предки деяких свійських тварин**

Свійські тварини	Їхні предки
Собака свійський	Вовк
Кішка свійська	Степова або лівійська кішка
Вівця	Муфлон та архар
Кінь	Тарпан
Велика рогата худоба	Дикий бик – тур
Свиня свійська	Дикий кабан
Кури свійські	Дикі банківські кури
Качка свійська	Дика качка-крижень
Гуси свійські	Гуска сіра
Індичка свійська	Дика американська індичка
Короп	Сазан

Одного з перших, 10–15 тис. років тому, в декількох районах Євразії одомашнено собаку свійського, якого спочатку використовували для захисту і як помічника в полюванні. Приблизно 6 тис. років тому на території Давнього Єгипту для захисту запасів зерна від гризунів придручено кішку свійську. Понад 5 тис. років тому в Китаї виникла нова галузь виробництва – шовківництво, а в тропічних і субтропічних ре-



гіонах Євразії – бджільництво. Шовковичний шовкопряд і медоносна бджола в дикому стані нині невідомі, однак бджоли часто дичавіють. Введення в культуру диких видів рослин та одомашнення тварин триває дотепер.


**Нові терміни та поняття.** Селекція, штучний добір, районування.



**Запитання для повторення:** 1. Що таке селекція? Які завдання сучасної селекції? 2. Що таке районування? Для чого його здійснюють? 3. Від чого залежить ефективність штучного добору? 4. Що таке гібридизація? В яких формах її здійснюють? 5. Що таке споріднене та неспоріднене схрещування та які їхні наслідки? 6. Що таке віддалена гібридизація? Для чого її застосовують? 7. Які центри походження і різноманітності культурних рослин відкрив М.І. Вавилов? Яке значення для селекції мало встановлення центрів походження і різноманітності культурних рослин?

**Проблемне завдання.** Поміркуйте, чому безпліддя міжвидових гібридів тварин неможливо подолати шляхом створення поліплоїдних форм.

## § 18. ОСОБЛИВОСТІ СЕЛЕКЦІЇ РОСЛИН, ТВАРИН І МІКРООРГАНІЗМІВ. БІОТЕХНОЛОГІЯ. ГЕННА І КЛІТИННА ІНЖЕНЕРІЯ



**Аби краще засвоїти матеріал цього параграфу, слід пригадати:** що таке поліплоїдія, як вона впливає на фенотип? Що таке штучний мутагенез, районування сортів і порід, гетерозис, клонування? Що таке антибіотики і вітаміни? Що таке щеплення та з якою метою його здійснюють? Що таке плазмід?

Селекція різних груп живих істот (тварин, рослин, мікроорганізмів) має певні відміни, пов'язані з їхніми біологічними особливостями.

### Які особливості селекції рослин?

Можливість отримання великої кількості вихідного матеріалу дозволяє використовувати в селекції рослин різні форми штучного добору (як масовий, так і індивідуальний). У селекції рослин застосовують різні форми гібридизації: споріднену, неспоріднену, міжвидову. Міжвидові гібриди рослин часто безплідні, проте їх розмножують вегетативним шляхом або долають безпліддя, подвоюючи число хромосом. Зокрема, створені гібриди пшениці й пирію, які відрізняються високою продуктивністю (до 300–450 ц зеленої маси з гектара) і стійкістю до полягання; пшениці та жита; плодово-ягідних культур (наприклад, малини та ожини, сливи та терену). Створені поліплоїдні високопродуктивні сорти різних культурних рослин: картоплі, садових суниць, цукрового буряку, гречки, льону, кавуна, м'якої пшениці, жита, кукурудзи, проса тощо. Для селекції рослин важливі мутанти з гаплоїдним числом хромосом. Штучно подвоївши це число, можна швидко отримати гомозиготні за більшістю генів форми.





Мал. 18.1. Форми щеплення: 1 – зближення; 2 – копулювання; 3 – вприклад; 4 – в розціп; 5 – окулірування (6 – вічко)

**Щеплення** (мал. 18.1) – особливий спосіб штучного об'єднання частин різних особин. Нагадаємо, що частину рослини, яку прищеплюють, називають *прищепою*, а рослину, до якої прищеплюють, – *підщепою*. Щеплення відрізняється від справжньої гібридизації тим, що приводить лише до модифікаційних змін фенотипу прищепленої особини, не змінюючи генотипи обох рослин. Щеплення здійснюють для підсилення бажаних змін фенотипу поєднанням властивостей прищепи й підщепи та поширення їх на весь новостворений організм (наприклад, прищеплення до зимостійкої дички живців від південних високопродуктивних сортів плодових культур забезпечує поєднання високих смакових якостей прищепи з холодостійкістю підщепи).

Більшість сортів плодових культур є наслідком мутацій нестатевих клітин; тому при розмноженні насінням нащадки повертаються до фенотипів батьківських форм. Отже, єдиними способами підтримати їхні властивості є вегетативне розмноження або щеплення.

Унаслідок взаємодії прищепи й підщепи нащадки отримують нові корисні властивості, які можна використовувати в подальшій селекційній роботі.

Отримані за допомогою щеплення гібриди необхідно постійно підтримувати, проводячи періодичні повторні щеплення, інакше виродження (повернення до предкових диких форм) сорту неминуче.

У селекції рослин для підвищення різноманітності вихідного матеріалу застосовують різні форми гібридизації спільно із штучним мутагенезом. Завдяки цьому та подальшому добору мутантних нащадків створено сотні нових сортів культурних, переважно злакових, рослин (пшениці, жита, ячменю, кукурудзи тощо).

### Які особливості селекції тварин?

Оскільки свійським тваринам притаманне лише статеве розмноження, вегетативне розмноження безплідних міжвидових гібридів неможливе. В селекції тварин майже не застосовують масовий добір, бо кількість нащадків незначна і тому кожна особина має велику цінність.

Організм тварини характеризується високим ступенем інтеграції, тому при селекції потрібно враховувати *корелятивну мінливість*: у разі зміни певної ознаки можуть змінюватись інші, генетично пов'язані з нею. Так, із збільшенням довжини кінцівок у тварин стає довшою і шия, з видовженням тіла свиней стає тоншим шар сала.

У селекції тварин застосовують споріднене (для переведення певних генів у гомозиготний стан) та неспоріднене схрещування, а також віддалену





Мал. 18.2. Дюрок-джерсїська (1) та беркширська (2) породи свиней слугують для отримання гетерозисних особин

гібридизацію (для виведення нових порід). Споріднене схрещування ефективно на окремих етапах селекційної роботи (для підтримання чистоти породи тощо), а його негативні наслідки усувають за допомогою гібридизації представників різних ліній або порід. Широко використовують і явище гетерозису. Наприклад, схрещуючи свиней деяких порід (мал. 18.2), отримують нащадків, які за неповний рік сягають маси понад 300 кг.

Практично важливі спадкові ознаки можуть фенотипно не проявлятися 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. Плідників з найкращими показниками залишають для подальшої селекційної роботи. Час використання плідників обмежений тривалістю їхнього репродуктивного періоду. Тому статеві клітини плідників тривалий час зберігають за понижених температур для штучного запліднення необхідного числа особин протилежної статі.

### Які основні напрями селекції мікроорганізмів?

Мікроорганізми (прокаріоти і деякі мікроскопічні еукаріоти, наприклад, дріжджі) широко використовують у харчовій, кормовій, мікробіологічній, виноробній та інших галузях, для біологічної боротьби зі шкідниками тощо. Вони мають низку особливостей, які необхідно враховувати в селекційній роботі. Насамперед, гібридизація для більшості видів мікроорганізмів неможлива через відсутність статевого процесу. 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 необхідну 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 із різних штамів чи видів.

### Що таке біотехнологія?

**Біотехнологія** – сукупність промислових методів, у яких використовують живі організми або біологічні процеси.





**Мал. 18.3.** Широко використовують для перероблення компостів (суміш рослинних решток та посліду тварин) ейсенію пахучу (промислова назва – каліфорнійський червоний). Шляхом селекції створені високопродуктивні поліплоїдні форми цих тварин

Завдяки мікроорганізмам людина отримує різноманітні антибіотики, вітаміни, амінокислоти, гормони та ін. У харчовій промисловості та галузі виробництва кормів використовують високопродуктивні штами, які дають змогу збільшити випуск високоякісних продуктів харчування (кисломолочних, сирів, пива) і кормів для тварин (силос, кормові дріжджі) тощо.

Селекціонери створили штучні популяції грибів, здатних синтезувати кормові білки з відходів рослинництва, нафти та нафтопродуктів, та штами мікроорганізмів, які можуть вилучати сполуки рідкоземельних елементів і дорогоцінні метали з руд і промислових відходів. Мікроорганізми виробляють основну кількість харчової лимонної кислоти.

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. Для очищення стічних вод і природних водойм використовують здатність деяких видів бактерій, водоростей, одноклітинних тварин накопичувати певні сполуки в своїх клітинах.

Штами мікроорганізмів, а також штучні популяції певних видів паразитичних круглих червів, кліщів і комах застосовують у біологічному методі боротьби зі шкідниками сільського та лісового господарств, членистоногими – паразитами свійських тварин і людини та кровосисними видами.

На великих фермах і птахофабриках личинок багатьох видів мух завдяки спеціальним біотехнологіям використовують для швидкої переробки посліду. Так само для перероблення органічних решток використовують деякі види дощових червів (мал. 18.3).

Галузі господарства, де використовують біотехнологічні процеси, наведено в таблиці 18.1.

Таблиця 18.1

**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 шкідливими видами	Енергетичні сполуки (етанол, біогаз тощо)	Етилен, ацетон, бутанол тощо



Технологія	Галузь господарства				
	Охорона здоров'я	Харчова промисловість	Сільське господарство	Енергетика	Хімічна промисловість
Генна інженерія	Інтерферони, гормони, вакцини		Біологічні препарати для боротьби з шкідливими видами		
Клітинна інженерія (культури клітин і тканин)	Інтерферони, вакцини, антитіла	Білки	Клонування свійських тварин		

### Які методи та досягнення генної інженерії?

Методи перебудови геномів організмів передбачають видалення або введення в геном клітини окремих генів чи їхніх груп. Як вектори синтезованих або виділених генів використовують віруси та плазміди. З геному, який містить певний ген, виділяють молекулу іРНК, на якій синтезують комплементарну нитку ДНК. Так виникає ДНК-РНК-комплекс, з якого іРНК видаляють, а на нитці ДНК, що залишилася, за принципом комплементарності синтезують другу. Її вбудовують у молекулу ДНК плазміди, яка слугує переносником.

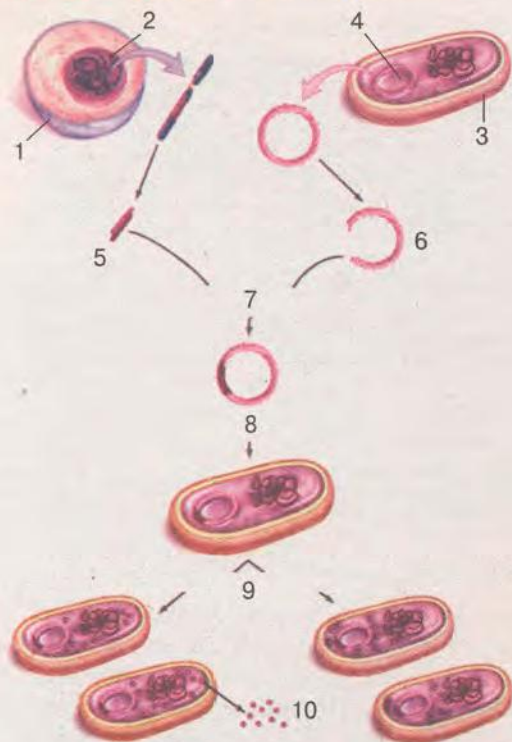
За іншої методики молекулу ДНК розділяють на окремі ділянки (фрагменти). Далі ці фрагменти сполучають із заздалегідь переведеною у лінійну форму молекулою векторної ДНК. У такому вигляді вони потрапляють усередину клітини, відділяються від вектора та приєднуються до ДНК хазяїна. При перенесенні із клітини в клітину еукаріотів метафазних хромосом, які звичайно розпадаються на фрагменти, одні з цих ділянок зникають, інші вбудовуються в хромосому клітини-хазяїна.

У клітини еукаріотів, наприклад рослин, молекули ДНК можна вводити і без векторів, наприклад, за допомогою скляної голки (мікроін'єкції ДНК). Молекули ДНК та цілі хромосоми також вводять за допомогою ліпосом. Це оточені подвійним ліпідним шаром порожнисті кульки діаметром близько 100 нм. Молекулу ДНК вносять всередину ліпосом, яку потім вводять у клітину. Ліпідний шар захищає ДНК від розкладу ферментами клітини.

Об'єктами досліджень генної інженерії слугують переважно прокариоти. Наприклад, у геном бактерій введено гени пацюка і людини, які відповідають за синтез гормону інсуліну, необхідного хворим на цукровий діабет (мал. 18.4).

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. Слід зазначити, що перелік медичних препара-





**Мал. 18.4.** Перенесення генів у бактеріальну клітину: 1 – людська клітина; 2 – молекула ДНК людської клітини; 3 – клітина бактерії; 4 – бактеріальна плазміда; 5 – ген, який кодує гормон інсулін; 6 – за допомогою ферменту бактеріальну плазміду «розшивають»; 7 – за допомогою іншого ферменту «вшивають» ген гормону інсуліну у бактеріальну плазміду, отримуючи рекомбінантну ДНК; 8 – плазміду-вектор вводять у клітину бактерії; 9 – при розмноженні бактеріальної клітини відбувається клонування гену інсуліну; 10 – молекули синтезованого інсуліну

тів, отриманих за допомогою методів генної інженерії, щорічно зростає.

Крім вирішення практичних питань (підвищення продуктивності штамів мікроорганізмів, внесення до прокаріотичних клітин генів, які відповідають за синтез вітамінів, гормонів, ферментів тощо), в майбутньому генна інженерія буде здатна замінювати дефектні алелі певних генів нормальними на ранніх етапах онтогенезу; поєднувати в одному геномі спадкову інформацію різних

організмів тощо. Технологія перенесення від прокаріотів генів, які відповідають за фіксацію атмосферного азоту, до клітин вищих рослин, дала б змогу скоротити витрати на виробництво і внесення в ґрунт азотних добрив.

Результати генної інженерії важливі для розвитку теоретичної біології. Завдяки їм були зроблені важливі відкриття про будову та функціонування генів, структуру геномів та ін. Для генної інженерії важливе створення банків генів, тобто колекцій генів і геномів різних організмів.

Унаслідок накопичення величезної маси даних у різних галузях біології, зокрема розшифрування послідовностей нуклеотидів у ДНК окремих хромосом і геномів різних видів, виникла окрема галузь знань – **біоінформатика**. Одним з її напрямів є застосування математичних методів і комп'ютерної техніки для збереження та аналізу цієї інформації.

Нині багато уваги приділяють генетично зміненим, або трансгенним, організмам (генетично модифіковані організми – ГМО). Наприклад, методами генної інженерії в геном рослин вводять певні гени, які забезпечують стійкість до дії пестицидів, шкідників, збудників захворювань, інших несприятливих факторів довкілля. Зокрема, до геному певних сортів картоплі вбудовано 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.





Мал. 18.5. Метод отримання трансгенних тварин

Є дані, що споживання генетично змінених рослин в їжу може спричиняти у людини харчові алергії та отруєння, погіршення стану здоров'я тощо. Невідомо також, впливатиме чи ні їхнє споживання на генотип людей та як генетично змінені організми впливатимуть на природні екосистеми, їхнє біологічне різноманіття. Дискусії щодо трансгенних організмів зумовили прийняття в Україні закону «Про державну систему біобезпеки»<sup>1</sup> під час здійснення генетично-інженерної діяльності». Він передбачає обов'язкову наукову оцінку ризику застосування генетично змінених організмів.

Процес створення трансгенних тварин складніший, ніж рослин. Після народження нащадків сурогатною матір'ю їх перевіряють на наявність введених генів. Для цього ймовірних трансгенних істот схрещують зі звичайними. У разі підтвердження наявності введених генів у нащадків їх схрещують між собою для отримання чистих трансгенних ліній.

Штучне втручання в геноми, крім технічних труднощів, пов'язане також із проблемами етичного плану. Зміни генотипів організмів, особливо людини, може призвести до непередбачених наслідків незалежно від намірів експериментаторів.

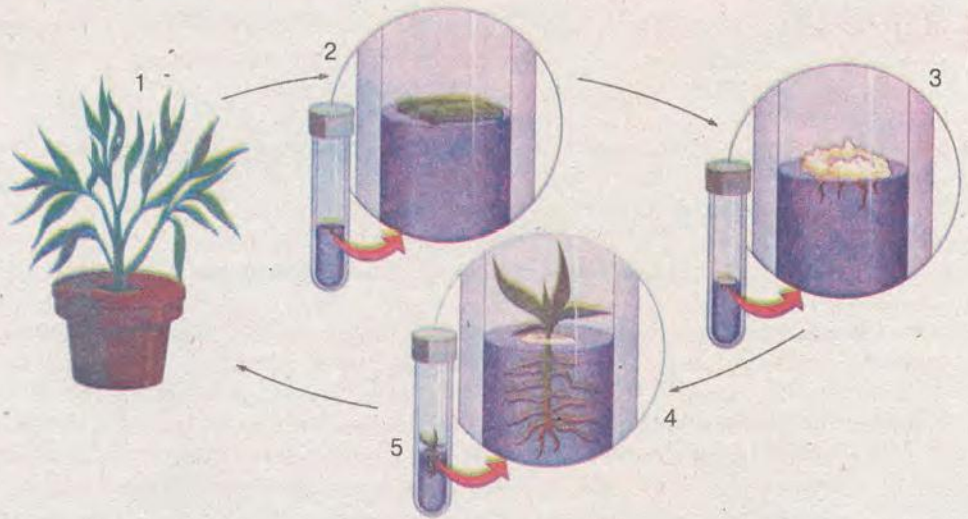
### Що собою становить клітинна (тканинна) інженерія?

Клітинна (тканинна) інженерія – галузь біотехнології, в якій використовують методи виділення клітин з організму, трансформування їх і вирощування на поживних середовищах. Такі культури дають змогу отримати важливі сполуки: вітаміни, гормони, фітогормони, цілющі препарати (наприклад, женьшеню) в потрібних кількостях, що значно знижує їх 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 вектори у генній інженерії, для діагностики вірусних захворювань чи отримання вакцин.

Методами клітинної інженерії здійснюють віддалену гібридизацію соматичних клітин організмів, яку неможливо здійснити іншим способом (людини і миші, людини і моркви, курки і дріжджів тощо). Це дає змогу

<sup>1</sup> Біологічна безпека (біобезпека) – збереження живими організмами своєї біологічної сутності, біологічних якостей та запобігання масштабних втрат біологічної цілісності унаслідок впливу генної або клітинної інженерії на органи, тканини та організми; проникнення в екосистеми невластивих для них видів; забруднення природних ресурсів (грунту, води, харчових ресурсів) тощо.





**Мал. 18.6.** 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

створювати препарати, які підвищують стійкість проти різних захворювань тощо. Так, культури гібридів нормальних клітин з раковими на штучних поживних середовищах виробляють антитіла, що знищують клітини злоякісних пухлин, не діючи на здорові.

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 відкриває перспективи штучного вирощування тканин та деяких органів людини і тварин з метою їхнього подальшого введення в організми.

Ще одним напрямом клітинної інженерії є **клонування** організмів. *Клон* (від грец. *клон* – гілка, нащадок) – це сукупність клітин або особин, отриманих від спільного предка нестатевим шляхом; клон складається з генетично однорідних клітин або організмів. У рослин природне клонування поширене завдяки нестатевому, зокрема, вегетативному, розмноженню. Вчені також отримують штучні клони рослин (мал. 18.6).

При клонуванні тварин ядро незаплідненої яйцеклітини замінюють ядром нестатевої клітини іншої особини. Таку штучну зиготу пересаджують у матку самки, де зародок і розвивається. Така методика дає змогу отримувати від цінних за своїми властивостями плідників значну кількість нащадків – їхніх точних генетичних копій. Експериментально вчені клонували різні види тварин (наприклад, відому вівцю Доллі).

Окремо слід згадати про створення химерних організмів. Химерні організми – штучно створені істоти, які мають клітини, що належать різним біологічним видам.

Учені, які створюють химерні організми, стверджують, що це допоможе розробляти нові способи лікування раку або цукрового діабету. Але такі досліді небезпідставно викликають негативне ставлення не тільки з боку простих людей, але й багатьох учених.



**Нові терміни та поняття.**

*Біотехнологія, трансгенні та химерні організми, генна та клітинна інженерія, клонування організмів.*



**Запитання для повторення:** 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 з селекцією рослин? Що таке оцінка плідників за якостями нащадків? 5. Для чого здійснюють селекцію мікроорганізмів та які її особливості? 6. Які завдання біотехнології? 7. Які завдання генної інженерії? Які методики генної інженерії використовуює в своїх дослідженнях? 8. Які завдання клітинної (тканинної) інженерії?

**Проблемне завдання.** Поміркуйте, яка роль генної і клітинної інженерії у розвитку теоретичної біології. Чому поліплоїдні сорти продуктивніші за диплоїдні?

**ТЕМАТИЧНА ПЕРЕВІРКА ЗНАТЬ****I. Із запропонованих відповідей виберіть одну правильну:**

- Зазначте, яке угруповання організмів у природі відповідає породі тварин чи сорту рослин: а) вид; б) зграя; в) родина; г) популяція.
- Вкажіть, чим супроводжується споріднене схрещування організмів: а) підвищенням гомозиготності нащадків; б) підвищенням гетерозиготності нащадків; в) гетерозисом; г) не впливає на генотип нащадків.
- Зазначте покоління гібридів, у якому найповніше проявляється гетерозис: а) перше; б) друге; в) третє; г) восьме.
- Вкажіть організми, при селекції яких часто отримують поліплоїдні форми: а) тварини; б) рослини; в) прокаріоти; г) віруси.
- Визначте, як називають нащадків однієї клітини: а) пороною; б) сортом; в) штамом; г) генофондом.
- Вкажіть форму штучного добору, яку найчастіше застосовують у селекції тварин: а) масовий; б) розриваючий; в) стабілізуючий; г) індивідуальний.

**II. Завдання на встановлення відповідності:**

- Встановіть відповідність між різними типами схрещування та їхніми генетичними та біологічними наслідками:

Тип схрещування	Ознаки, генетичні та біологічні наслідки
А. Споріднене Б. Неспоріднене В. Віддалена гібридизація	1. Зростає рівень гетерозиготності, гетерозис; можливі зміни каріотипу та стерильність нащадків 2. Зростає рівень гетерозиготності; каріотип не змінюється; можливий гетерозис 3. Можливі зміни каріотипу, зростає рівень гомозиготності, можлива стерильність нащадків 4. Зростає рівень гомозиготності; розвивається біологічна депресія (виродження нащадків)



2. Встановіть відповідність між формами штучного добору та притаманними їм ознаками:

Форма штучного добору	Ознаки
А. Масовий Б. Індивідуальний	1. Обирають окремих особин за наслідками вивчення фенотипу та генотипу; застосовують у селекції рослин та тварин 2. Обирають групу особин за наслідками вивчення фенотипу; зазвичай не застосовують у селекції тварин

3. Встановіть відповідність між різними галузями та методами біології:

Галузі біології	Методи
А. Селекція Б. Генна інженерія В. Клітинна інженерія	1. Клонування 2. Штучний добір 3. Стабілізуючий добір 4. Генна терапія

### III. Відкриті запитання:

1. Чому центри стародавнього землеробства і походження культурних рослин зазвичай знаходяться в гірській місцевості?
2. Чим можна пояснити, що райони одомашнювання тварин часто збігаються із центрами походження культурних рослин?
3. У чому полягає складність перенесення генів еукаріотів у прокаріотичну клітину?
4. Чи варто відмовитись від подальших досліджень у галузі створення трансгенних організмів?
5. Яке значення для подальшого розвитку генетики, селекції та біотехнології має створення банків генів?
6. З якою метою у селекції організмів можуть застосовувати мутації, які супроводжуються кратним зменшенням кількості наборів хромосом?
7. Якими шляхами модифіковану молекулу ДНК можна ввести у клітину?
8. Які можливі напрями застосування генетично модифікованих рослин та тварин?





## Тема **8** Індивідуальний розвиток організмів

Під час вивчення цієї теми ви дізнаєтесь про способи запліднення в живих істот; етапи ембріонального та типи постембріонального розвитку багатоклітинних організмів; типи життєвих циклів рослин і тварин. Ви також навчитеся розрізняти на схемах і препаратах основні ланки онтогенезу.

### § 19. ЗАПЛІДНЕННЯ У РІЗНИХ ГРУП ОРГАНІЗМІВ

**Аби краще засвоїти матеріал цього параграфа, слід пригадати:** як відбувається гаметогенез? Які є джерела комбінативної мінливості? Що таке акросома? Які особливості ізогамії, гетерогамії та овогамії? Які рослини називають однодомними та дводомними? Які відомі пристосування рослин до різних способів запилення? Що таке слань? Яка будова пилкового зерна та насінного зачатку?

**Запліднення** – це процес злиття чоловічої і жіночої статевих клітин (гамет) з утворенням заплідненої клітини (зиготи), з якої розвивається новий організм.

Після запліднення розвиток нового організму розпочинається послідовними поділами зиготи з подальшою диференціацією клітин, тканин та органів.

#### Як відбувається запліднення у різних груп живих істот?

Запліднення у тварин буває зовнішнім і внутрішнім. За **зовнішнього запліднення** статеві клітини зливаються поза статевими органами, переважно в навколишньому середовищі. Воно характерне для більшості водних видів (багатошестинкові черви, двостулкові молюски, річкові раки, голкошкірі, ланцетники, більшість кісткових риб і земноводних) (мал. 19.1) і деяких наземних чи ґрунтових тварин (наприклад, дощових червів). Це пов'язане з тим, що поза організмом на статеві клітини несприятливо впливають різні екологічні фактори (висока чи низька температура, пере-



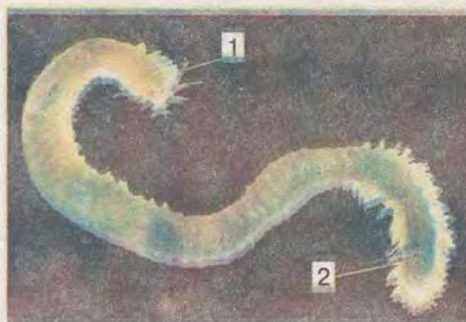


Мал. 19.1. Зовнішнє запліднення в жаб (1) та кісткових риб (2)

сихання, ультрафіолетові промені тощо). А водне середовище певним чином згладжує ці негативні впливи. Крім того, вода сприяє пересуванню рухливих чоловічих гамет. Яйцеклітини виділяють у довкілля особливі речовини, які приваблюють сперматозоїди лише відповідного біологічного виду, що запобігає міжвидовим схрещуванням.

У мешканця дна Тихого океану багатощетинкового черва палоло (мал. 19.2) статеві клітини в особин обох статей дозрівають одночасно в певну фазу Місяця. Гамети утворюються лише в задній частині тіла, яка відривається від передньої і спливає в поверхневі шари. Там гамети виводяться у воду. У передньої частини черва, що залишилася біля дна; регенерує задній кінець. І через певний час тварина знову стає готовою до розмноження.

У річкових раків самці за допомогою видозмінених черевних кінцівок поміщають спермії (безжугиткові чоловічі гамети), оточені захисними оболонками, на тіло самки поблизу її статевих отворів. Незабаром із цих отворів виділяються яйцеклітини та особлива речовина, що розчинює оболонку капсули зі сперміями; після цього відбувається зовнішнє запліднення.

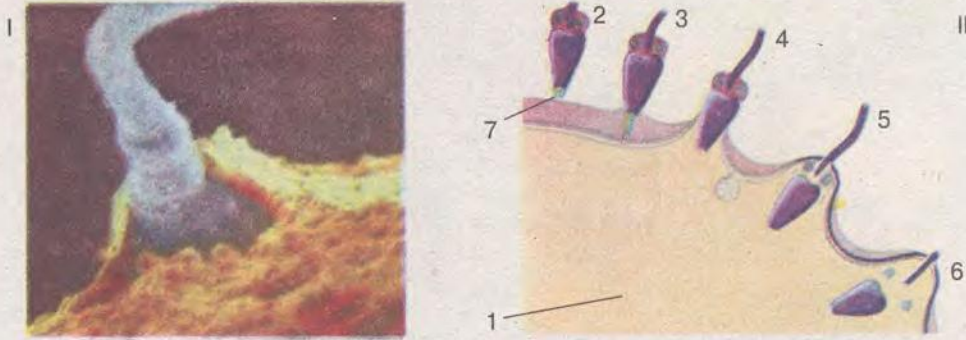


Мал. 19.2. Багатощетинковий черв палоло: 1 – передній кінець тіла; 2 – задній кінець тіла

Заплідненню часто передує особлива шлюбна поведінка, специфічна для кожного виду. Наприклад, у водних червоподібних істот – немертин – десятки особин різної статі одного виду збираються до купи в оточений слизом клубок. Усередину клубка виділяються чоловічі і жіночі статеві клітини: тут відбуваються запліднення та початок ембріонального розвитку.

Про шлюбну поведінку багатьох риб і жаб («танці» риб, «співи» жаб тощо) вам відомо з курсу біології 8-го класу. Вона закінчується нерестом.





**Мал. 19.3.** Проникнення сперматозоїда в яйцеклітину. I. Мікрофотографія. II. Схема: 1 – яйцеклітина; 2–6 – послідовні стадії взаємодії та проникнення сперматозоїда в яйцеклітину (зверніть увагу на те, що хвіст сперматозоїда з мітохондрією залишається за межами яйцеклітини); 7 – акросома

**Внутрішнє запліднення** відбувається в органах жіночої статеві системи. Воно притаманне більшості наземних тварин (черевоні молюски, комахи, плазуни, птахи, ссавці), а також багатьом мешканцям товщі ґрунту та водойм (плоским і круглим червам, хрящовим риbam). 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 статеві системи. В акул, наприклад, цю роль виконують внутрішні потовщені промені черевних плавців самців.

Сперматозоїд проникає в яйцеклітину (мал. 19.3) переважно завдяки ферментам, які виділяє акросома, рідше – через особливий отвір в її оболонці. При цьому з'єднуються плазматичні мембрани обох гамет.

Контакту сперматозоїда та яйцеклітини передують їхнє взаємовпізнавання: запліднення зазвичай можливе лише тоді, коли чоловіча та жіноча гамети належать одному виду. Біологічно активні речовини яйцеклітини стимулюють розрив акросоми сперматозоїда (акросомну реакцію). У результаті цього виділяються ферменти, що забезпечують проникність оболонки яйцеклітини для чоловічої гамети.

Після потрапляння сперматозоїда всередину яйцеклітини її оболонка стає непроникною для інших сперматозоїдів, ядра обох гамет зливаються. Так утворюється зигота.

У заплідненій яйцеклітині активуються процеси обміну та починається дроблення.

### Які особливості запліднення у рослин?

Найскладніший процес запліднення у покритонасінних, його називають подвійним. **Подвійне запліднення** покритонасінних (квіткових) рослин відкрив у 1898 році професор Київського університету Святого Володимира (нині – імені Тараса Шевченка) С.Г. Навашин (мал. 19.4).

Пилкове зерно потрапляє на прийомку маточки, під впливом її біологічно активних речовин набрякає та проростає пилковою трубкою. Біологічно активні речовини залозистих клітин прийомки взаємодіють зі сполуками зовнішньої оболонки пилкового зерна, розпізнаючи його. Це забезпечує проростання пилку лише свого виду.





1



Мал. 19.4. 1. Сергій Гаврилович Навашин (1857–1930) – видатний український ботанік. 2. Подвійне запліднення квіткових рослин

До пилкової трубки з пилкового зерна переходять три гаплоїдні клітини – велика вегетативна та дві дрібніших – спермії. Вегетативна клітина бере участь у формуванні пилкової трубки, яка через особливий отвір в оболонках насінного зачатка (пилковхід) проникає до зародкового мішка. На полюсах мішка розташовано шість гаплоїдних клітин: на одному – велика яйцеклітина та дві менші супутні, на іншому – три однакові. У центрі знаходиться клітина з двома гаплоїдними ядрами, які зливаються, утворюючи вторинне диплоїдне ядро. Один зі сперміїв зливається з яйцеклітиною, унаслідок чого виникає диплоїдна зигота, з якої згодом утворюється зародок. Другий спермії зливається з диплоїдним ядром у центрі зародкового мішка. З утвореної триплоїдної клітини в подальшому розвивається особлива зародкова тканина – *ендосперм* (від грец. *ендон* – усередині та *сперма* – сім'яна рідина). Поживні речовини клітин ендосперму слугують для живлення зародка.

Подвійне запліднення квіткових рослин – це, по суті, два різні процеси, оскільки лише із заплідненої яйцеклітини розвивається зародок. Злиття другого спермія з ядром центральної диплоїдної клітини заплідненням можна назвати лише умовно, тому що з виниклої триплоїдної клітини розвивається не новий організм, а тканина, яка забезпечує зародок поживними речовинами.

### Яке біологічне значення запліднення?

При утворенні статевих клітин їхня плоїдність вдвічі зменшується, а під час запліднення – відновлюється. Крім того, перехресне запліднення є одним із джерел комбінативної мінливості: у заплідненій яйцеклітині в кожній парі гомологічних хромосом одна – батьківська, друга – материнська. Таким чином, половину спадкового матеріалу майбутня особина отримує від батька, половину – від матері. Тому нащадки генетично відмінні від кожного з батьків. Винятком є лише самозаплідні організми та представники чистих ліній.



**Запам'ятайте:** біологічне значення запліднення полягає у відновленні хромосомного набору, притаманного особинам певного виду, та є одним із джерел комбінативної мінливості.

Окремо розглянемо біологічне значення процесу подвійного запліднення в покритонасінних рослин. Утворення триплоїдної клітини, з якої згодом розвивається ендосперм, супроводжується кратним зростанням вмісту ДНК у ядрі. За одиницю часу в триплоїдній клітині синтезується втричі більше білкових молекул порівняно з гаплоїдною. Тому зародок у покритонасінних, що має більший запас поживних речовин, розвивається швидше порівняно з голонасінними, у яких ендосперм довгий час залишається гаплоїдним.

**Нові терміни та поняття.** Зовнішнє та внутрішнє запліднення у тварин, подвійне запліднення у квіткових рослин.

**?** **Запитання для повторення:** 1. Яке біологічне значення запліднення? 2. Які форми запліднення відомі у тварин? 3. Які механізми спрямовані на унеможливлення запліднення яйцеклітини тварин одного виду сперматозоїдами іншого? 4. Які процеси відбуваються під час проникнення сперматозоїда до яйцеклітини? 5. Яке значення подвійного запліднення у покритонасінних рослин?

**Проблемне завдання:** Обґрунтуйте переваги внутрішнього запліднення над зовнішнім.

## § 20. ЕТАПИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ОРГАНІЗМІВ. ПОЧАТКОВІ СТАДІЇ ЕМБРІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ТВАРИН

**Аби краще засвоїти матеріал цього параграфа, слід пригадати:** що таке індивідуальний розвиток? Які етапи онтогенезу відомі у тварин і рослин? Що таке зародковий (ембріональний) та післязародковий (постембріональний) розвиток? З яких фаз складається клітинний цикл? Яка будова шкіри людини? Що таке гормони та яке їхнє фізіологічне значення? Які органи та клітини складають імунну систему людини?

**Індивідуальний розвиток, або онтогенез** (від грец. *онтос* – існуюче і *генезис* – походження), – це розвиток особини від зародження до завершення життя (смерті або поділу). У різних груп організмів онтогенез має свої особливості та тривалість, які, зокрема, залежать від способу розмноження. Наприклад, вік дерев мексиканського кипариса сягає до 10 000 років, драцени – до 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. Серед безхребетних тварин значну тривалість життя мають деякі види актиній (до 90 років), моллюсків (тридакна – до 300 років) і членистоногих (річковий рак – до 20 років, камчатський краб – понад 30 років).

Онтогенез багатоклітинних організмів забезпечує здійснення всіх їхніх біологічних функцій. Під час індивідуального розвитку відбуваються ди-

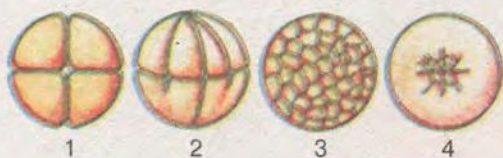


ференціація клітин, формування тканин та органів. Лише в організмі людини нараховують близько 250 типів клітин.

### Які періоди виділяють в онтогенезі?

В онтогенезі виділяють зародковий (ембріональний) і післязародковий (постембріональний) періоди. *Ембріональний* (від грец. *ембріон* – зародок) *період* – час, коли нова істота зароджується та розвивається всередині материнського організму або яйця, насінини тощо. Він завершується народженням (виходом з оболонки яйця, проростанням). *Постембріональний* (від грец. *пост* – після та *ембріон*) *період* супроводжується збільшенням розмірів (ростом), він триває від моменту народження і до смерті особини. Під час онтогенезу відбувається й розвиток організмів – вони змінюються якісно.

### Які етапи зародкового розвитку тварин? Що таке дроблення?



Мал. 20.1. Різні типи дроблення зиготи: повне (1, 2, 3) та неповне (4)

У процесі зародкового розвитку тварин виділяють кілька послідовних етапів: дроблення, яке закінчується формуванням одношарового зародка – бластули; розвиток дво- або тришарового зародка – гастрული; етапи закладання тканин та органів.

Зародковий розвиток починається з дроблення зиготи (мал. 20.1). *Дроблення* – це ряд послідовних мітотичних поділів зиготи або незаплідненої яйцеклітини (у разі партеногенезу). Утворені клітини – *бластомери* (від грец. *бластос* – зародок і *мерос* – частина) – в інтерфазі не ростуть, і тому їхні розміри після кожного поділу зменшуються вдвічі, а об'єми ядер не змінюються. У цей час зазвичай не відбувається транскрипції власних генів, а лише материнської іРНК.

Під час дроблення змінюється так зване ядерно-цитоплазматичне співвідношення об'ємів ядра та цитоплазми. Це важливий показник стану клітини, який зокрема дає змогу оцінити рівень метаболізму. Наприклад, досягнення певного ядерно-цитоплазматичного співвідношення може слугувати сигналом для початку поділу клітини. Зміни цього співвідношення можуть свідчити про запальні процеси та деякі форми онкологічних захворювань.

На дроблення впливають кількість і характер розташування поживних речовин (жовтка) в яйцеклітині. Якщо вона має невелику кількість поживних речовин, більш-менш рівномірно розподілених в цитоплазмі (кишковопорожнинні, кільчасті черви, ланцетник, плацентарні ссавці тощо), то відбувається *повне дроблення*. При цьому зигота повністю ділиться на бластомери.

Повне дроблення може бути рівномірним або нерівномірним (мал. 20.1). За *рівномірного дроблення* всі бластомери мають приблизно однакові розміри (морські їжаки, ланцетники, плацентарні ссавці), а за *нерівномірного* – після кожного поділу виникають великий і малий бластомери (кільчасті черви).



Якщо жовтка в зиготі багато і він заповнює більшу її частину, то відбувається *неповне дроблення*. При цьому ділиться не вся запліднена яйцеклітина, а лише певна її частина. Так, у птахів, плазунів, першозвірів цитоплазма з ядром сконцентрована на одному з полюсів яйцеклітини у вигляді *зародкового диска*, який і дробиться, на відміну від жовтка. У комах велика маса жовтка сконцентрована всередині зиготи, тому в них унаслідок дроблення утворюється поверхневий шар бластомерів, які оточують неподільний жовток. Слід зазначити, що бластомери діляться досить швидко, у дрозофіли, наприклад, кожні 20 хв.

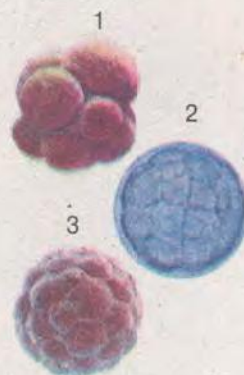
**Запам'ятайте:** під час дроблення маса та об'єм зародка не змінюються, а залишаються такими, як у зиготи.

Остання стадія дроблення завершується утворенням *бластули* (від грец. *бластос* – зародок) (мал. 20.2) – наступної стадії зародкового розвитку. Бластула має вигляд порожнистого утвору різної форми, стінки якого утворені зазвичай одним шаром бластомерів. Одні з бластул нагадують сферу, інші – диск, в одних усі бластомери однакових розмірів, в інших – є дрібні та великі бластомери. Подібні між собою клітини бластули згодом дають початок різним зародковим листкам. Це відбувається внаслідок диференціації клітин.

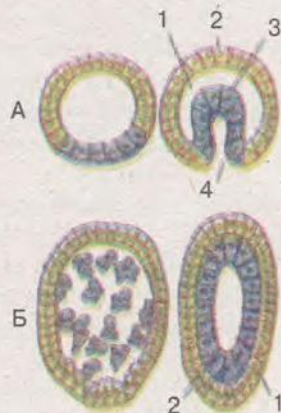
У деяких кишковопорожнинних, плоских червів, членистоногих, більшості ссавців унаслідок дроблення утворюється стадія *морули* (від лат. *морум* – ягода шовковиці). Вона відповідає стадії бластули, однак становить собою скупчення бластомерів, більш-менш щільно притиснутих один до одного (мал. 20.2). Морула – це проміжна стадія між зиготою та бластоцистою (мал. 20.2) (від грец. *бластос* та *кистіс* – міхур) – стадія ембріонального розвитку ссавців (у тому числі й людини). Як і бластула, вона має вигляд порожнистого міхура, заповненого всередині рідиною. Але клітини бластоцисти диференціюються: одні з них забезпечують надходження поживних речовин від організму матері до тих клітин, з яких розвиватиметься зародок. З клітин першого типу згодом утворюється плацента – тимчасовий орган, який забезпечує зв'язок між організмом матері та плоду.

Під час бластуляції збільшується тривалість мітогічних поділів, бластомери діляться несинхронно. Усе це забезпечує перехід до наступної стадії ембріонального розвитку – *гаструляції* (мал. 20.3).

**Мал. 20.3.** Типи гаструляції: А – вгинання шару клітин; Б – переміщення окремих клітин у порожнину бластули:  
1 – бластоцель; 2 – ектодерма; 3 – ентодерма;  
4 – первинний рот, який веде у кишкову порожнину



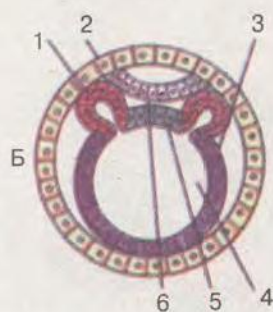
**Мал. 20.2.** Стадії ембріонального розвитку, що виникають унаслідок дроблення:  
1 – морула;  
2 – бластула;  
3 – бластоциста







**Мал. 20.4.** Типи утворення мезодерми: А – клітини зародка перемищуються у простір між екто- та ентодермою та розташовуються з боків первинного рота (телобластичний спосіб); Б – бічні вирости стінки первинної кишки вип'ячуються у порожнину бластули (ентероцельний спосіб): 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



### Як формується двошаровий зародок – гастрולה та утворюється мезодерма?

Після утворення бластули починається закладання зародкових листків і формування *гаструли* (від грец. *гастер* – шлунок). Виникають два шари клітин: зовнішній – *ектодерма* (від грец. *ектос* – зовні та *дерма* – шкіра) та внутрішній – *ентодерма* (від грец. *ентос* – всередині та *дерма*). Ці шари називають *зародковими листками* (мал. 20.3). На місці вгинання утворюється *первинний рот*, який веде в замкнену кишкову порожнину. На етапі гаструли завершується ембріональний розвиток кишквопорожнинних. У дорослих особин цих тварин тіло складається з двох шарів клітин, е

первинний рот і кишкова порожнина.

У більшості тварин після завершення гастрюляції між зовнішнім і внутрішнім зародковими листками формується третій (середній) зародковий листок – *мезодерма* (від грец. *мезос* – середній та *дерма*). Вона закладається різними шляхами (мал. 20.4). Зокрема, у голкошкірих і хордових мезодерма утворюється вигинанням у порожнину бластули трьох пар бічних виростів стінки первинної кишки. При цьому первинний рот замикається, а рот дорослої особини утворюється на протилежному кінці тіла. Таких тварин називають *вторинноротими*, на відміну від інших, які загалом зберегли первісне розташування ротового отвору, – *первинноротих* (плоскі, круглі та кільчасті черви, членистоногі, молюски).

### У чому полягає диференціація клітин?

**Диференціація** (від лат. *диференція* – розбіжність) – виникнення під час онтогенезу різних типів клітин з початково однорідних. Завдяки диференціації клітин згодом формуються різні тканини та органи.

Диференціація визначена спадково, оскільки в клітинах різних типів не всі гени активні. Тому в кожній клітині реалізується не вся інформація гено-типу, а тільки деяка частка, необхідна для диференціації саме цієї клітини.

**Гістогенез** (від грец. *хістос* – тканина та *генезис* – походження) – сукупність процесів, які забезпечують формування, існування та відтворення різних тканин в онтогенезі.

Тканини різних типів розвиваються 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 зрілими (диференційовані клітини).



**Мал. 20.5.** Стовбурові клітини: 1 – поділ стовбурових клітин; їхні нащадки (2) диференціюються (3) і можуть давати початок клітинам різних тканин (4); 5 – стовбурові клітини культивують на штучних поживних середовищах

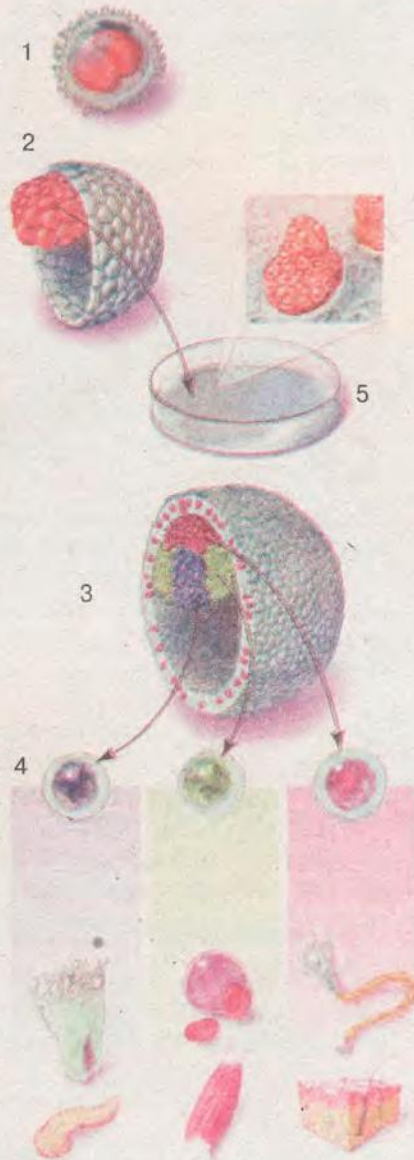
Стовбурові клітини недиференційовані і дають початок новим клітинам під час формування або оновлення (регенерації) тканин (мал. 20.5). Наприклад, у ссавців із стовбурових клітин кровотворних органів виникають еритроцити, лейкоцити та клітини, з яких утворюються тромбоцити. Стовбурові клітини здатні до самопідтримання: після поділу материнської 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.

*Напівстовбурові клітини (клітини-попередники)* – це диференційовані клітини, що зберігають здатність до поділу.

*Диференційовані клітини* входять до складу певних тканин і нездатні до поділу. У диференціації клітин важливу роль відіграють гормони та міжклітинні взаємодії. Наприклад, диференційовані клітини, крім здійснення своїх специфічних функцій, виділяють біологічно активні речовини, які гальмують розмноження клітин-попередників та стовбурових клітин. Це відбувається тоді, коли кількість диференційованих клітин перевищує оптимальну. У разі зменшення їхньої кількості (наприклад, унаслідок травми) гальмуючий вплив послаблюється, а розмноження клітин-попередників та стовбурових клітин стає інтенсивнішим. Таким чином міжклітинні взаємодії забезпечують процеси регенерації. Взаємне розташування клітин впливає на функціонування їхніх геномів: активність одних генів зростає, інших – гальмується.

Встановлено, що під час ембріогенезу клітини різних типів розташовуються в чіткій відповідності одна до одної, формуючи різні тканини. Стимулом для міграції клітин слугують гормони та інші біологічно активні речовини, які виділяють сусідні клітини. Наприклад, переміщення попередників лімфоцитів із червоного кісткового мозку до тимуса зародка необхідне для їхнього перетворення на Т-лімфоцити.

Клітини рухаються в певному напрямку завдяки наявності на їхній поверхні своєрідного «щупа» – тоненького цитоплазматичного відростка.





Коли він торкається поверхні іншої клітини, то рух припиняється, а сам відросток зникає. Якщо між клітинами не встановлюються необхідні контакти, рух мігруючої клітини продовжується. Наприклад, при ушкодженні поверхневого епітелію пуголовка (личинки жаби) клітини, розташовані глибше, формують відростки, мігрують і заступають місце втрачених. Після переміщення відростки клітин зливаються, припиняючи рух клітин.

**Нові терміни та поняття.** *Онтогенез, ембріональний та постембріональний періоди розвитку, дроблення, бластула, гастрולה, екто-, енто- та мезодерма.*

**?** **Запитання для повторення:** 1. Дайте визначення поняття «онтогенез». 2. Які виділяють періоди онтогенезу? 3. Що таке дроблення? 4. Яка будова бластули? 5. Яка будова гастрული? 6. Як утворюється внутрішній зародковий листок – мезодерма? 7. Які механізми диференціації клітин багатоклітинного організму?

**Проблемне завдання.** Поміркуйте, чим можна пояснити те, що бластотеми під час дроблення не ростуть.

## § 21. ФОРМУВАННЯ ОРГАНІВ У ЗАРОДКА. ЯВИЩЕ ВЗАЄМОДІЇ ЧАСТИН ЗАРОДКА

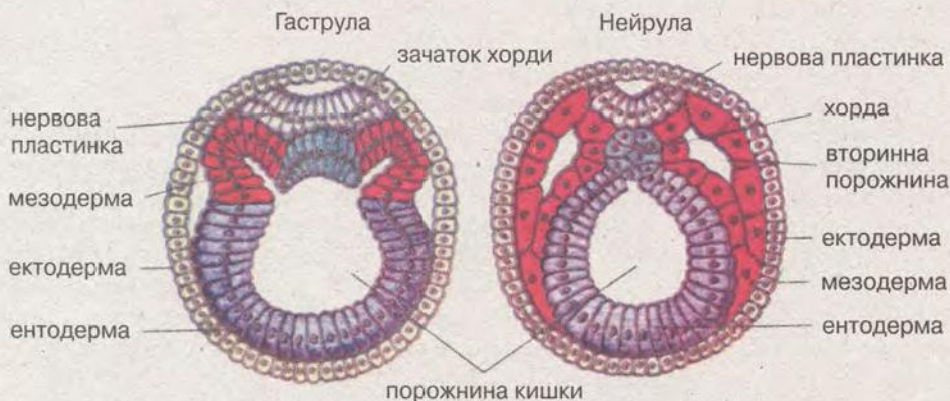


Аби краще засвоїти матеріал цього параграфа, слід пригадати: що таке розвиток комах з повним і неповним перетворенням? Які процеси відбуваються в комах на стадії лялечки?

Водночас із формуванням тканин (гістогенезом) відбувається *органогенез* (від грец. *органон* – орган та *генезис*) – розвиток органів та їхніх систем.

### Які особливості гістогенезу та органогенезу хордовиків?

В органогенезі хордовиків виділяють послідовні фази утворення нервової трубки та формування інших органів, коли молоді тварини набувають особливостей будови дорослих особин (мал. 21.1).



Мал. 21.1. Гістогенез та органогенез (на прикладі ланцетника)





**Мал. 21.2.** Узагальнена схема онтогенезу миші: знайдіть стадії дроблення (1), бластули (2), двошарової (3) та тришарової (4) гастрюли, нейрули (5–8), органогенезу (9), молоді особини (10)

Нервова трубка починає утворюватися після закладання мезодерми. З ектодерми формується нервова пластинка; її бічні краї загинаються та з'єднуються в нервову трубку, яка оточує заповнену рідиною порожнину нервової системи. 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 ланцетників відсутній головний мозок; нервова трубка в дорослих тварин лише дещо розширена в передньому кінці тіла. У зародків хребетних передній кінець нервової трубки ділиться на п'ять первинних мозкових пухирів, які відповідають певним відділам головного мозку. В обидва боки від зародка проміжного мозку видуються очні пухирі, з яких розвиваються очі.

Процес утворення нервової пластинки та нервової трубки називають *нейруляцією*, а зародок хордових тварин на цій стадії – *нейрулою*.

Водночас із утворенням нервової трубки під нею формуються хорда та кишечник.

*Хорда* (від грец. *хорде* – струна) – еластична скелетна вісь мезодермального походження у хордових тварин. Лише в деяких груп (ланцетники, осетероподібні та дводішні риби тощо) хорда зберігається протягом усього життя. У більшості хорда існує лише в зародків, а в дорослих її заступає хрящовий або кістковий хребет. Залишки хорди в дорослих особин можуть мати вигляд міжхребцевих дисків (крокодили, ссавці) або відсутні взагалі (птахи).

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, зовнішні зябра земноводних, складові залоз внутрішньої секреції (надниркових залоз, щитоподібної залози та ін.) тощо.

Ентодерма дає початок органам травлення та їхнім залозам (печінці, підшлунковій залозі), плавальному міхуру, внутрішнім зябрам, легеням, частинам деяких залоз внутрішньої секреції (гіпофіза, щитоподібної залози та ін.).

З мезодерми беруть початок хрящова та кісткова тканини, м'язові тканини, кровоносні та лімфатичні судини, серце, статеві залози, протоки видільних органів, сполучнотканинні шари шкіри (дерма), плевра, епітелій порожнини тіла, навколосерцева сумка (перикард) (мал. 21.2).

### Що таке ембріональна індукція?

У нормальних умовах формування окремих частин зародка та організму в цілому узгоджене за місцем і часом. Це пояснюють тим, що відповідні структури беруть початок від певних бластомерів. Подальша доля кожно-



го з бластомерів може бути генетично визначеною ще на початкових етапах зародкового розвитку. Крім того, зачатки одних органів розвиваються під впливом взаємодій із зачатками інших, закладених раніше.



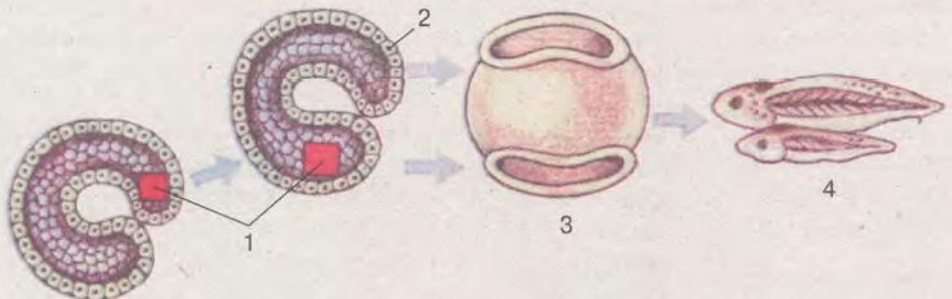
**Ембріональна індукція** (від лат. *індукціо* – спонування) – це взаємний вплив різних частин зародка при ембріогенезі.

Частини зародка, які закладаються раніше і здатні впливати на закладання та розвиток інших частин, називають *індукторами* (*організаторами*), а ті, що сприймають цей вплив, – *реагуючою системою*. Індуктори впливають на реагуючі системи або за безпосереднього контакту, або на відстані за допомогою переміщення біологічно активних речовин, які стимулюють синтез специфічних іРНК, необхідних для синтезу структурних білків у клітинах реагуючої системи.

Явище взаємодії між частинами зародка відкрите на початку ХХ сторіччя. 1901 року німецький ембріолог Ханс Шпеман (1869–1941) з'ясував, що в разі видалення зачатка ока його кришталик не формується. Однак цей зачаток, пересаджений на бічну частину зародка, стимулював утворення кришталика з ділянки ектодерми, яка за нормальних умов дає початок епідермісу шкіри.

Згодом учений провів ще один експеримент, який також довів явище ембріональної індукції. Частину гастрული ембріона земноводних, розташовану над ділянкою первинного рота, з якої мала утворитися хорда, він пересадив на черевну ділянку, з якої мав розвиватися епітелій покривів іншого зародка. Пересаджена ділянка як організатор дала початок хорді і мезодермі, впливаючи на розвиток прилеглих ділянок. Зокрема, із сусідніх ектодермальних клітин сформувалася друга нервова пластинка. А згодом на черевному боці цього ембріона утворився додатковий зародок (мал. 21.3). За ці дослідження Х. Шпеман 1935 року був нагороджений Нобелівською премією в галузі фізіології та медицини.

Подальші дослідження показали, що ембріональна індукція властива всім хордовим і багатьом безхребетним тваринам. Її прояв можливий лише за умови, коли клітини реагуючої системи здатні сприймати вплив індуктора та відповідати на нього утворенням відповідних структур. Реагуюча система згодом сама може стати індуктором стосовно інших частин, які розвиваються пізніше. Це явище назвали *вторинною індукцією*. Таким



**Мал. 21.3.** Явище ембріональної індукції: 1 – ділянка, яку пересаджують; 2 – гастрולה з пересадженою ділянкою; 3 – на черевному боці ембріона закладається додатковий зародок; 4 – розвиток додаткового зародка



чином, ембріональний розвиток спрямовується ланцюгом послідовних індукційних взаємодій.

Ембріональна індукція може відбуватись лише на ранніх етапах гастрულляції, перед початком диференціації ділянок, які пересаджують. Якщо ж пересадити вже диференційовані ділянки, то вони і на новому місці розвиватимуться так само, як і на старому. Також виявлено, що індуктори інколи не мають видової специфічності. Наприклад, з тулубових ділянок 9–11-денних зародків курчат виділено білок, який після введення в ектодерму зародка земноводних стимулював утворення ентодерми, а згодом – хорди, м'язів та інших похідних мезодерми (як ви вважаєте, про що це свідчить?).

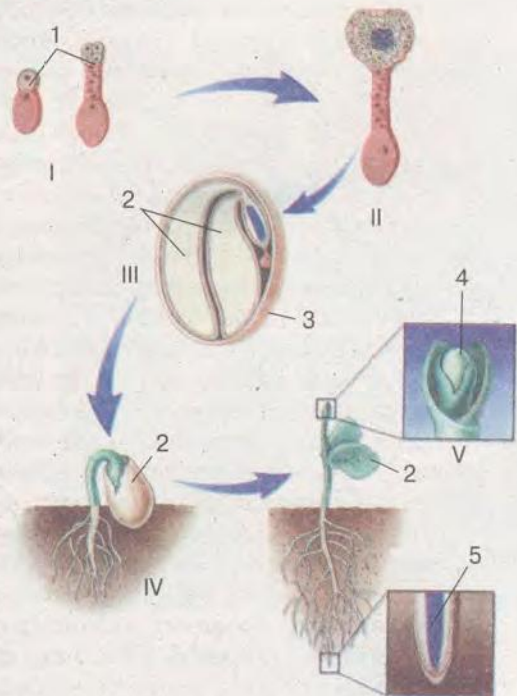
### Які умови забезпечують нормальний розвиток зародка тварин?

Розвиток багатоклітинних тварин становить собою складні та узгоджені між собою процеси: поділ клітин, їхню міграцію, взаємодію та диференціацію. Вони регулюються завдяки експресії генів, впливу біологічно активних речовин і міжклітинним взаємодіям. Будь-який негативний вплив, що порушує регуляторні механізми, може спричинити вади розвитку і навіть загибель зародка. Зародки особливо чутливі до таких впливів, зокрема чинників навколишнього середовища, під час інтенсивного розвитку певних органів та їхніх структур, які названі *критичними періодами*. Оскільки різні органи формуються неодноразом, то і їхні критичні періоди не синхронні.

Якщо на ранніх стадіях ембріогенезу під час критичних періодів вплив факторів довкілля може поширюватись на весь організм, то пізніше – лише на формування окремих органів.

### Які особливості ембріогенезу вищих рослин?

У вищих рослин зигота внаслідок поділу утворює зародкову твірну тканину, з якої згодом формуються інші зародкові тканини і органи. Як ви пам'ятаєте, зародок у покритонасінних складається із зародкових корінця та пагона, який несе перші листки – одну або дві сім'ядолі (мал. 21.4). На верхівці зародкових пагона та кореня розташовані конуси наростання, утворені клітинами твірної тканини. Вони забезпечують ріст у довжину. У голонасінних і по-



**Мал. 21.4.** 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 – розвиток твірної тканини та формування тканин та органів (верхівкова твірна тканина: 4 – пагона; 5 – кореня)





критонасінних зародок – складова частина насінини, яка вкрита покриттями (шкіркою) і містить запас поживних речовин. Насіння формується після запліднення з насінного зачатка.

**Нові терміни та поняття.** Органогенез, ембріональна індукція.



**Запитання для повторення:** 1. Що таке гістогенез та органогенез? 2. Що таке нервова трубка? Які події відбуваються під час її формування? 3. Як утворюється мезодерма? 4. Чим характеризуються критичні періоди розвитку зародка? 5. У чому полягає явище ембріональної індукції? Хто його відкрив? 6. Як взаємодіють між собою частини ембріона під час його розвитку?

**Проблемне завдання.** Поміркуйте, які можливі перспективи практичного використання ембріональної індукції.

## § 22. ОСОБЛИВОСТІ ЕМБРІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ ЛЮДИНИ. ЕМБРІОТЕХНОЛОГІЇ



**Аби краще засвоїти матеріал цього параграфа, слід пригадати:** що таке ВІЛ та СНІД? Що таке плацента та які її функції? Що таке бластоциста? Яке захворювання людини спричиняє токсоплазма? Яких тварин називають гельмінтами? Які гормони виділяють ендокринні залози людини? Що таке гуморальна регуляція функцій організму? Як здійснюють клонування? Які особливості стовбурових клітин? У чому полягає явище ембріональної індукції?

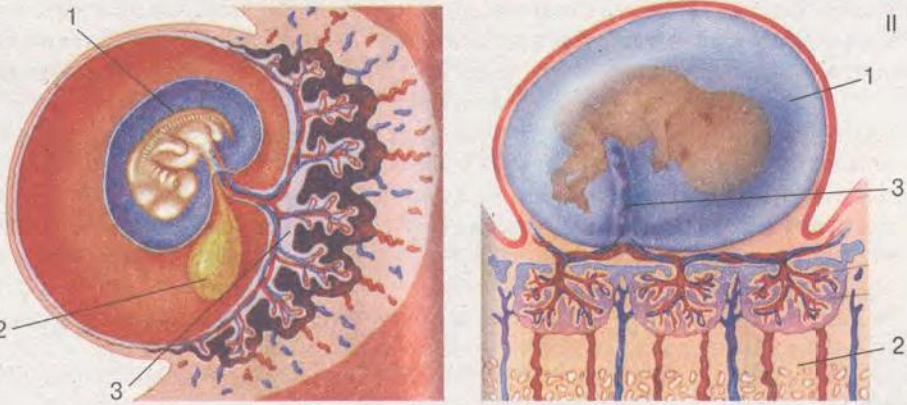
### Які особливості ембріонального розвитку людини?

В ембріогенезі людини виділяють три послідовні періоди: початковий, зародковий і плодовий. *Початковий період* триває перший тиждень ембріонального розвитку. Перший мітотичний поділ зиготи закінчується приблизно через 30 годин після запліднення. Через три доби формується купка з 12–16 щільно прилеглих один до одного бластомерів – морула. Для людини, як і для інших плацентарних ссавців, характерне повне рівномірне дроблення. Бластомери забезпечують обмін речовин між зародком і материнським організмом, беруть участь у вrostанні зародка в стінку матки та формуванні плаценти, слугують для забезпечення гістогенезу та органогенезу. Починаючи з четвертої доби після запліднення виникає бластоциста.

*Зародковий період* триває від початку другого і до закінчення восьмого тижня вагітності. У цей час ембріон живиться переважно секретами залозистих клітин стінки матки. На початку другого тижня розпочинається гастрюляція, на третьому – розвиток осьових органів (хорда та нервова трубка) і мозку. Загалом до закінчення восьмого тижня формуються всі органи, системи органів та позазародкові оболонки, тобто загалом завершуються основні події гістогенезу та органогенезу.

*Пловий період* починається з дев'ятого тижня вагітності та завершується народженням. Зародок на цій стадії називають *плодом*. У цей час плід посилено росте і живиться за допомогою плаценти. Плацента досягає максимального розвитку наприкінці п'ятого місяця зародкового розвитку: її діаметр становить 15–25 см, а маса – 500–600 г. Як ви пам'ятаєте, через плаценту плід отримує від материнського організму поживні речо-





**Мал. 22.1.** Стадії ембріонального розвитку людини: I – зародок (1) із жовтковим мішком (2); зверніть увагу на зяброві щілини та довгий хвіст, а також закладання кінцівок; утворюється плацента (3), де переплітаються кровоносні судини матері та зародка; II – плід (1) (зверніть увагу на добре розвинену плаценту (2) та пуповину (3))

вини і кисень, виводить кінцеві продукти метаболізму та вуглекислий газ. Крім того, плацента захищає плід від проникнення токсичних речовин і більшості хвороботворних мікроорганізмів. Однак через плаценту можуть проникати деякі віруси (наприклад, ВІЛ), бактерії (збудники сифілісу тощо), одноклітинні (токсоплазма та ін.) та багатоклітинні (різні види гельмінтів) паразитичні тварини. В клітинах плаценти синтезуються певні вітаміни та гормони. До середини внутрішньої поверхні плаценти приєднаний *пупковий канатик*, або *пуповина* (мал. 22.1), який забезпечує зв'язок з нею зародка. Всередині він заповнений зародковою сполучною тканиною з невеликою кількістю клітин, там проходять дві пупкові артерії та пупкова вена, які закінчуються системою капілярів. Кров матері та плоду не змішується; обмін речовинами відбувається через системи капілярів у плаценті. Артерії відводять венозну кров від плаценти до організму матері, а пупкова вена приносить до плоду через плаценту артеріальну кров з поживними речовинами.

Наприкінці другого місяця довжина плоду зростає до 20–25 мм, причому майже половина тіла припадає на голову; формуються риси обличчя, повіки, ніс, губи, очні западини, кінцівки, розпрямляється спина. Наприкінці третього місяця розвиваються пальці, довжина плоду становить 6–9 см, а маса – до 40 г, а наприкінці четвертого – відповідно 16–20 см та 120 г (мал. 22.2). Упродовж шостого та сьомого місяців



**Мал. 22.2.** Зародок людини у віці:  
1 – чотири тижні; 2 – сім тижнів;  
3 – три місяці; 4 – п'ять місяців



тривають ріст і збільшення маси: тіло досягає 40 см завдовжки, маса – 1000 г. На п'ятому місяці плід починає рухатись, що добре відчуває мати. З початку останнього, дев'ятого місяця вагітності остаточно встановлюються пропорції плоду, його голова вкривається волоссям. Перед пологами (38–40-й тиждень зародкового розвитку) доношений плід 45–60 см завдовжки при масі 2,5–4 кг. У нього функціонують смакові, тактильні та температурні рецептори, а органи слуху та зору ще не повністю розвинені. Наприкінці вагітності різко зростає рухова активність плоду. Під час пологів дитина рефлекторно повертає голову та тулуб, відштовхуючись ногами від дна матки.

Зародковий розвиток регулюють біологічно активні речовини. Із четвертого тижня вагітності відбувається розвиток імунної системи, зокрема закладається виличкова залоза (тимус); на дев'ятому тижні починається синтез гонадотропних гормонів (що впливають на розвиток статевих залоз); з 11-го тижня у крові присутній гормон щитоподібної залози – тироксин; на 15–16-й тиждень різко зростає синтез гормону росту, а на 26-й – закінчується формування гіпофіза. Лімфатичні вузли утворюються починаючи з четвертого місяця вагітності, однак здатність виробляти антитіла з'являється лише після народження.

Органами кровотворення плоду спочатку є печінка та селезінка; наприкінці вагітності основним місцем утворення еритроцитів та інших клітин крові стає червоний кістковий мозок.

### Які критичні періоди розвитку зародка?

Зародок людини найбільш чутливий до негативних впливів на 7–8-му днях ембріогенезу, коли він занурюється у слизову стінку матки (перший критичний період). Другий критичний період – це час розвитку плаценти (3–10-й тиждень зародкового розвитку, який збігається з періодом формування зачатків органів). В останні два місяці зростає ризик передчасних пологів.

Негативні впливи, зокрема вживання майбутньою матір'ю наркотиків, алкоголю, певних лікарських препаратів, куріння тютюну, іонізуюче випромінювання, певні харчові продукти тощо можуть призвести до порушень ембріогенезу.

### Як діагностують вади розвитку та здійснюють їхню корекцію?

Профілактикою захворювань і виникнення вад розвитку плоду є охорона та нормальний перебіг вагітності. Необхідну інформацію можна отримати під час обстеження самого плоду або стану вагітної жінки.

Для безпосереднього дослідження плоду часто застосовують ультразвукові хвилі (ультразвукову діагностику – УЗД та ультразвукове обстеження – УЗО). Зокрема, так можна встановити положення, масу та розміри плоду, виявити порушення його розвитку, серцевої діяльності тощо. Для виявлення спадкових вад і захворювань зародка проводять біохімічні та цитогенетичні дослідження (наведіть приклади).

У крові матері за допомогою імунологічних і біохімічних методів визначають кількість та види антитіл, вміст гормонів, ферментів, цукрів тощо. Крім того, досліджують матково-плацентарний кровообіг. Зокрема, мають бути усунені чинники, які негативно впливають на ембріональний розвиток, попередження вроджених патологій, зниження смертності плодів і новонароджених.



Основною умовою нормальних зачаття та вагітності є міцне здоров'я батьків і відсутність у них генетичних вад. Як ви пригадуєте, для профілактики народження дітей з генетичними захворюваннями та вадами існує медико-генетичне консультування. Крім того, майбутня мати повинна пройти обстеження лікарями різних спеціальностей (терапевтами, гінекологами тощо). Вона має проходити систематичне профілактичне спостереження в жіночій консультації.

Іноколи люди, які бажають мати дитину, не можуть здійснити зачаття або самостійно виносити плід (унаслідок вроджених вад, перенесених захворювань, травм тощо). Вихід із цієї ситуації – штучне запліднення.

### Що таке штучне запліднення?

Штучне запліднення (мал. 22.3) застосовують у разі безпліддя одного чи обох майбутніх батьків. Найчастіше для цього використовують власну сперму чоловіка; якщо ж його сперматозоїди нежиттєздатні, то сперму беруть у донора. Законним батьком дитини завжди вважають чоловіка вагітної жінки, а донор не має жодних юридичних прав щодо біологічного нащадка. Як донорів обирають фізіологічно здорових чоловіків без спадкових вад. Уперше методику штучного запліднення застосували 1976 року у Великій Британії.

Складніше виконати запліднення яйцеклітини поза організмом жінки («у пробірці»). Для цього з матки вилучають яйцеклітини, які певний час зберігають живими в ембріологічних лабораторіях. Сперму чоловіка або донора вносять у середовище з яйцеклітинами або сперматозоїд безпосередньо вводять у яйцеклітину (це підвищує ефективність запліднення). Після запліднення зародки кілька діб культивують на поживних середовищах, після чого повертають до матки. Там вони розвиваються до народження.

У житті людини бувають періоди, коли вагітність і народження дитини тимчасово небажані (навчання, тривалі відрядження, певні види захворювань тощо). У цей час для запобігання небажаній вагітності застосовують методи контрацепції.

### Що таке контрацепція?

**Контрацепція** (від лат. *контрацепціо* – протизапліднення) – методи і засоби запобігання вагітності. Відповідно протизаплідні засоби називають *контрацептивами*. Методи контрацепції поділяють на механічні (презервативи, ковпачки, які одягають на шийку матки, тощо) та хімічні (наприклад, гормональні препарати, які регулюють менструальний цикл). Проте



Мал. 22.3. Штучне запліднення: А – за допомогою мікропіпетки сперматозоїд вводять у яйцеклітину; Б – штучне запліднення поза організмом жінки



жодний з них нездатний забезпечити повну гарантію запобігання вагітності. Найбільш простим та ефективним методом контрацепції був і залишається презерватив – гумовий чохлик, який надівають на чоловічий статевий член. Його використання до того ж значно знижує ймовірність зараження ВІЛ та іншими захворюваннями, які передаються статевим шляхом.

Механізми контрацептивної дії гормональних препаратів досить різноманітні. Одні з них запобігають дозріванню і виходу яйцеклітин, інші – згущають слиз у жіночих статевих шляхах, який утворює пробку в отворі шийки матки, або змінюють слизову оболонку самої матки так, що запліднена яйцеклітина не зможе прикріпитися до неї.

**Увага!** Пам'ятайте, що тривале застосування гормональних контрацептивних препаратів може спричинити необоротні шкідливі зміни статевої та інших функцій жіночого організму.

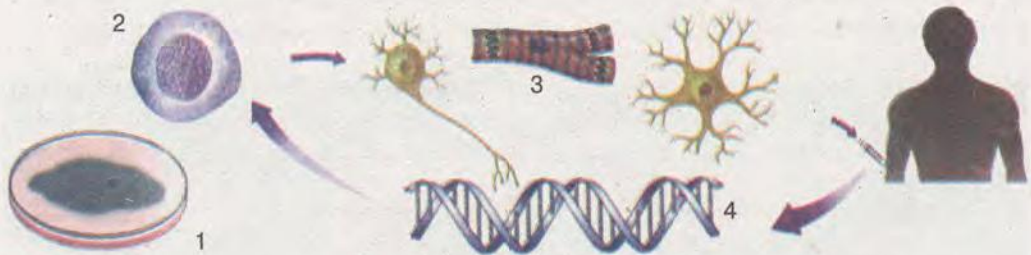
Штучне запліднення є однією з галузей експериментальної ембріології – ембріотехнології.

### Які досягнення ембріотехнологій?

Розвиток і застосування ембріотехнологій стали можливими з накопиченням та узагальненням даних про ембріогенез різних видів тварин і людини. Одним з напрямів експериментів є пересадження частин ембріонів різних організмів. Наприклад, до зародка качки пересадили частину зародка курки. Унаслідок певний час відбувався паралельний розвиток зародків обох видів в єдиному ембріоні.

Розроблено методики пересадження зародків свійських тварин. Для цього в самок вилучають зародки на стадії дроблення та утримують їх на поживних середовищах, де відбуваються початкові етапи зародкового розвитку. У цей час дослідники можуть втручатись у генетичну інформацію клітин. Згодом такі генетично змінені (модифіковані) зародки пересаджують до матки іншої тварини, де завершується ембріогенез. В Україні перші телята-трансплантанти із зародків великої рогатої худоби, вирощених поза організмом матері, одержано в 90-х роках ХХ сторіччя в Інституті тваринництва та Інституті розведення та генетики тварин Української академії аграрних наук (УААН).

Серед сучасних методів лікування широко застосовують пересадження стовбурових (мал. 22.4) та інших клітин і тканин. Отримані з пуповинної крові стовбурові ембріональні клітини застосовують для лікування біло-



**Мал. 22.4.** Використання стовбурових клітин для лікування певних захворювань людини: 1 – культура стовбурових клітин, отриманих з навколоплідної рідини; 2 – стовбурова клітина; 3 – диференціація дочірніх клітин; 4 – генетично змінену молекулу ДНК вводять до стовбурової клітини



крів'я, важких інфекційних захворювань і променевої хвороби. У травмовані ділянки головного чи спинного мозку вживлюють ембріональні нервові клітини. Успішно застосовують пересадження клітин і тканин для терапії деяких захворювань статевих, щитоподібної та вилочкової залоз тощо.

Важливе значення в галузі пересадження клітин та тканин відіграють методи їхнього замороження. **Кріобіологія** (від грец. *кріос* – холод та *біологія*) – галузь біологічної науки, яка досліджує структурно-функціональні властивості біологічних систем різних рівнів організації під час впливу на них низьких температур. Зокрема, в Інституті кріобіології та кріомедицини Національної академії наук України (НАНУ) розроблено методи тривалого зберігання за низьких температур соматичних і статевих клітин, тканин та ембріонів тварин, призначених для пересадження.

Ембріотехнології тісно пов'язані з методами генної та клітинної інженерії. Так, поєднання досягнень генної інженерії з експериментальною ембріологією дає змогу вводити до генома зародків гени різних видів. Встановлено, що введена в складі певного гена молекула ДНК може приєднатись до спадкового матеріалу зародка. Завдяки цьому вирощують тварин з ознаками, які при застосуванні традиційних методів селекції отримати неможливо. Наприклад, можна докорінно змінити склад молока великої рогатої худоби, надаючи йому нових властивостей.

**Нові терміни та поняття.** Ембріотехнології, контрацепція, кріобіологія.



**Запитання для повторення:** 1. На які послідовні етапи поділяють зародковий розвиток людини? Чим вони характеризуються? 2. Яка роль плаценти під час розвитку плоду? 3. У чому полягає профілактика захворювань і вад плоду? 4. З якою метою здійснюють штучне запліднення? 5. Які сучасні досягнення ембріотехнологій вам відомі?

**Проблемне завдання.** Поміркуйте, чому куріння тютюну, вживання алкоголю та наркотиків у молодому віці може негативно позначитись на майбутніх нащадках.

## § 23. ПІСЛЯЗАРОДКОВИЙ РОЗВИТОК І РІСТ ОРГАНІЗМІВ. ПОНЯТТЯ ПРО ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ



**Аби краще засвоїти матеріал цього параграфа, слід пригадати:** які існують типи післязародкового розвитку тварин? Як відбувається післязародковий розвиток покритонасінних рослин? Що таке регенерація? Яких риб називають прохідними? Що таке гормони, нейрогормони та фітогормони? Які одноклітинні тварини належать до споривиків? Що таке життєвий цикл? Що таке комбінативна мінливість і партеногенез? Пригадайте життєві цикли тварин і рослин, відомі з курсів біології рослин та тварин. Пригадайте, які способи розселення за допомогою плодів і насіння відомі в рослин.

Післязародковий (постембріональний) розвиток тварин і людини – це період життя, який починається після народження або виходу з оболонки, що вкривають зародок, і триває до смерті. За цей час організм росте, набуває здатності до розмноження (зріє), старіє та вмирає.



Які існують різновиди післязародкового розвитку?



Мал. 23.1. Тварини, які після розмноження гинуть: 1 – комахи-одноденки; 2 – горбуша

У деяких тварин (мал. 23.1) та більшості багатоклітинних однорічних рослин загибель настає майже одразу після розмноження. У них є два періоди постембріонального розвитку: *передрепродуктивний* (організми ще статеві незрілі) та *репродуктивний* (коли набувають здатності до статевого розмноження). В інших (більшість хребетних тварин, річковий рак, деякі комахи, павукоподібні, молюски, багаторічні рослини тощо) репродуктивний період триває досить довго. Після нього смерть настає не відразу, а через деякий час (від кількох днів у комах до кількох років і десятків років у великих ссавців, дерев тощо). Він має назву *періоду старіння*, коли поступово знижується рівень обміну речовин та настають необоротні зміни в організмі, які зрештою призводять до смерті.

Післязародковий розвиток тварин буває прямим або непрямим (мал. 23.2). За *прямого розвитку* щойно народжена тварина внаслідок ембріоналізації загально нагадує дорослу. *Ембріоналізація* – явище, коли зародковий період подовжується за рахунок живлення зародка поживними речовинами материнського організму (плацентарні ссавці, деякі хрящові риби, скорпіони) або яйця (плазуни, птахи).

Біологічне значення ембріоналізації полягає в тому, що народжується або вилуплюється з яйцевих оболонок тварина на більш високому ступені розвитку, що зменшує її вразливість зовнішніми чинниками. У всіх видів плацентарних і деяких сумчастих ссавців, акул, скорпіонів одна із зародкових оболонок зростається зі стінками розширеної частини яйцепроводів (матки) таким чином, що від матері до ембріона потрапляють поживні речовини та кисень і виводяться продукти обміну речовин та вуглекислий газ. Процес появи на світ такого зародка має назву *справжнього живонародження*.

Якщо зародок розвивається за рахунок запасних поживних речовин яйця всередині материнського організму і ембріон звільняється від яйцевих оболонок ще всередині жіночих статевих проток, то таке явище має назву *яйцеживонародження* (деякі ящірки, змії, акваріумні рибки – гуппі та мечоносці, попелиці тощо).

Якщо зародок розвивається у яйці поза материнським організмом і молодий організм виходить з яйця безпосередньо в зовнішньому середовищі, то спостерігається *яйценонародження* (більшість плазунів і членистоногих, птахи, першозвірі, плоскі черви тощо).

Прямий розвиток характерний для деяких кишковопорожнинних (гідри), війчастих і малоцетинкових червів, деяких ракоподібних (дафнії, річковий рак), павуків, частини молюсків (більшість прісноводних та наземні черевоногі, головоногі), хрящових риб, плазунів, птахів, ссавців.



**Мал. 23.2.** Тварини з прямим і непрямим типами розвитку. А. Непрямий розвиток багатощетинкового черва нерейса: 1 – личинка; 2 – розвиток личинки; 3 – дорослий черв. Б. Непрямий розвиток комах: 1 – з неповним перетворенням; 2 – з повним перетворенням. В. Прямий розвиток птахів: 1 – нагніздних; 2 – виводкових

**Непрямий розвиток** супроводжується глибокими змінами в організації організму, завдяки яким личинка перетворюється на дорослу особину. **Личинка** – фаза післяембріонального розвитку багатьох безхребетних (більшість кишковопорожнинних, плоских, круглих, багатощетинкових червів, моллюсків, комахи, голкошкіри тощо) і деяких хребетних (ланцетники, кісткові риби, земноводні) тварин, у яких запаси поживних речовин у яйці недостатні для завершення формування дорослої особини.

Непрямий розвиток здійснюється в кілька послідовних етапів (фаз). На кожному з них тварина має певні особливості будови та життєвих функцій.

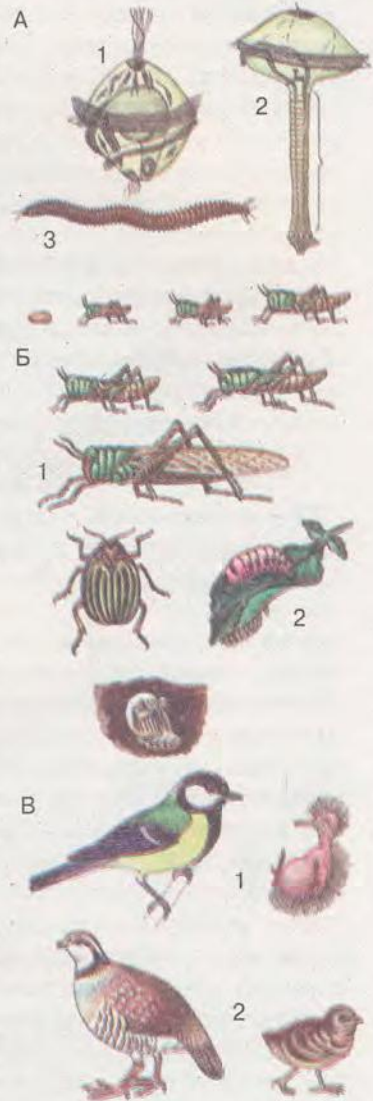
Наприклад, онтогенез комах (мал. 23.2, Б) має послідовні фази яйця, личинки та дорослої комахи (при розвитку з *неповним перетворенням*: клопи, бабки, таргани, прямокрилі, воші) або яйця, личинки, лялечки та дорослої комахи (при розвитку з *повним перетворенням*: метелики, жуки, перетинчастокрилі, блохи тощо). Особливе значення має фаза лялечки, на якій комаха зазнає докорінних змін (*пригадайте, яких*).

Непрямий тип розвитку виконує кілька важливих біологічних функцій, спрямованих на забезпечення існування виду.

**Живильна функція.** На певній фазі розвитку тварина отримує найбільше поживних речовин, необхідних для його завершення. У комах цю функцію здійснює личинка (так, гусінь метеликів може збільшувати масу тіла в 10 000 разів і більше). Дорослі особини деяких видів комах не живляться взагалі, використовуючи накопичені личинкою запаси поживних речовин (наприклад, одноденки, шовковичний шовкопряд, оводи).

**Раціональне використання ресурсів** полягає в тому, що різні фази розвитку розділені за способами та об'єктами живлення, а також просторово. Так вдається уникнути загрози виснаження необхідних ресурсів. Це явище спостерігають у комах, які розвиваються з повним перетворенням, прохідних риб, паразитичних організмів, цикли розвитку яких відбуваються зі зміною хазяїв, земноводних тощо.

**Функція розселення.** У багатьох тварин, які ведуть малорухомий чи прикріплений спосіб життя, личинки (губки, коралові поліпи, двостулкові моллюски, ланцетники, вусоногі ракоподібні тощо) здатні активно чи





пасивно (за допомогою течій, вітру, інших організмів) розселюватись, забезпечуючи поширення виду. Так, у двостулкових прісноводних молюсків (жабурниць і перлівниць) личинки поширюються на значні відстані за допомогою риб, паразитуючи в їхніх покривах. Деякі види безхребетних тварин можуть розповсюджуватися на фазі яйця. Наприклад, стійкі до пересихання яйця рачків-щитнів та артемій, які мешкають у тимчасових водоймах (калюжах та ін.), поширюються вітром на десятки і навіть сотні кілометрів.

**Зараження нових особин хазяїв** забезпечують личинки паразитичних видів. Вони потрапляють до організму хазяїна різними шляхами (через рот, з їжею або водою, через шкіру, за допомогою кровосисних комах тощо). Далі мігрують до певних тканин чи органів, де їхній розвиток завершується (*наведіть приклади з курсу біології 8-го класу*).

Усім організмам притаманний ріст і розвиток.

### Які особливості росту і регенерації організмів?

**Ріст організмів** – це поступове збільшення їхньої маси і розмірів за рахунок переважання процесів пластичного обміну над енергетичним. Ріст буває обмеженим і необмеженим. *Обмежений ріст* спостерігають у тих випадках, коли особина, досягаючи певних розмірів, його припиняє, зазвичай за настання статевої зрілості (більшість членистоногих, круглі черви, птахи, ссавці тощо). У разі *необмеженого росту* розміри і маса особин збільшуються впродовж усього життя (більшість вищих рослин, багатоклітинних водоростей, грибів, стьожкових і кільчастих червів, молюсків, хрящових та кісткових риб, плазунів, деякі багатоніжки та ін.).

Залежно від будови покривів тіла, особливостей індивідуального розвитку та умов довкілля, ріст буває безперервним або періодичним. За *безперервного росту* особина поступово збільшується, доки не досягає певних розмірів або не вмирає. *Періодичний ріст* відбувається, коли періоди збільшення розмірів чергуються з періодами зупинки росту. Наприклад, круглі черви і членистоногі ростуть лише під час линяння, коли старі покриви скинуті, а нові ще не затверділи. Ріст припиняється також під час станів заціпеніння, сплячки тварин чи періоду спокою рослин. Зокрема, у рослин це відбувається унаслідок впливу хімічних сполук, які перешкоджають поділу клітин або гальмують обмін речовин.

**Запам'ятайте:** тип росту особин кожного виду визначається спадково і залежить від регуляційних механізмів організму, дії факторів довкілля тощо. У тварин ріст регулюють насамперед гормони та нейрогормони, у рослин – фітогормони. Пригадайте: нестача або надлишок гормону росту може спричинити карликовість або гігантизм людини, а нестача гормону щитоподібної залози – тироксину – може викликати ще важчі наслідки – кретинізм.

Безперервність існування видів забезпечують життєві цикли.

### Що таке життєвий цикл?

**Життєвий цикл** – це період між однаковими фазами розвитку двох або більшої кількості послідовних поколінь.



Індивідуальний розвиток багатьох одноклітинних організмів завершується поділом або брунькуванням клітини, тобто вони гинуть лише від несприятливих впливів факторів довкілля. Тому для них поняття «онтогенез» та «життєвий цикл» тотожні. У багатоклітинних організмів індивідуальний розвиток завершується природною смертю. Однак гамети, спори або частини, призначені для вегетативного розмноження, не гинуть, а передають спадкову інформацію організмам дочірнього покоління. Таким чином, безперервність життєвого циклу забезпечують генеративні клітини або групи вегетативних клітин. Натомість, термін життя соматичних клітин, з яких утворено всі органи та тканини організму, обмежений.

Тривалість життєвого циклу у представників різних груп організмів неоднакова. У бактерій і дріжджів проміжок між двома поділами клітини часто не перевищує 30 хвилин. У багатьох вищих рослин і хребтних тварин життєвий цикл завершується через багато років. Наприклад, сосна звичайна починає розмножуватись на 30–40-му році життя, риба білуга – на 12–18-му. Тривалі життєві цикли відомі у деяких безхребетних тварин – молюска тридакни, річкового рака тощо.

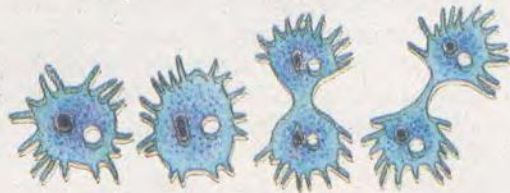
Розрізняють прості і складні життєві цикли.

### Які життєві цикли називають простими, а які – складними?

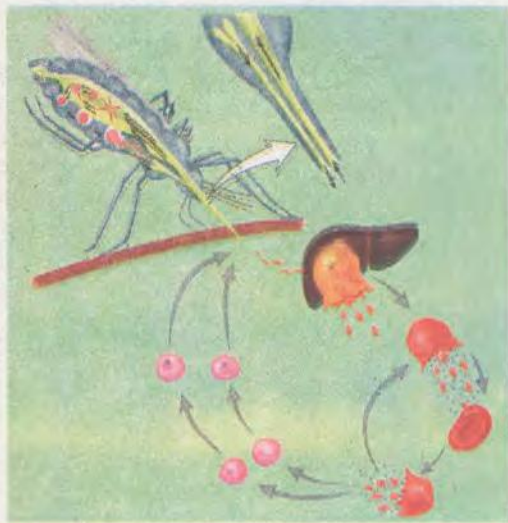
Під час *простих життєвих циклів* не відбувається закономірної зміни різних поколінь (наприклад, статевого та нестатевого). Це життєві цикли багатьох одноклітинних організмів (мал. 23.3), більшості круглих і кільчастих червів, членистоногих, молюсків, хордових.

*Складні життєві цикли* здійснюються через чергування різних поколінь, кожне з яких відрізняється від інших особливостями будови, онтогенезу, плоідністю, способами розмноження тощо (мал. 23.4). Так, у деяких бурих і червоних водоростей та вищих спорових рослин змінюються статеве, переважно гаплоїдне, та нестатеве, переважно диплоїдне, покоління. Серед вищих рослин лише в мохоподібних переважає статеве покоління, або *гаметофіт*, а в інших – нестатеве, або *спорофіт* (папоротеподібні, хвощеподібні, плауноподібні, голонасінні, покритонасінні).

Складні життєві цикли, які супроводжуються зміною різних поколінь, відомі для різних груп тварин.

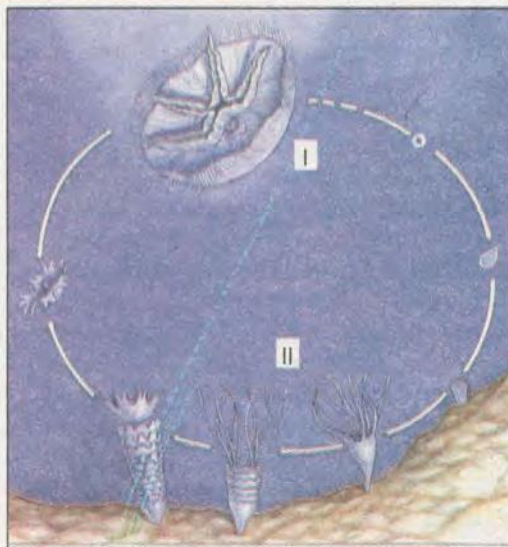


Мал. 23.3. Простий життєвий цикл амеби протей



Мал. 23.4. Життєвий цикл малярійного плазмодія (використовуючи знання, одержані на уроках з біології у 8-му та 10-му класах, опишіть цей життєвий цикл)



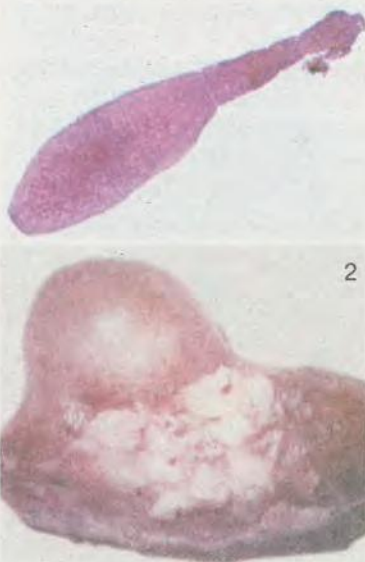


**Мал. 23.5.** Життєвий цикл аурелії з типу Кишквопорожнинні (опишіть його, використовуючи знання, одержані на уроках з біології у 8-му та 10-му класах)

Так, у життєвому циклі багатьох одноклітинних тварин (форамініфери та споровики) і рослин (хламідомонада) та деяких багатоклітинних тварин спостерігають закономірне чергування поколінь, які розмножуються статевим (I) і нестатевим (II) шляхом (мал. 23.5).

Нестатеве та статеве покоління чергуються в життєвих циклах таких паразитів людини і тварин, як ехінокок та альвеокок. У цих стьожкових червів на стадії, яку називають фіною, шляхом нестатевого

розмноження утворюються нові зачаткові головки з органами прикріплення (мал. 23.6). Капсули альвеокока можуть відриватися від загальної маси і з кров'ю проникати в інші органи, що нагадує утворення метастазів при онкологічних захворюваннях. За відсутності лікування це зрештою веде до загибелі хазяїна. При поїданні зараженого фінами м'яса трав'янистих тварин собаками чи вовками головки паразитів прикріплюються до стінок їхнього кишечника і перетворюються на статеве покоління – невеликих (до декількох міліметрів завдовжки) червів, які продукують величезну кількість яєць. Яйця з послідом потрапляють назовні; трав'яні тварини заражаються під час випасання. Людина може заразитись ехінококом та альвеококом, граючись з прибудними собаками, на шерсті яких багато яєць цих паразитів.

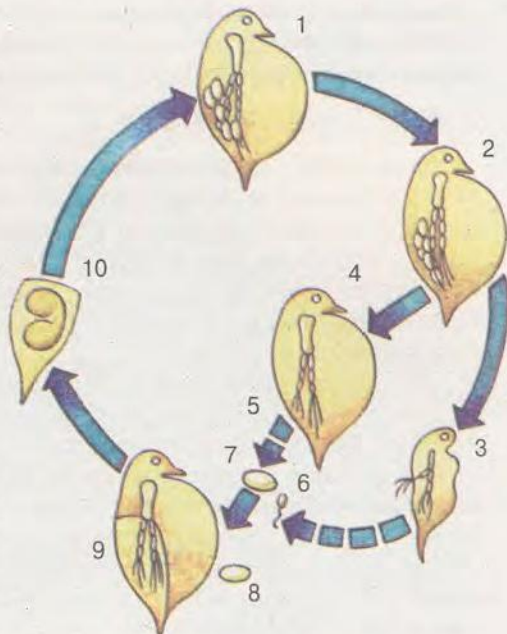


**Мал. 23.6.** Ехінокок (1) та його фіна (2)

У плоских червів – сисунів, деяких членистоногих (дафній, попелиць тощо) у життєвому циклі чергуються покоління, які розмножуються статеві і шляхом партеногенезу. Наприклад, серед дрібних рачків – дафній – трапляються самки, які протягом ряду послідовних поколінь розмножуються партеногенетично, відкладаючи незапліднені яйця. Але за несприятливих змін умов довкілля (зниження температури, нестача їжі, підвищення солоності води тощо) з незапліднених яєць виходять особини обох статей. У самок цього покоління формуються яйця, розвиток яких можливий лише після запліднення. Запліднені яйця містять значні запаси поживних речовин (жовтка) і вкриті щільною оболонкою. Вони здатні переживати несприятливі умови із цих яєць виходить нове партеногенетичне



**Мал. 23.7.** Життєвий цикл дафнії: 1 – самка з партеногенетичними яйцями; 2 – самки, які відкладають незапліднені яйця; з них розвиваються як самці (3), так і самки (4); 5 – мейоз; 6 – сперматозоїд; 7 – яйцеклітина; 8 – зигота; 9 – самка із заплідненими яйцями; 10 – зимуючі запліднені яйця



покоління самок, і розпочинається наступний життєвий цикл (мал. 23.7).

Чергування статевих і партеногенетичних поколінь має важливе біологічне значення для істот, які мешкають у мінливих умовах довкілля і нездатні пережити несприятливі періоди в активному стані. Статеве розмноження забезпечує безперервність існування виду в мінливих умовах довкілля, а партеногенез дає змогу повною мірою використовувати сприятливі періоди для швидкого нарощування чисельності популяції.

У життєвому циклі деяких тварин чергуються роздільностатеве і гермафродитне покоління. Наприклад, у одного з видів круглих червів – жаб'ячого рабдіаса – особини гермафродитного покоління паразитують в легенях жаб. Яйця, які відкладають ці особини, виводяться з хазяїна назовні. З них виходять личинки, з яких розвиваються особини вільноживучого роздільностатевого покоління. Вони мешкають у ґрунті і мають вдвічі менші розміри порівняно з гермафродитними організмами. Личинки, які виходять з яєць, відкладених особинами роздільностатевого покоління, для свого подальшого розвитку повинні потрапити в організм жаби. Там вони розвиваються в особин гермафродитного покоління.

**Запам'ятайте:** складні життєві цикли з чергуванням поколінь, які розмножуються різними способами (статевим і нестатевим, статевим і партеногенетично) забезпечують здатність виду підтримувати чисельність популяції в різних умовах довкілля.

Тривалість життєвого циклу визначають кількістю поколінь, які послідовно змінюють одне одного протягом одного або багатьох років.

### Які періоди постембріонального розвитку людини?

Періодизація постембріонального розвитку людини враховує її біологічні та соціальні особливості. Так, перші десять днів життя дитини – це період *новонародженості*. З 11-го дня життя й до одного року триває *грудний період*. Перший – третій роки життя – це період *раннього дитинства*, а від чотирьох до семи – період *першого дитинства*. Період *другого дитинства* триває від 8 до 11 (у дівчаток) та 12 (у хлопчиків) років. *Підлітковий період* дівчат триває від 12 до 15 років життя, хлопців – від 13 до 16. Від 16 до 20 (дівчата) та від 17 до 21 (юнаки) років життя триває *юнацький період*. *Зрілий вік* у жінок продовжується від 21 до 55 років життя, у чоловіків – від 22 до 60. *Похилий вік*





триває від 56 років (жінки) та 61 року (чоловіки) до 74-го року життя. У 75 років починається *старечий вік*, який закінчується смертю. У людей похилого або старечого віку спостерігають процеси старіння.

### Які є гіпотези старіння?

**Старіння** – процес поступового порушення і втрати важливих функцій організму, зокрема здатності до розмноження та регенерації. Учені встановили, що старіння починається із змін у мітохондріях і поступово поширюється на весь організм. Зокрема, зменшується ступінь пристосованості до умов проживання, здатність протистояти хворобам, частіше виникають травми (*пригадайте, чому у людей похилого віку частіше бувають переломи кісток*).

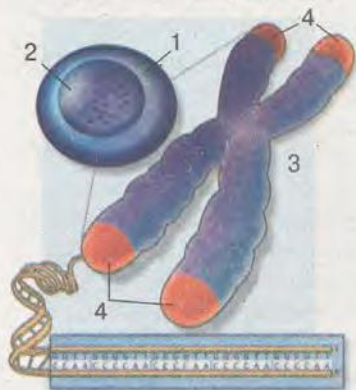
Виділяють *хронологічне* старіння, пов'язане з віком людини (у роках), та *біологічне*, викликане необоротними змінами клітин. Крім того, старіння може бути фізіологічним (природним) і патологічним (передчасним).

Ще недавно старіння людини здебільшого пов'язували з впливом чинників навколишнього середовища. Сучасні наукові дані свідчать, що старіння – це спадково запрограмований процес.

Процеси старіння залежать від активності генів: «ввімкнення» експресії одних і «вимкнення» інших. Зокрема, шведські дослідники встановили, що внаслідок мутацій генів мітохондрій миші старіють у 3–5 разів швидше, ніж нормальні особини. З активністю генів мітохондрій пов'язують серцево-судинні та інші захворювання, притаманні людям похилого віку. Вимкненням активності інших генів учені пояснюють також гальмування багатьох ферментативних реакцій і зниження інтенсивності біосинтезу білків.

Отже, процеси клітинного метаболізму з віком необоротно змінюються. Зокрема, стають активними так звані гени старіння, які несуть інформацію про пригнічення біосинтезу білків, утворення рибосом, порушення будови та функцій клітинних мембран. З віком накопичуються порушення механізмів поділу клітин, унаслідок чого зменшується здатність до регенерації, та функціонування генів, які відповідають за репарацію молекул ДНК.

Ще одна гіпотеза пов'язує старіння людини з укороченням теломер хромосом. *Теломера* (від грец. *телос* – кінець та *мерос* – частина) – розташована на кінці лінійної хромосоми ділянка ДНК, яка складається з великого числа повторів нуклеотидних послідовностей та не несе інформації про білкові молекули. Під час інтерфази лінійна хромосома подвоюється не-



повністю – на кінцях поступово втрачаються ділянки повторів. Якби вони не були теломерами, це спричинило б утрату частини необхідної спадкової інформації. Щоразу, коли лінійна хромосома подвоюється, вона втрачає невеликі ділянки ДНК (50–100 пар основ) на обох своїх кінцях. У деяких клітинах (стовбурових, генеративних) ці ділянки теломер відновлюються за допомогою особливого ферменту, однак цей фермент неактивний у більшості клітин, і хро-

Мал. 23.8. Розташування теломер: 1 – клітина; 2 – ядро; 3 – хромосома; 4 – теломери



мосоми зменшуються від поділу до поділу. Теломери також допомагають правильному приєднанню ділянок хромосом у разі порушення їхньої структури (наприклад, під дією іонізуючого випромінювання) під час репарації ДНК.

Учені виявили ген, який відповідає за довжину теломер. З'ясовано, що у людей з певним алелем цього гена теломери вкорочені. Тому одні люди старіють швидше за інших.

Зменшення довжини теломер упродовж життя можуть зумовлювати наркотичні речовини, алкоголь, куріння тютюну, малорухомий спосіб життя тощо. Тому люди, які ведуть неправильний спосіб життя, вкорочують свій вік. До чинників, які подовжують життя, належать регулярні заняття спортом, раціональне харчування, тривале перебування на свіжому повітрі, уникання стресових ситуацій, відмова від шкідливих звичок тощо.

Процеси старіння надзвичайно різноманітні; зокрема, висунуто понад 300 гіпотез для їхнього пояснення. Отже, передчасне старіння здебільшого запрограмоване спадково та відбувається на молекулярному, клітинному та організмовому рівнях організації.

**Геронтологія** (від грец. *геронтос* – стара людина та *логос* – наука) вивчає причини та процеси старіння. Можливо, завдяки її здобуткам у недалекому майбутньому тривалість життя людини збільшиться.

**Нові терміни та поняття.** Прямий та непрямий розвиток, прості та складні життєві цикли, старіння, геронтологія.



**Запитання для повторення:** 1. Що таке ембріонізація розвитку та яке її біологічне значення? 2. Які функції, необхідні для процвітанню виду, виконують личинкові фази розвитку? 3. У чому полягають процеси росту? Які види росту вам відомі? 4. Які життєві цикли називають простими та складними? 5. Які різновиди чергування поколінь відомі в складних життєвих циклах тварин і рослин?

**Проблемне завдання.** У квіткових рослин відбувається чергування статевого (гаметофіт) і нестатевого (спорофіт) поколінь. Поміркуйте, чим представлене кожне із цих поколінь.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### Тема: Ембріогенез хордових

**Обладнання та матеріали:** світлові мікроскопи, постійні мікропрепарати, муляжі або малюнки різних етапів розвитку ланцетника, кісткових риб, земноводних, плазунів, птахів, ссавців; постійні препарати яйцеклітини, бластули і гастрული жаби або ікра жаби на різних стадіях розвитку.

Хід роботи:

1. Підготуйте мікроскоп до роботи.
2. Використовуючи постійні препарати, муляжі, малюнки, прослідкуйте етапи дроблення зиготи, утворення бластули і гастрული. Зверніть увагу на будову шарів гастрული та початок гісто- і органогенезу.
3. Розгляньте постійні препарати яйцеклітини жаби під час дроблення. Зверніть увагу на утворення бластомерів. Замалюйте побачене і поясніть його.
4. Знайдіть на мікропрепараті різні зародкові листки тварин і замалюйте їх.





## ! ТЕМАТИЧНА ПЕРЕВІРКА ЗНАТЬ

### I. Із запропонованих відповідей виберіть одну правильну:

1. Укажіть групи рослин, яким притаманне подвійне запліднення: а) мохоподібні; б) папоротеподібні; в) голонасінні; г) покритонасінні.
2. Укажіть групи тварин, яким притаманний прямий розвиток: а) комахи; б) хрящові риби; в) кісткові риби; г) багатощетинкові черви.
3. Укажіть стадію зародкового розвитку, на якій формуються зародкові листки: а) дроблення; б) бластули; в) гастрული; г) гістогенезу.
4. Як називають ріст особини протягом усього життя: а) обмежений; б) не-обмежений; в) періодичний; г) регенерація.
5. Укажіть стадію зародкового розвитку, на якій формується порожнина первинної кишки: а) дроблення; б) бластули; в) морули; г) гастрული.

### II. Завдання на встановлення відповідності:

1. Встановіть відповідність між організмами та чергуванням різних поколінь:

Організми	Покоління
А. Дафнія	1. Гермафродитне та партеногенетичне
Б. Аурелія	2. Роздільностатеве та партеногенетичне
В. Печінковий сисун	3. Роздільностатеве та нестатеве
Г. Круглий черв рабдіас жаб'ячий	4. Гермафродитне та нестатеве
	5. Гермафродитне та роздільностатеве

2. Визначте, які варіанти чергування поколінь присутні у життєвих циклах тих чи інших тварин:

Варіанти чергування поколінь	Тварини
А. Статеве й нестатеве	1. Котячий сисун
Б. Гермафродитне й партеногенетичне	2. Форамініфери
В. Роздільностатеве й партеногенетичне	3. Амеба протей
	4. Дафнії

3. Визначте структури та органи, які розвиваються з відповідних зародкових листків:

Зародкові листки	Органи та структури
А. Ектодерма	1. Печінка
Б. Ендотерма	2. Серцевий м'яз
В. Мезодерма	3. Нервова трубка

### III. Відкриті запитання:

1. Чому серед наземних тварин переважає внутрішнє запліднення? Відповідь обґрунтуйте.
2. Який зв'язок між процесами гістогенезу та органогенезу?
3. Які функції притаманні статевому та нестатевому поколінням при здійсненні складних життєвих циклів?



Під час вивчення цієї теми ви дізнаєтеся про популяції, екологічні фактори, середовище життя, угруповання та екосистеми, колообіг речовин і потік енергії в екосистемах, про роль живих організмів у біосфері. Ви також навчитеся розв'язувати задачі з екології.

## § 24. ЕКОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ ТА ЇХНЯ КЛАСИФІКАЦІЯ. ЗАКОНОМІРНОСТІ ДІЇ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ОРГАНІЗМИ ТА ЇХНІ УГРУПОВАННЯ

Аби краще засвоїти матеріал цього параграфа, слід пригадати: що таке моніторинг і моделювання в біології?

Екологія як самостійна біологічна наукова галузь сформувалася лише в середині XIX сторіччя. Назву «екологія» запропонував 1866 р. видатний німецький біолог Е. Геккель.

**Екологія** – комплекс біологічних наук про взаємозв'язки живих організмів та їхніх угруповань між собою і довкіллям, про структуру та функціонування надорганізованих систем.

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 бази даних і розробка рекомендацій для екологічно безпечного планування господарської та соціальної діяльності людини;
- застосування екологічних знань у справі охорони довкілля та раціонального використання природних ресурсів.



Отже, предметом вивчення екології слугують різноманітність і структура зв'язків між організмами, їхніми угрупованнями та середовищем життя; склад і закономірності функціонування угруповань організмів (популяцій, біогеоценозів, біосфери в цілому).

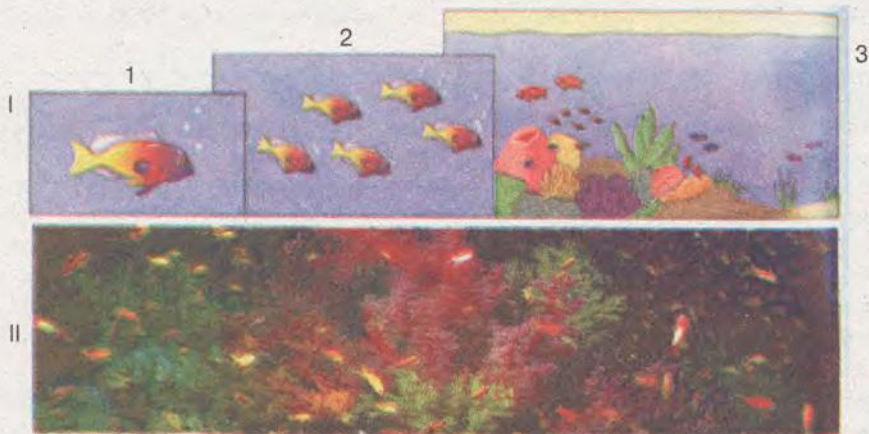
### Які основні напрями екологічних досліджень?

Умовно розрізняють екологію особин, популяційну екологію та біогеоценологію (мал. 24.1). Перша з них вивчає дію різноманітних екологічних факторів на окремих особин, а також на їхні угруповання. Популяційна екологія досліджує популяції організмів як особливий рівень організації живої матерії. *Біогеоценологія* – наука про багатовидові угруповання живих організмів – окремі екосистеми та біосферу в цілому.

До екологічних наук також належать екологія мікроорганізмів, рослин, грибів, тварин, гідробиологія (вивчає угруповання мешканців водойм), ґрунтова біологія (досліджує угруповання мешканців ґрунту) та ін. Екологія слугує теоретичною базою раціонального природокористування та охорони навколишнього середовища.

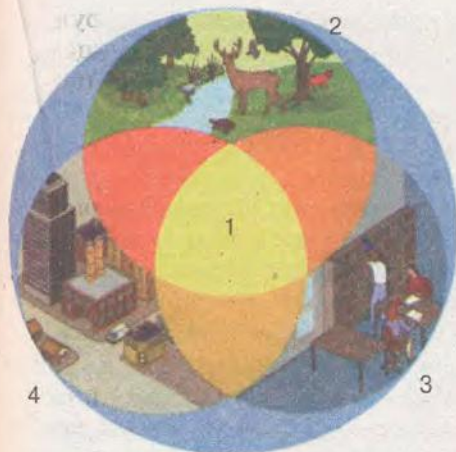
Екологія розвивається у взаємодії з іншими біологічними та небіологічними (хімія, фізика тощо) науками. Так, особливу галузь становить *математична екологія*, покликана обробляти дані, отримані дослідним шляхом, та створювати моделі, що дають змогу прогнозувати зміни в угрупованнях живих істот і біосфері в цілому. З екологією пов'язують гуманізацію природничих і технічних наук; її досягнення активно впроваджують у гуманітарні галузі знань. Тому тепер екологію розглядають як світоглядну дисципліну, що об'єднує різні науки і всі сфери діяльності людей (мал. 24.2).

Учені-екологи використовують різноманітні засоби і методи досліджень. Зокрема, *методи екологічної індикації* дають можливість визначити стан і властивості екосистем за видовим складом і співвідношенням між собою певних (еталонних, або індикаторних) груп видів (мал. 24.3). Для проведення постійних спостережень застосовують *метод екологічного моніторингу*. Широко впроваджують у сучасних екологічних дослідженнях *моделюван-*



Мал. 24.1. I. Розділи екології: 1 – екологія особин; 2 – екологія популяцій; 3 – екологія екосистем (біогеоценологія). II. Екосистема коралового рифу





Мал. 24.2. Зв'язки екології з іншими науками: 1 – екологія; 2 – природничі науки; 3 – економічні та суспільні науки; 4 – технічні науки



Мал. 24.3. Білі латаття – індикатор чистоти води

ня та статистичну обробку отриманих результатів. Різноманітні екологічні установи спрямовують свою діяльність на екологічну просвіту населення.

### Екологічні фактори та їхня класифікація



Усі складові доквілля, які впливають на стан і властивості живих організмів та їхніх угруповань, називають *екологічними факторами*, або *екологічними чинниками*.

Залежно від природи та особливостей дії екологічні фактори ділять на абіотичні, біотичні та антропогенні.

**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 і між популяціями в угрупованнях. Такі взаємодії можуть бути антагоністичними (конкуренція, паразитизм тощо), взаємовигідними (мутуалізм) чи нейтральними. Одні живі організми є складовою середовища життя інших. Будь-яка жива істота постійно взаємодіє з особинами свого (внутрішньовидові зв'язки) та інших (міжвидові зв'язки) видів. 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.

Окрему групу екологічних факторів становлять різні форми господарської діяльності людини, що змінюють стан середовища життя всіх видів живих істот, серед яких і сама людина (*антропогенні фактори*). 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 катастро-





Мал. 24.4. Чорнобильська атомна станція після катастрофи 1986 р.

фи, як, наприклад, вибух на Чорнобильській атомній електростанції у 1986 р. (мал. 24.4).

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 практично відсутні.

Зміни екологічних факторів можуть бути:

- *періодичними*, залежно від часу доби, пори року тощо;
- *неперіодичними*, наприклад виверження вулканів, землетруси, урагани, цунамі (мал. 24.5) тощо;
- *спрямованими* протягом значних історичних проміжків часу, наприклад зміни клімату.



Мал. 24.5. Приклади неперіодичних змін дії екологічних факторів: 1. Виверження вулкана Мауна-Лоа. 2. Землетруси – раптові струси земної кори. 3. Цунамі – велетенські хвилі, що виникають унаслідок підводних землетрусів. 4. Ураган (тайфун)



Принцип єдності організмів і їхнього середовища життя полягає в тому, що особини кожного виду протягом тривалого історичного розвитку пристосовуються до певного середовища, при цьому у них виникають певні пристосування (адаптації). Пригадайте, *адаптації* – це пристосування організмів до умов середовища життя, які пов'язані зі змінами особливостей їхньої будови, процесів життєдіяльності, поведінки тощо. Вони визначають можливість існування живих істот у найрізноманітніших умовах довкілля. За час існування виду залежно від змін впливів екологічних факторів одні адаптації з'являються, а ті, що втратили своє значення, зникають.

### Які закономірності впливу екологічних факторів на живі організми?

Хоча екологічні фактори дуже різноманітні за своєю природою та характером впливу на біологічні системи, існують закономірності їхнього впливу на живі істоти, а також реакцій організмів на їхню дію. Згідно з *правилом екологічної індивідуальності*, кожний вид пристосований до певної сукупності умов існування особливим чином, тобто не існує двох близьких видів з повністю однаковими адаптаціями (мал. 24.6, 1–2). Добра пристосованість організмів до певного фактору довкілля не означає такої самої адаптованості до інших. Наприклад, лишайники здатні витримувати значні коливання температури та вологості, але чутливі до забруднення повітря (мал. 24.6, 3).

Кожний з факторів має лише певні межі позитивного впливу на організми (*закон оптимуму*). Сприятливі для істот певного виду інтенсивності впливу екологічного фактору мають назву *зони оптимуму*. Чим більше інтенсивність дії певного екологічного фактору відхилятиметься від оптимальної в той чи інший бік, тим більше буде виражений його негативний вплив на організми (верхня та нижня *зони пригнічення*). Значення інтенсивності дії екологічного фактору, 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 фактору, у якому можливе існування особин певного виду (мал. 24.7).

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 фактору можуть зсуватися в певний бік залежно від того, з якою силою і в якому поєднанні діють інші чинники, що отримало назву *явища взаємодії екологічних факторів*.



Мал. 24.6. Кріт (1) і сліпак (2) постійно мешкають у ґрунті; при цьому кріт рие розширеними передніми кінцівками, а сліпак – різцями. 3. Лишайники – індикатори чистоти повітря





Мал. 24.7. Схема дії екологічного фактору

**Закон взаємокомпенсації 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. 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 кальцій у карбонатах. Нестача води гальмуватиме процес фотосинтезу навіть за оптимальних освітленості та концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері.

**Закон обмежувальних факторів** полягає в тому, що можливість існування виду в певних умовах може обмежувати будь-який фактор. Найбільше обмежує можливість існування виду в даних умовах той фактор середовища, інтенсивність дії якого наближується або виходить за межі витривалості. Так, поширення багатьох видів тварин на північ стримується нестачею тепла і світла; проникнення морських видів риб у прісні водойми стримує низька солоність води тощо.

**Нові терміни та поняття.** Екологія, екологічні фактори, адаптації.



**Запитання для повторення:** 1. Що вивчає екологія? 2. Які основні завдання екології? 3. Які розділи екології вам відомі? 4. Якими методами досліджень користуються екологи? 5. Які фактори називають екологічними? 6. Які групи екологічних факторів вам відомі? 7. Які бувають зміни інтенсивності екологічних факторів? 8. Що таке адаптації? 9. У чому полягає правило екологічної індивідуальності? 10. Що стверджує закон оптимуму? 11. Як ви розумієте явище взаємодії екологічних факторів? 12. У чому суть закону взаємокомпенсації екологічних факторів? 13. Поясніть суть закону обмежувальних факторів.

**Проблемні завдання.** 1. Поміркуйте, який зв'язок існує між екологією та охороною природи. 2. Укажіть, на чому ґрунтується явище взаємодії екологічних факторів. Чому взаємокомпенсація екологічних факторів обмежена?



## § 25. НАЗЕМНО-ПОВІТРЯНЕ ТА ВОДНЕ СЕРЕДОВИЩА ЖИТТЯ

**Аби краще засвоїти матеріал цього параграфа, слід пригадати:** які органи чуття є в наземних і водних тварин? Чим водорості відрізняються від судинних рослин?

**Середовище життя** – це сукупність умов, у яких мешкають певні особини, популяції, угруповання організмів. Живі організми нашої планети опанували чотири основні середовища життя: наземно-повітряне, водне, ґрунти, організми інших істот. Серед них найрізноманітніше за умовами наземно-повітряне (мал. 25.1). Провідна роль серед абіотичних чинників у ньому належить освітленості, температурі, вологості, газовому складу атмосфери.

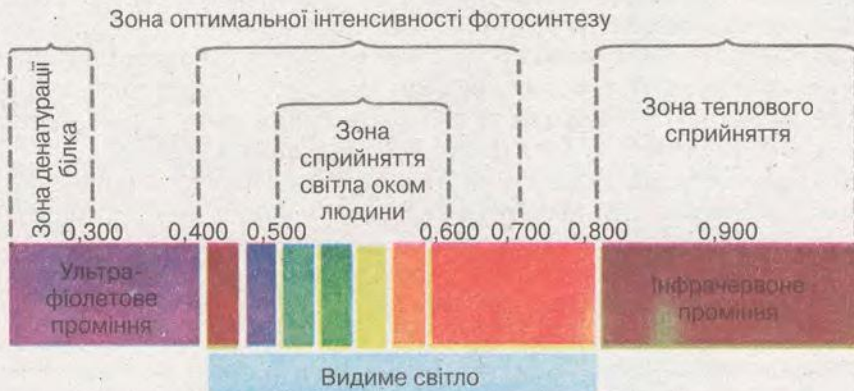


Мал. 25.1. Наземно-повітряне середовище життя

### Як світло впливає на живі організми?

Світло надходить до нашої планети від Сонця. У його спектрі виділяють три ділянки, які різняться біологічною дією: ультрафіолетову, видиму та інфрачервону (мал. 25.2). **Ультрафіолетові промені** з довжиною хвиль до 0,29 мкм діють згубно на живу матерію, але їх майже повністю поглинає озоновий екран. Ультрафіолетові промені з довжиною хвиль 0,29–0,40 мкм у великих дозах негативно впливають на живі організми, бо слугують мутагенами, проте в невеликих кількостях ці промені потрібні тваринам (сприяють синтезу в шкірі ссавців вітаміну D).

На частку **видимих променів** (з довжиною хвиль 0,41–0,74 мкм) припадає близько 50 % сонячного випромінювання, яке сягає поверхні Землі. Завдяки їхній енергії відбувається фотосинтез.



Мал. 25.2. Біологічна дія різних ділянок спектра сонячного проміння





Мал. 25.3. 1. Березовий гай (переважають світлолюбні рослини). 2. Сосновий ліс (переважають тіньовитривалі рослини). 3. Тайга (переважають тіньолюбні види)

**Інфрачервоні промені** з довжиною хвиль понад 0,75 мкм слугують джерелом теплової енергії для живих істот. Багато видів (наприклад, рослини, комахи, земноводні, плазуни) використовують її для підвищення температури свого тіла.

Щодо вимог до умов освітленості рослини поділяють на світлолюбні, тіньовитривалі та тіньолюбні (мал. 25.3).

Стосовно ступеня освітленості серед тварин виділяють дві групи: «нічну» (активні вночі) та «денну» (активні у світлу частину доби) (*ґрунтуючись на знаннях, отриманих під час вивчення біології у попередніх класах, наведіть приклади тварин згаданих груп*).

**Температура** навколишнього середовища відіграє винятково важливу роль у житті організмів, бо впливає на їхню температуру тіла. Температура тіла, у свою чергу, впливає на швидкість реакцій обміну речовин: низькі температури їх гальмують, а дуже високі можуть спричинити денатурацію білків, зокрема ферментів. Для більшості організмів оптимальні значення температури мають досить вузькі межі: від +10 до +30 °С. Але в неактивному стані живі істоти здатні витримувати значно ширший діапазон температур: від -200 до +100 °С. Наприклад, спори деяких бактерій здатні нетривалий період витримувати температуру до +180 °С, а цисти найпростіших і коловерток, яйця круглих червів, насіння і пилок рослин після зневоднення не втрачають життєздатності за температури, близької до абсолютного нуля (-271,16 °С).

Щоб пережити несприятливі умови, багато живих істот впадає в стан заціпеніння – **анабіоз** (від грец. *анабіозіс* – повернення до життя). Це стан організму, за якого не помітні прояви життєдіяльності внаслідок значного гальмування процесів обміну речовин. Він супроводжується великими втратами води (до 75 %). Коли ж настають сприятливі умови, організми виходять зі стану анабіозу і життєві процеси відновлюються.

Види, пристосовані до життя за низьких температур, називають **холодостійкими**. Вони здатні зберігати активність навіть тоді, коли температура їхнього внутрішнього середовища знижується до -7...-10 °С (деякі бактерії, лишайники, мохи, членистоногі тощо).

**Теплолюбні види** мешкають на високих температур довікля. Наприклад, деякі бактерії, ціанобактерії, членистоногі мешкають у гарячих джерелах при температурах до +80 °С.

Живим істотам властиві різні пристосування, які дають змогу регулювати процеси обміну речовин залежно від змін температури довікля.





**Мал. 25.4.** 1. Пінгвіни в сильні морози збираються до купи. 2. Білий ведмідь ховається за сніговим горосом. 3. Бурий ведмідь солодко пить у затишному барлогу

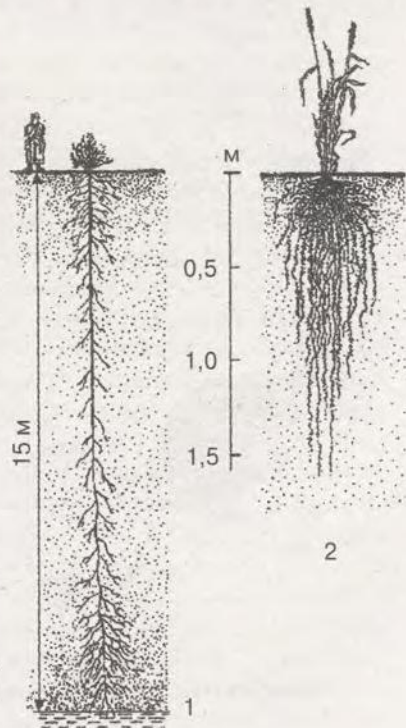
Наприклад, підвищення концентрації цукру в клітинному соку рослин чи гліцерину в рідинах тіла членистоногих знижує температуру замерзання. Теплокровні тварини часто мають добре розвинений волосяний або пір'яний покрив, підшкірний жировий прошарок для забезпечення теплоізоляції. Багато тварин здатні до терморегуляції.

**Терморегуляція** (від грец. *терме* – тепло та *регуло* – регулюю) – здатність підтримувати стале співвідношення між виробленням тепла (теплопродукцією) в організмі або його поглинанням з довкілля та втратами теплової енергії (тепловіддачею).

**Хімічна терморегуляція** відбувається за допомогою збільшення вироблення тепла у відповідь на зниження температури довкілля (наприклад, завдяки скороченню м'язів, прискоренню процесів дисиміляції та ін.).

**Фізична терморегуляція** зумовлена зміною рівня тепловіддачі (регуляція стану волосяного чи пір'яного покриву, діаметра капілярів шкіри, потовиділення, випаровування води рослинами тощо) або поглинання тепла з довкілля (вигрівання на сонці ящірок, комах та інших холоднокровних тварин). Вона можлива і завдяки змінам поведінки тварин, які збираються до купи, ховаються в затишних місцях (нори, печери, снігові заноси), де коливання температур згладжені; часто впадають у сплячку (мал. 25.4) тощо.

**Вологість.** Ми вже знаємо про винятково важливу роль води в забезпеченні життєдіяльності клітини та організму в цілому. Живі істоти наземно-повітряного середовища мають пристосування до економного споживання та витрат води. Життєві цикли видів адаптовані до розподілу опадів між сезонами року та порами доби. Так, у рослин посушливих місцезростань коренева система або здатна проникати на значну глибину (мал. 25.5), що дає змогу добувати підґрунтові води, або добре розгалужена у поверхневих



**Мал. 25.5.** Кореневі системи пустельних рослин: 1 – тягнуться до підґрунтових вод (до 15 м углиб); 2 – збирають поверхневу вологу





Мал. 25.6. Рослини посушливих місцезростань:  
1 – молодило (запасає воду у листках);  
2 – деревоподібні кактуси (запасають воду у стеблі)

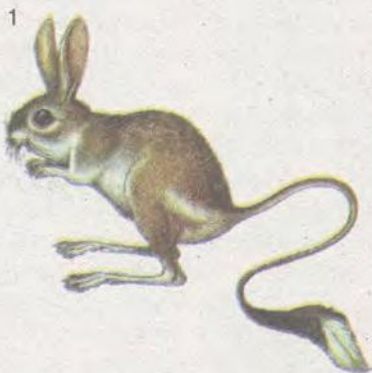
шарах ґрунту (кактуси), що забезпечує ефективне засвоєння вологи зі значної площі під час короточасних дощів. Вони також мають багато інших пристосувань для подолання дефіциту вологи (мал. 25.6). Деревя і кущі зменшують випаровування у посушливий період, скидаючи листя.

Як і рослини, тварини – мешканці наземно-повітряного середовища – повинні підтримувати водний баланс у своєму організмі, оскільки його зневоднення швидше спричиняє загибель, ніж тривала відсутність їжі. Наприклад, для організму людини небезпечні втрати води, які перевищують 10 % загальної маси тіла, а для верблюдів – 27 %.

Економії вологи в умовах посушливого клімату сприяють покриви, що запобігають випаровуванню (кутикула комах, лусочки плазунів тощо). Тварини посушливих місцезростань часто активні вночі, коли повітря вологіше та прохолодніше (мал. 25.7, 1), а під час тривалої посухи деякі з них впадають у сплячку. Великі тварини можуть долати значні відстані в пошуках джерел води (мал. 25.7, 2).

**Газовий склад повітря.** Головними складовими нижніх шарів атмосфери є кисень (близько 21 %), вуглекислий газ (близько 0,03 %) та азот (понад 78 %). Кисень необхідний живим істотам для аеробного дихання. За умов нестачі або повної відсутності кисню виживають лише організми, здатні отримувати необхідну їм енергію за допомогою безкисневого розщеплення органічних сполук (анаеробне дихання).

Вуглекислий газ негативно впливає на життєдіяльність, оскільки підвищення його концентрації в довкіллі гальмує процеси дихання, але до певного ступеня сприяє інтенсифікації фотосинтезу, зниження – гальмує.



Мал. 25.7. 1. Великий тушканчик активний уночі. 2. Африканські антилопи гну прийшли на водопій



Зростання його концентрації підвищує температуру атмосфери, оскільки завдяки високій теплоємності він акумулює тепло.

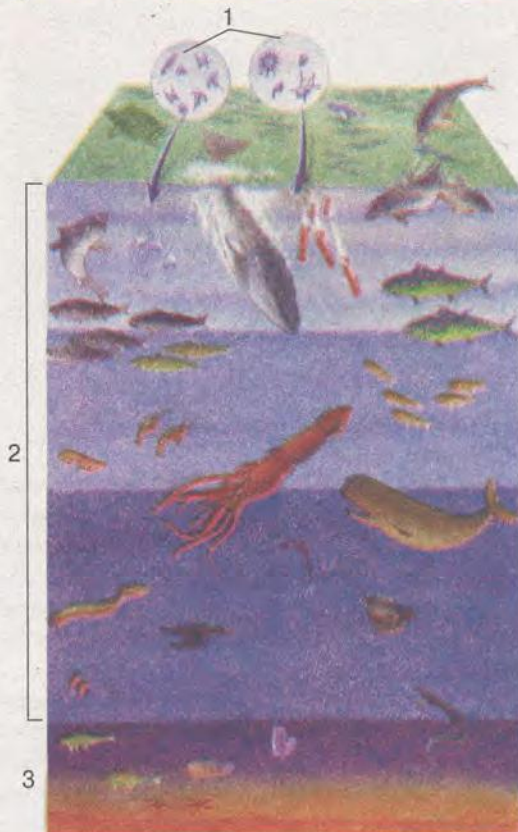
Азот для більшості організмів є інертним газом. Проте певні види (азотфіксуючі бактерії, деякі ціанобактерії, водорості) здатні фіксувати атмосферний азот і переводити його у сполуки, які можуть засвоюватись зеленими рослинами.

**Водне середовище життя** за своїми умовами значно відрізняється від наземно-повітряного (мал. 25.8). Воно характеризується високою густиною, меншим вмістом кисню, значними перепадами тиску. Крім того, різні типи водойм відрізняються за концентрацією солей, швидкістю течії тощо. Мешканці водойм – *гідробіонти* – пристосовані як до життя у водному середовищі взагалі, так і до певного типу водойм чи зони Світового океану.

**Екологічні групи гідробіонтів.** Живі організми населяють всі зони Світового океану. Мешканці товщі води складають екологічні групи планктону та нектону. **Планктонні організми** (мал. 25.8, 1): бактерії, ціанобактерії, водорості, радіолярії, медузи, дрібні ракоподібні, личинки кісткових риб тощо. Багато з них можуть активно плавати (за допомогою джгутиків, війок, скорочення м'язових волокон), але не здатні протистояти течіям, що переміщують маси планктону на значні відстані. Планктонні організми мають пристосування для забезпечення плавучості: дрібні розміри, різноманітні вирости, зниження питомої маси (полегшення скелетних елементів, наявність жирових включень, газових вакуоль тощо) та ін. Планктонним організмам притаманні періодичні (добові, сезонні тощо) вертикальні чи горизонтальні переміщення, пов'язані з розмноженням, живленням, змінами температури, солоності води тощо.

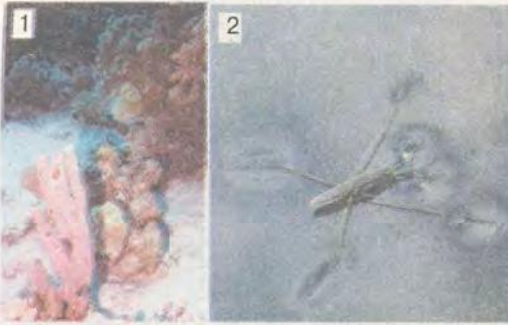
**Нектонні організми** (мал. 25.8, 2) – більшість риб, головоногих моллюсків, китоподібні – здатні до активного пересування в товщі води незалежно від напрямку течії. Вони мають обтічну форму тіла та добре розвинені органи руху.

До складу **бентосу** входять організми, які мешкають на поверхні та в товщі дна водойм: форамініфери, поліпи, круглі та багатощетинкові черви, двостулкові та деякі інші моллюски, ракоподібні – вусоногі раки, краби, омари, голкошкірі, придонні риби (наприклад, бички), деякі водорості, ціанобактерії, бактерії та ін. (мал. 25.8, 3). Ці організми мають пристосу-



Мал. 25.8. Водне середовище життя (океан): 1 – планктонні організми; 2 – нектонні організми; 3 – бентосні організми





Мал. 25.9. 1. Губки – представники перифітону. 2. Клоп-водомірка – представник нейстону

страту (мал. 25.9, 1).

Своєрідну групу – *нейстон* – становлять організми, які мешкають на межі водного та наземно-повітряного середовищ, населяючи поверхневу плівку води. Одні з них використовують сили поверхневого натягу води для пересування по водній плівці, цьому сприяє незмочуваність тіла (наприклад, клопи-водомірки (мал. 25.9, 2), жуки-вертячки). Інші підвішуються до водної плівки або спираються на неї знизу (личинки комарів, найпростіші, молодь риб).

**Основні властивості водного середовища.** Серед екологічних чинників водного середовища життя провідна роль належить температурі, освітленості, тиску, газовому режиму, солоності, рельєфу дна.

**Температурний режим.** Висока питома теплоємність води зумовлює значно менші коливання температури в її поверхневих шарах води порівняно з повітрям. Зокрема, річні коливання температур у поверхневих шарах океану не перевищують  $+10...+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а на великих глибинах температура взагалі стала: від  $+1,5$  до  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , але різні типи водойм значно відрізняються за температурним режимом; відповідно і показники оптимальних температур для тих чи інших гідробіонтів дуже різняться.

**Освітленість водойм** швидко зменшується зі збільшенням глибини. Зазвичай на глибинах понад 150–250 м фотосинтезуючі водорості існувати не можуть. На максимальній глибині – 270 м мешкають червоні водорості,

здатні вловлювати слабке розсіяне світло. На глибини понад 1500 м світло взагалі не проникає. Деякі глибоководні організми (кишковопорожнинні, ракоподібні, молюски, риби) самі можуть виробляти світло завдяки окисненню певних ліпідів (явище *біолоюмінесценції*) (мал. 25.10). Світлові сигнали – засіб спілкування глибоководних тварин – за їх допомогою зустрічаються особини різних статей та ін.



Мал. 25.10. Восьминіг, здатний до біолоюмінесценції

**Хімічний склад води** також значно впливає на умови життя гідробіонтів. Так, різні солі, наприклад карбонат кальцію, потрібні для побудови черепашок (форамініфер, молюсків), зовнішнього (мадрепорові корали, ракоподібні



тощо) чи внутрішнього (риби) скелета. Гідробіонти вилучають з води та використовують завислі в ній органічні частинки, розчинені сполуки Нітрогену, Фосфору, Силіцію, Феруму тощо.

**Уміст газів.** У воді вміст кисню в 20–30 разів нижчий, ніж в атмосферному повітрі. Кисень надходить у водне середовище з атмосфери завдяки дифузії; також його виділяють фотосинтетики – мешканці верхніх шарів водойм. Тому зі збільшенням глибини концентрація кисню зменшується, а в придонних шарах вона зовсім незначна та умови існування можуть наближатись до анаеробних. Тож глибоководні мешканці пристосовані до існування в умовах дефіциту кисню. Зменшується вміст Оксигену також зі зростанням температури чи солоності води.

**Тиск води** – один з провідних факторів водного середовища. При зануренні на кожні 10 м тиск зростає приблизно на 1 атмосферу, на великих глибинах він може перевищувати 1000 атмосфер. Більшість видів водяних тварин саме завдяки тиску мешкає на певних глибинах (наприклад, кільчастий черв піскожил мешкає здебільшого у припливно-відпливній зоні, а кистепера риба – латимерія – на глибинах 400–1000 м). Лише окремі види можуть жити від припливно-відпливної зони до глибин у кілька тисяч метрів.

**Переміщення водних мас** зумовлені зміною положення Землі відносно Сонця і Місяця відносно Землі (припливи та відпливи), земним тяжінням (течії річок), впливом вітру тощо. Рух води забезпечує міграції гідробіонтів, переміщення поживних часток та кисню. Пристосування організмів до постійних переміщень водних мас дуже різноманітні.

### Які є адаптації гідробіонтів до пересихання водойм?

Організми, які населяють водойми, що періодично пересихають, пристосовані до переживання періодів відсутності водного середовища. У них зазвичай короткі періоди розвитку, і за незначний проміжок часу вони здатні значно збільшувати свою чисельність. Посушливий період ці істоти переносять у неактивному стані (у вигляді яєць, цист, спор тощо). Так, яйця рачків-щитнів у висушеному стані можуть перебувати до 15 років, не втрачаючи життєздатності. На період посухи деякі гідробіонти закопуються у товщу дна, інколи формуючи зовнішню захисну оболонку, як-от африканський лусковик (мал. 25.11).



Мал. 25.11. Африканський лусковик

**Нові терміни та поняття.** Середовище життя, анабіоз, терморегуляція, планктон, нектон, бентос, перифітон, нейстон.



**Запитання для повторення:** 1. Що таке середовище життя? 2. Яка біологічна роль різних ділянок спектра сонячного світла? 3. Які пристосування живих істот до різних ступенів освітленості? 4. Які види терморегуляції є у живих організмів? 5. Що таке анабіоз та яке його біологічне значення? 6. Як живі істоти підтримують водний баланс своїх організмів? 7. Яка біологічна роль різних складових атмосфери? 8. Які особливості водного середовища життя? 9. Які екологічні групи гідробіонтів вам відомі?



**Проблемне завдання.** Поміркуйте, чому під час переохолодження ссавці, у тому числі й людина, починають тремтіти. Чому з усіх груп водоростей на більші глибини проникають саме червоні водорості?

## § 26. ҐРУНТ ТА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ ЯК СЕРЕДОВИЩЕ ЖИТТЯ

**Аби краще засвоїти матеріал цього параграфа, слід пригадати:** як рослини закріплюються в ґрунті?

**Ґрунт** – це верхній родючий шар твердої оболонки Землі, утворений діяльністю живих організмів. Він складається із заповнених водою або повітрям невеликих шпарин між частинками глини, піщинками та органічними речовинами (мал. 26.1).

Зовнішній шар ґрунту – **гумусовий**. Він темнозбарвлений завдяки високому вмісту особливих органічних речовин – гумусових кислот. Гумус склеює дрібні ґрунтові частки в більші за розміром, збільшуючи шпаристість ґрунту. Це полегшує надходження повітря до підземних частин рослин. Гумус становить основу ґрунтового живлення рослин завдяки постійному біогенному розкладу до мінеральних речовин.

Над ґрунтом розташований шар **підстилки**, що складається переважно з рослинного опаду. За активної участі живих організмів (бактерій, грибів, тварин) органічні рештки підстилки подрібнюються та хімічно перетворюються. Вони перемішуються з мінеральними речовинами і надходять до верхнього шару ґрунту, де на початкових етапах біогенного розкладу перетворюються на гумусні кислоти (мал. 26.2).

Ґрунт лежить на мінеральній моноклітній материнській породі. Вона під дією різних кліматичних факторів із часом подрібнюється та утворює



Мал. 26.1. Ґрунт у розрізі (ґрунтовий профіль)



Мал. 26.2. Підстилка – джерело утворення гумусу (1); організми, що мешкають у підстилці (2)





Мал. 26.3. Мешканці ґрунту: 1 – дощовий черв'як; 2 – кріт; 3 – личинка хруща

мінеральні складові (пісок, глина) або, при розчиненні, – поживний для рослин розчин.

Ґрунт – середовище з більш постійними умовами порівняно з наземно-повітряним. За допомогою вертикальних міграцій у його товщі ґрунтові організми знаходять оптимальні умови існування. Більшість мешканців ґрунту потребує підвищеної вологості, що пов'язано з характером живлення або нездатністю покривів утримувати вологу в тілі. Склад ґрунтового повітря значно відрізняється від атмосферного: вміст вуглекислого газу в 10–100 разів вищий, а кисню – в декілька разів нижчий. Кисень надходить здебільшого з атмосферного повітря, тому його більше у верхніх шарах ґрунту.

У ґрунтах існують багатовидові угруповання. Тут розташовані кореневі системи і видозміни пагонів вищих рослин. На поверхні й у верхніх шарах мешкають водорості (зелені, жовто-зелені, діатомові), лишайники, ціано-бактерії. Бактерії та гриби населяють всю товщу ґрунтів.

У ґрунті постійно мешкають різні найпростіші, круглі і кільчасті черви, членистоногі (комахи, багатоніжки, павукоподібні, ракоподібні), черевоногі моллюски, хребетні тварини (кроти, землерийки, сліпаки). Багато видів мешкає в ґрунтах лише на певних фазах розвитку (наприклад, личинки хрущів) або під час несприятливих періодів – холодів, посух та ін. (мал. 26.3).

Серед ґрунтових тварин є фітофаги, хижакі, паразити тощо. Проте більшість з них є сапротрофами – організмами, які споживають мертву органіку. Основні ланки процесів ґрунтоутворення вони здійснюють разом з ґрунтовими бактеріями та грибами. Крім того, вони перемішують ґрунт, поліпшуючи його структуру.

**Організми як середовище життя** за своїми властивостями істотно відрізняються від усіх інших. На організми, які живуть на поверхні інших, чинники довкілля впливають безпосередньо, а на тих, що мешкають усередині організму іншого виду, – лише опосередковано, через організм хазяїна.

**Симбіоз.** Усі форми співіснування різних видів називають *симбіозом*, а кожний з видів, які співіснують, – *симбіонтом*. Симбіоз може ґрунтуватися на *харчових* (коли організм одного із симбіонтів, продукти його життєдіяльності або залишки їжі слугують для живлення іншого) або *просторових* (оселення одного організму всередині або на поверхні іншого чи спільне використання певних місцеперебувань: гнізд, нір, черепашок тощо) *взаємозв'язках*. Симбіоз може бути обов'язковим або необов'язковим.



У першому випадку існування обох симбіонтів чи одного з них неможливе без іншого (наприклад, гриби, що входять до складу лишайників, стьожкові черви – паразити хребетних тварин і людини тощо). У другому випадку організми можуть існувати як разом, так і окремо один від одного. Залежно від характеру взаємозв'язків між партнерами розрізняють такі основні типи симбіозу: паразитизм, коменсалізм і мутуалізм.

**Паразитизм** – тип симбіозу, за якого один вид (паразит) більш-менш тривалий час використовує іншого (хазяїна) як джерело живлення та середовище життя, частково чи повністю покладаючи на нього регуляцію своїх взаємозв'язків з довкіллям. Паразитизм розвинений серед різних груп організмів: тварин, бактерій, грибів і навіть рослин (мал. 26.4). Усі віруси – внутрішньоклітинні паразити.

Одні види паразитів мешкають на поверхні організму хазяїна (воші, пір'яні кліщі тощо), інші – всередині його (стьожкові та круглі черви, сисуни, личинки шлункових оводів та ін.).

Існування в такому специфічному середовищі, як організм хазяїна, зумовлює наявність у паразитів особливих пристосувань. У них часто спрощені або повністю відсутні певні органи (наприклад, органи чуттів) та системи органів (як-от, травна система у стьожкових червів). Натомість бувають добре розвинені засоби прикріплення до органів хазяїна та статева система. Ймовірність зараження нових особин хазяїв низька, і більшість особин паразитичних видів притаманна значна плодючість. Наприклад, самка людської аскариди продукує до 240 000 яєць за добу, а бичачий ціп'як протягом свого життя (до 18 років) – понад 10 000 000 000. Багатьом видам притаманні складні життєві цикли, які можуть супроводжуватись зміною поколінь, хазяїв і середовищ життя.

Роль паразитів у біогеоценозах полягає в тому, що одні з них, мало шкідливі для місцевих видів, спричиняють важкі захворювання особин видів, невластивих даному біоценозу, тобто захищають біоценоз від вторгнень невластивих йому видів. Наприклад, одноклітинна тварина трипаносома мешкає в крові антилоп, не призводячи до помітних негативних наслідків; але коли в місця поширення антилоп потрапляє людина чи велика рогата худоба, у них паразит спричинює смертельну сонну хворобу. Інші паразити, шкідливі для місцевих видів, запобігають надмірному зростанню густоти популяцій цих організмів (збудник чуми в поселеннях бабаків та інших гризунів).



Мал. 26.4. Паразити трапляються серед представників різних царств: 1 – круглий черв трихіNELA та її личинка; 2 – гриб-трутовик; 3 – повитиця