

ВИДАВНИЦТВО  
**РАНОК**



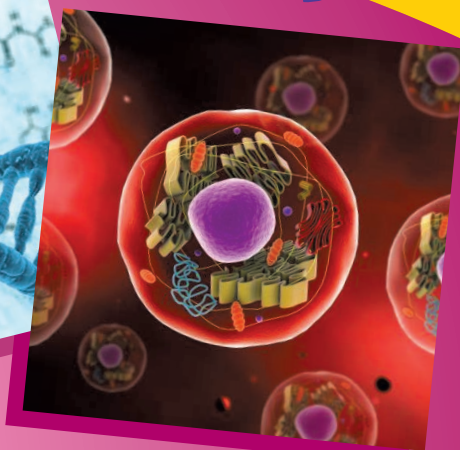
Інтернет-  
підтримка

*К. М. Загоровний*

**9**

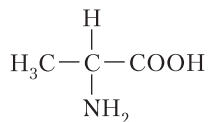
**КЛАС**

# Біологія

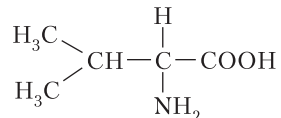


## Амінокислоти, що входять до складу білків

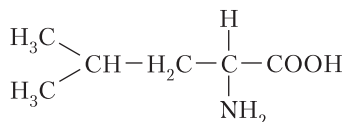
Аланін (Ала)



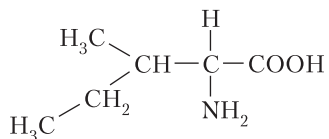
Валін (Вал)



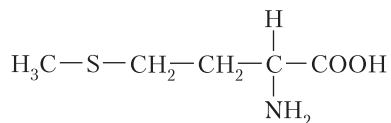
Лейцин (Лей)



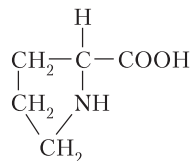
Ізолейцин (Іле)



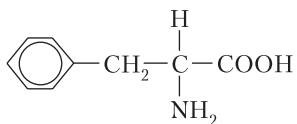
Метіонін (Мет)



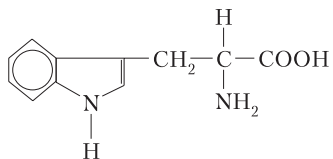
Пролін (Про)



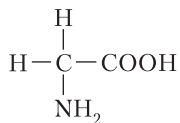
Фенілаланін (Фен)



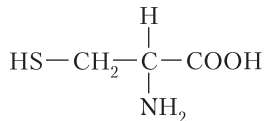
Триптофан (Трп)



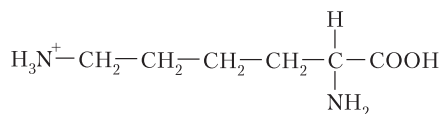
Гліцин (Глі)



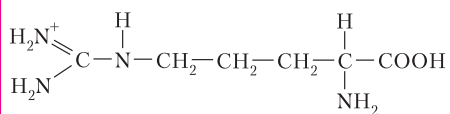
Цистеїн (Цис)



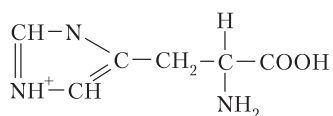
### Лізин (Ліз)



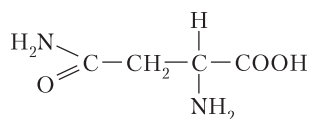
### Аргінін (Арг)



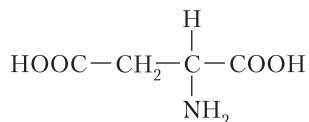
### Гістидин (Гіс)



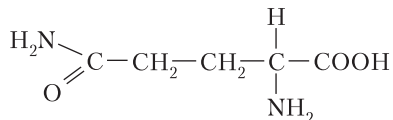
### Аспарагін (Асп)



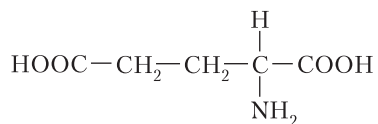
### Аспарагінова кислота (Асп)



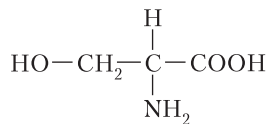
### Глутамін (Глн)



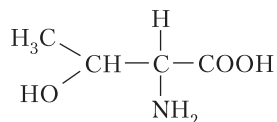
### Глутамінова кислота (Глу)



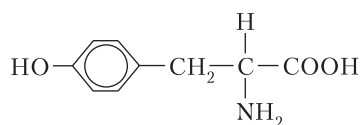
### Серин (Сер)



### Треонін (Тре)



### Тирозин (Тир)



К. М. Задорожний

# Біологія

# 9

Підручник для 9 класу  
загальноосвітніх  
навчальних закладів

Рекомендовано  
Міністерством освіти і науки України

Харків  
Видавництво «Ранок»  
2017

УДК [591:37.016](075.3)  
З-15

**Рекомендовано Міністерством освіти і науки України**  
(наказ Міністерства освіти і науки України від 20.03.2017 № 417)

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Експерти, які здійснили експертизу підручника під час проведення конкурсного відбору проектів підручників для 9 класу загальноосвітніх навчальних закладів і зробили висновок про доцільність надання підручнику грифа «Рекомендовано Міністерством освіти і науки України»:

*Л. О. Тасенко*, учитель біології КЗ «Навчально-виховне об'єднання «Загальноосвітній навчальний заклад І–ІІІ ступенів №16 — дитячий юнацький центр «Лідер» Кіровоградської міської ради Кіровоградської області»;

*І. В. Мироненко*, доцент кафедри теорії й методики природничо-математичної освіти та інформаційних технологій МОІППО;

*А. В. Колесник*, доцент кафедри генетики, фізіології рослин та мікробіології ДВНЗ «Ужгородський національний університет», кандидат біологічних наук

**Рецензенти:**

*О. М. Білик*, учитель біології Харківської загальноосвітньої школи І–ІІІ ступенів № 35, учитель вищої кваліфікаційної категорії, учитель-методист;

*В. Ю. Трезуб*, учитель біології загальноосвітньої школи № 5 м. Конотоп Сумської області, учитель вищої кваліфікаційної категорії, старший учитель

**Задорожний К. М.**

З-15 Біологія : підруч. для 9 класу загальноосвіт. навч. закл. / К. М. Задорожний. — Харків : Вид-во «Ранок», 2017. — 240 с. : іл.

ISBN 978-617-09-3361-4

УДК [591:37.016](075.3)



**Інтернет-підтримка**

Електронні матеріали  
до підручника розміщено на сайті  
[interactive.ranok.com.ua](http://interactive.ranok.com.ua)

ISBN 978-617-09-3361-4

© К. М. Задорожний, 2017

© ТОВ Видавництво «Ранок», 2017

# Знайомство з підручником

Шановні дев'ятикласники, перед вами новий підручник з біології, з якого ви дізнаєтеся багато цікавого про біохімію, цитологію, генетику, екологію та еволюцію організмів.

Перш ніж розпочати навчання, ознайомтеся зі структурою підручника та основними принципами розташування матеріалу в ньому. Насамперед відкрийте зміст підручника. Зверніть увагу на те, що текст поділений на теми, які присвячені окремим галузям біології. У кінці підручника розміщено словник біологічних термінів, алгоритми виконання лабораторних досліджень, робіт і дослідницьких практикумів, а також додаток.

Відкрийте будь-який параграф. Він розташований на одному або двох розворотах. Кожний параграф розпочинається запитаннями для повторення вивченого раніше, а закінчується коротким узагальненням. Після нього ви знайдете запитання для перевірки знань. Окрім основного матеріалу, параграфи містять ілюстрації та додаткову інформацію, розміщену в рубриці «Дізнайтеся більше».

Зверніть увагу, що в кінці кожної теми запропоновано тести для самоконтролю за вивченим матеріалом. Відповіді до них ви зможете знайти в електронному додатку. Крім того, там розміщено відеоролики та додаткові матеріали до деяких параграфів, а також онлайн-завдання для самоперевірки знань.

## Як працювати з електронним додатком

1. Зайдіть на сайт [interactive.ranok.com.ua](http://interactive.ranok.com.ua)
2. Зареєструйтеся.
3. Знайдіть розділ «Підручники».
4. Виберіть назву підручника «Біологія. 9 клас».
5. У розділі «Електронні матеріали до підручника» виберіть потрібну тему та натисніть «Розпочати роботу».



## Умовні позначення у підручнику



— «Дізнайтеся більше»;



— посилання на електронні матеріали до підручника.

Сподіваємося, вам буде зручно та легко працювати з нашим підручником.

*Бажаємо вам успіхів у навчанні!*



## 1 Біологія як наука. Рівні організації біологічних систем



У попередніх класах ви вже познайомилися з кількома галузями біології та розглянули живі організми як біологічні системи. Пригадайте характерні риси таких систем. На основі матеріалів попередніх розділів курсу поясніть, чому біологічні знання можуть мати важливе значення саме для вас або ваших рідних і знайомих.

### Біологія як наука

**Біологія** (від давньогрец. *bios* — життя, *logos* — учення) — це наука про життя. Як і будь-яка інша наука, біологія має об'єкт, який вона вивчає, і методи, якими вона користується для його вивчення. Крім того, біологія має власний понятійний апарат — сукупність термінів і понять, які вчені-біологи використовують у своїй роботі.

Але не тільки наявність усього цього робить біологію наукою. Біологія у своїй роботі спирається не на віру, а на сумнів. Біологи постійно піддають сумніву отриману інформацію. Вони багаторазово її перевіряють, пропонують пояснення отриманих результатів і висувають гіпотези. І тільки після експериментального підтвердження гіпотеза стає науковою теорією і, нарешті, науково обґрунтованим фактом.

**Інформація → Перевірка достовірності → Пояснення отриманих результатів → Висування гіпотези → Експериментальна перевірка гіпотези → Теорія → Науковий факт**

### Предмет біології, її основні галузі

Предметом біології є всі живі організми та різноманітні прояви їхньої життєдіяльності. Але живих організмів на нашій планеті багато, і вони дуже різноманітні. А ще є вимерлі організми, які також вивчає біологія. Тому сучасна біологія стала справжньою системою наук, у якій виділяють багато галузей.

### Галузі біології

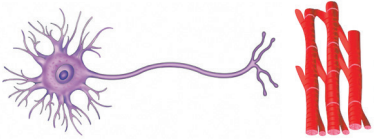
| Галузь біології      | Що вивчає                                                                                                   | Галузь застосування знань                        |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Зоологія             | Тварин. Окремі галузі зоології вивчають певні групи тварин (ентомологія — комах, орнітологія — птахів тощо) | Сільське господарство, тваринництво, ветеринарія |
| Ботаніка             | Рослини. Окремі галузі ботаніки вивчають певні групи рослин (бріологія — мохи, альгологія — водорості тощо) | Сільське господарство, рослинництво, медицина    |
| Мікологія            | Гриби                                                                                                       | Сільське господарство, медицина, біотехнології   |
| Мікробіологія        | Мікроорганізми                                                                                              | Сільське господарство, медицина, біотехнології   |
| Вірусологія          | Віруси                                                                                                      | Сільське господарство, медицина, біотехнології   |
| Біохімія             | Хімічні процеси, які відбуваються в живих організмах                                                        | Селекція, медицина, біотехнології                |
| Фізіологія           | Фізіологічні процеси, які відбуваються в живих організмах                                                   | Селекція, медицина, біотехнології                |
| Цитологія            | Клітини живих організмів                                                                                    | Медицина, біотехнології                          |
| Генетика             | Спадковість і мінливість організмів                                                                         | Селекція, медицина, біотехнології                |
| Екологія             | Взаємодію організмів між собою і з навколишнім середовищем                                                  | Усі сфери діяльності людини                      |
| Молекулярна біологія | Процеси збереження, зміни та реалізацію спадкової інформації на молекулярному рівні                         | Селекція, медицина, біотехнології                |

### Рівні організації біологічних систем

Характерною особливістю всіх біологічних систем є наявність у них кількох рівнів організації. Кожний рівень є системою, і він є елементом наступного рівня, який є більш складною системою. Таким чином, світ живого організований у вигляді ланцюга, що складається з ланок зростаючої складності. Цей ланцюг починається з атомів. Вони є складовими наступного рівня організації — молекул. Молекули, у свою чергу, об'єднуються у клітини, які є складовими тканин і органів. І так далі. Найвищою ланкою є біосфера Землі.

Але не всі живі системи мають однакову кількість рівнів організації. Так, одноклітинні організми (амеба, інфузорія, хламідомонада) не мають тканинно-органного рівня, а у вірусів відсутній ще й клітинний рівень організації.

## Рівні організації живих систем

| Рівень організації  | Які компоненти об'єднує                                                                           | Приклади                                                                                                           |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Молекулярний        | Групи атомів (елементарних частинок, з яких складається будь-яка речовина), об'єднаних у молекули | <br>Вода      Нуклеїнова кислота |
| Клітинний           | Молекули та органели клітин                                                                       |                                  |
| Тканинно-органний   | Клітини, тканини й окремі органи живих організмів                                                 |                                  |
| Організмівий        | Системи органів живих організмів                                                                  | <br>Бізон                        |
| Популяційно-видовий | Особини окремих видів живих організмів                                                            | <br>Популяція бізонів           |
| Екосистемний        | Популяції різних видів живих організмів                                                           | <br>Парк Асканія-Нова          |
| Біосферний          | Всі екосистеми планети Земля                                                                      | <br>Біосфера Землі             |

## Основні методи біологічних досліджень

Як і будь-яка наука, біологія має свої методи досліджень. Цих методів дуже багато. Деякі з них з'явилися дуже давно, а деякі стали можливими тільки з появою сучасних технологій.

Найстарішим методом біології можна назвати *спостереження*. Саме з нього біологія й починалася, коли наші предки спостерігали за тваринами, щоб їх потім вполювати. Спостереження є основою *описового* методу біології, тому що її результатом є саме опис біологічного об'єкта, процесу або явища.

Дуже давнім методом біології є також *порівняння*, коли об'єкт дослідження порівнюють з іншими об'єктами. Але справжньою наукою біологія стала тоді, коли біологи почали проводити експерименти. *Експеримент* і зараз залишається головним методом у біології. Для того щоб результати експериментів можна було правильно пояснити й порівняти між собою, проводять кількісну математичну (статистичну) обробку результатів. Вона є основою *статистичного методу* в біології.

У наш час дуже важливими методами біологічних досліджень стали моніторинг і моделювання. *Моніторинг* є цілою системою спостережень за біологічними об'єктами, які проводять з певною періодичністю. А *моделювання* є віртуальним експериментом, який проводять за допомогою комп'ютерів.



Біологія є системою наук, у якій виділяють багато галузей. Предметом вивчення біології є живі організми (сучасні й вимерлі), їх угруповання, процеси і прояви їхньої життєдіяльності. Біологія використовує низку методів для вивчення своїх об'єктів: описовий, порівняльний, експериментальний, моделювання тощо. Біологічні організми є біологічними системами, у яких виділяють кілька рівнів організації.

## Перевірте свої знання

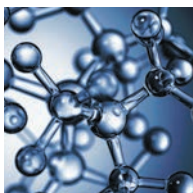
1. Що таке біологія? Що є об'єктом біології? 2. Які рівні організації життя можна виділити у живих організмів? 3. Наведіть приклади біологічних систем, що перебувають на різних рівнях організації. 4. На прикладі будь-якої домашньої тварини поясніть, за допомогою яких методів дослідження можна вивчити особливості її поведінки. 5. На конкретних прикладах поясніть, як біологія пов'язана з іншими природничими й гуманітарними науками. Наприклад, з математикою, хімією, фізикою, історією тощо. 6\*. Складіть класифікацію галузей біології, у якій укажіть назву галузі, об'єкт і методи вивчення.

## Тема 1



# Хімічний склад клітини та біологічні молекули

## 2 Речовини живих організмів. Неорганічні сполуки



Пригадайте речовини, які потрібні організмам для їхньої життєдіяльності. Яке значення мають водні розчини в природі та для людини? Який тип хімічного зв'язку в молекулі води? Що таке йони і як вони утворюються?

### Хімічні елементи живих організмів

До складу рослинних і тваринних клітин входить понад 70 хімічних елементів. Але у клітині немає якихось елементів, характерних лише для живої природи. Ці самі елементи трапляються й у неживій природі.

Усі хімічні елементи за вмістом у живій клітині поділяють на три групи: макроелементи, мікроелементи й ультрамікроелементи.

#### Уміст хімічних елементів у живих клітинах

| Група елементів     | Хімічні символи елементів            | Відсоток від маси організму, % |
|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Макроелементи       | H, O, C, N, P, S, Na, K, Mg, Ca, Cl  | 10–0,001                       |
| Мікроелементи       | Fe, Cu, Zn, Mn, Co, I, F, Ni та інші | 0,001–0,000001                 |
| Ультрамікроелементи | Au, Se, Hg, U, Ra та інші            | Менш ніж 0,000001              |

Елементи O, C, H, N інколи розглядають як окрему групу **органогенних** елементів через те, що вони входять до складу всіх органічних речовин і складають до 98 % маси живої клітини.

## Неорганічні речовини живих організмів

Вивчаючи хімію, ви дізналися про такі групи речовин, як кислоти, солі, оксиди тощо. Всі вони поширені в неживій природі, поза живими організмами. Тому й називають їх неорганічними речовинами. Та це не означає, що неорганічних речовин узагалі в живих організмах немає. Вони є й відіграють дуже важливу роль у процесах життєдіяльності.

Неорганічні речовини зазвичай потрапляють у живі організми із зовнішнього середовища з їжею (у тварин) або з розчином води через поверхню організму (у рослин, грибів і бактерій). Але в деяких випадках живі організми можуть їх синтезувати і самостійно (так, клітини шлунка хребетних синтезують хлоридну кислоту). Функції неорганічних речовин є достатньо різноманітними.

### Функції неорганічних речовин у клітині

| Неорганічні речовини                                      | Функції в клітині                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Катіони Гідрогену ( $H^+$ )                               | Забезпечують кислотно-лужний баланс (підтримують сталість внутрішньоклітинного середовища)                              |
| Катіони та аніони розчинних солей                         | Створюють різницю потенціалів між умістом клітини і навколишнім середовищем, забезпечують проведення нервового імпульсу |
| Слаборозчинні солі Кальцію та Фосфору                     | Утворюють опорні структури (наприклад, у кістках хребетних)                                                             |
| Йони металічних елементів                                 | Є компонентами багатьох гормонів, ферментів та вітамінів або беруть участь у їх активації                               |
| Складні неорганічні сполуки Нітрогену, Кальцію та Фосфору | Беруть участь у синтезі органічних молекул                                                                              |

Неорганічні сполуки можуть перебувати в живих організмах як у розчиненій формі (у вигляді йонів), так і в нерозчинному вигляді. Розчиненими формами представлені багато солей. Йони  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$  та інші накопичуються по різні боки клітинних мембран і забезпечують різний заряд їхньої поверхні, що уможливлює проведення нервових імпульсів по нервах.

Нерозчинні неорганічні сполуки також важливі для живих організмів. Наприклад, солі Кальцію та Фосфору входять до складу скелета різних тварин і забезпечують його міцність (мал. 2.1, с. 10). Без таких речовин неможливе існування здорових зубів у людини.



**Мал. 2.1.** Кістку людини, позбавлену мінеральних речовин, легко можна зав'язати вузлом



Черепашка  
молюска



Шкаралупа  
пташиного яйця

**Мал. 2.2.** Структури живих організмів, які складаються переважно з неорганічних речовин

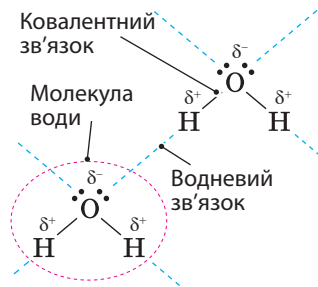
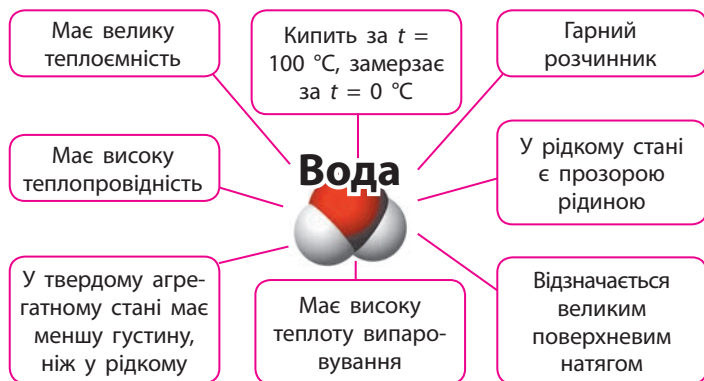
Різні структури організмів тварин здебільшого теж побудовані з неорганічних речовин (мал. 2.2).

## Властивості води

Властивості води зумовлені особливостями будови її молекули, а також зв'язком молекул між собою.

Як ви вже знаєте, у молекулі води (хімічна формула —  $\text{H}_2\text{O}$ ) між атомами Гідрогену й Оксигену існує *ковалентний* полярний зв'язок (мал. 2.3). Це зумовлює появу на атомі Оксигену певного негативного електричного заряду ( $\delta^-$ ), а на атомах Гідрогену — позитивного ( $\delta^+$ ). Саме тому позитивно заряджений атом Гідрогену однієї молекули води притягується до негативно зарядженого атома Оксигену іншої молекули води. Такий зв'язок має назву *водневого*.

Водневий зв'язок приблизно у 15–20 разів слабший за ковалентний. Тому водневий зв'язок відносно легко розривається, що відбувається, наприклад, під час випаровування води. За рідкого стану води водневі зв'язки між її молекулами постійно розриваються й утворюються знову.



**Мал. 2.3.** Будова молекули води та утворення водневих зв'язків між її молекулами

## Біологічна роль води

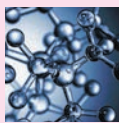
У живих організмах вода виконує багато функцій: розчинну, транспортну, метаболічну, терморегуляторну, структурну.

Вода є *універсальним розчинником*. Речовини, які беруть участь у більшості біологічних реакцій, перебувають в організмі у водному розчині.

Дуже важливою для клітин та організмів у цілому є також *транспортна* роль води. У вигляді водного розчину речовини разом із водою можуть транспортуватися з одних частин клітини в інші. А між різними частинами багатоклітинних організмів вони транспортуються у складі спеціальних рідин (наприклад, у складі крові). Випаровування води листками рослин спричиняє її рух від коренів угору. При цьому переміщуються і речовини, які у воді розчинені.

Молекули води виконують *метаболічну* функцію, коли беруть участь у реакціях обміну речовин (їх називають біохімічними реакціями). *Терморегуляторна* функція води надзвичайно важлива для підтримання температури тіла організмів. Коли, наприклад, людина потіє, то вода, яка випаровується, знижує температуру її тіла.

*Структурну* функцію води добре видно на прикладі рослин і деяких безхребетних тварин. Рослини підтримують форму листків і трав'янистих стебел завдяки підвищеному тиску в наповнених водою клітинах. А в багатьох червів форма тіла підтримується завдяки підвищеному тиску води в порожнинах їхнього тіла.

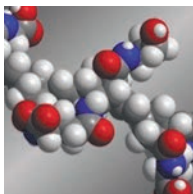


У живих організмах містяться як органічні, так і неорганічні речовини. Неорганічні речовини — це вода, солі, кислоти та інші сполуки. Вони відіграють важливу роль у життєдіяльності живих організмів. Вода створює середовище, у якому відбуваються реакції обміну речовин. Інші неорганічні речовини беруть участь у формуванні скелета, роботі нервової, травної та інших систем організму.

## Перевірте свої знання

1. Які неорганічні речовини трапляються в живих організмах?
2. Доведіть на прикладах, що властивості води мають велике значення для живих клітин.
3. Які функції в живих організмах можуть виконувати кислоти?
4. Уявіть ситуацію, коли лікар каже, що в організмі людини не вистачає Са. Яким чином вона зможе вирішити цю проблему?
- 5\*. До яких наслідків для організму людини може призвести втрата ним солей  $\text{Na}^+$ ?

# 3 Органічні молекули. Біополімери



Вам уже знайомі поняття «речовина» та «елемент». Пригадайте визначення цих термінів. Вивчаючи біологію людини, ви ознайомилися з речовинами, які потрібні організму людини. Назвіть їх. У яких продуктах вони містяться в найбільшій кількості?

## Органічні речовини живих організмів

Крім неорганічних до складу клітин живих організмів входять органічні речовини (мал. 3.1).

Органічних речовин у світі набагато більше, ніж неорганічних. Зараз їх нараховують уже більше 25 млн і постійно відкривають або створюють нові. З попередніх розділів біології ви дізналися, що органічні речовини містяться в живих організмах, які ми споживаємо в їжу, та продуктах рослинного або тваринного походження. Різні речовини містяться в них у різній кількості (мал. 3.2).

Ви вже знаєте, що всі органічні речовини поділяють на чотири основні

| Хімічний склад клітини                              |                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Неорганічні речовини                                | Органічні речовини                                                                                                           |
| Вода, мінеральні речовини (переважно солі), кислоти | Білки, вуглеводи, ліпіди, нуклеїнові кислоти                                                                                 |
| Містяться в тілах і неживої, і живої природи        | Утворюються тільки в живих організмах, можуть накопичуватися в неживій природі після загибелі живих організмів (торф, гумус) |

Мал. 3.1. Хімічний склад клітин



Яйця багаті на білки й ліпіди

Картопля багата на вуглеводи

Соняшник багатий на ліпіди

Мал. 3.2. Живі організми містять багато органічних речовин

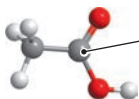
групи: білки, вуглеводи, ліпіди й нуклеїнові кислоти. До складу всіх цих речовин обов'язково входять атоми Карбону (C), Гідрогену (H) й Оксигену (O). Органічні речовини можуть містити також атоми Нітрогену (N) (обов'язкові компоненти білків та нуклеїнових кислот), Фосфору (P) (компоненти нуклеїнових кислот), Сульфору (S) (наявні в білках, але відсутні в нуклеїнових кислотах).

## Особливості будови органічних речовин

Молекули органічних речовин відрізняються від молекул неорганічних речовин і між собою особливостями будови.

### Особливості будови молекул органічних речовин

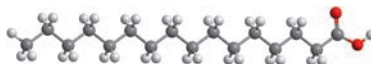
Містять ланцюжки атомів Карбону, до яких приєднуються атоми Гідрогену та інших елементів. Ці ланцюжки часто називають «скелетом» молекули.



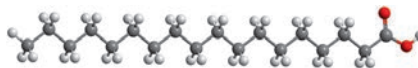
ланцюжок атомів Карбону

Оцтова кислота ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ).

Можуть відрізнятися між собою за кількістю ланок у карбоновому ланцюжку.

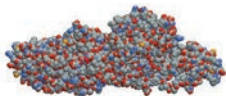


Молекула пальмітинової кислоти ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ ) містить 16 атомів Карбону.



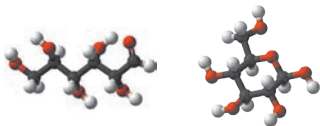
Молекула стеаринової кислоти ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ ) містить 18 атомів Карбону.

Часто мають великий розмір та масу.



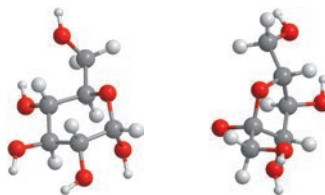
Наприклад відносна молекулярна маса води — 18, а білка міозину — 500 000.

Існують у кількох формах, які можуть легко перетворюватися одна на одну. Наприклад, різні кінці довгих органічних молекул можуть взаємодіяти між собою й утворювати кільцеві форми молекул.

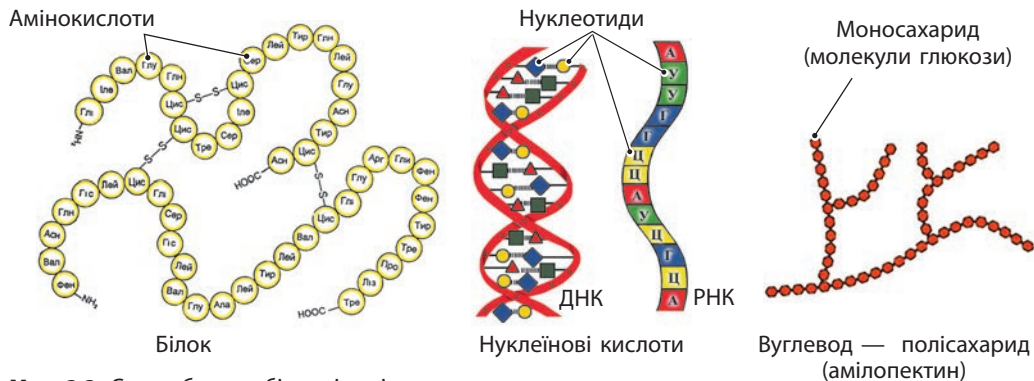


Лінійна форма молекули глюкози (зліва) та кільцева форма молекули глюкози (справа).

Навіть незначна зміна взаємного розташування атомів у молекулі органічної речовини перетворює її на іншу речовину.



Глюкоза (зліва) і фруктоза (справа) мають однакову хімічну формулу ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ), але різну будову молекули.



Мал. 3.3. Схема будови біополімерів

Значною мірою особливості будови органічних молекул зумовлені властивостями атомів Карбону, який може утворювати чотири однакові зв'язки. Такі зв'язки дають можливість утворювати молекули, які легко розгалужуються і можуть мати велику довжину. А невеликий розмір самого атома робить ці зв'язки досить міцними. Силіцій, наприклад, який є наступним елементом IV групи у Періодичній таблиці Д.І. Менделєєва після Карбону, такі ланцюжки утворює набагато гірше, в першу чергу, через те, що його атом має більший радіус і він утворює набагато слабші хімічні зв'язки.

### Мономери й полімери

Органічні молекули за їхнім розміром поділяють на дві групи — *малі й великі молекули* (макромолекули). **Макромолекули** мають масу понад 1000 Да (1 Да = 1 а.о.м.). Вони складаються з однакових (або майже однакових) малих органічних молекул, які називають мономерами (від грец. *моно* — один). Інша широко вживана назва таких молекул — **полімери** (від грец. *полі* — багато).

Крім своєї великої маси макромолекули відрізняються також наявністю щонайменше 30 атомів Карбону в одній молекулі.

Полімери дуже поширені у природі. Крім того, такі молекули виробляються людиною штучно у промислових масштабах. До них належать добре вам відомі з повсякденного життя поліетилен, поліпропілен, полістирол та інші сполуки. З ними ви більш докладно познайомитеся на уроках хімії.

### Біополімери

Полімери, які виробляються живими організмами, називають **біополімерами**. Наприклад, капрон, який виробляють штучно, — це

полімер, а шовк, який виробляють комахи, — біополімер. Обидва вони складаються з малих органічних молекул — мономерів.

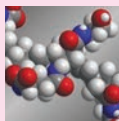
Кількість мономерів у біополімерах може бути різною: від одного-двох десятків для деяких білків та вуглеводів до сотень тисяч і навіть мільйонів (молекула ДНК першої хромосоми людини складається з 248 млн пар нуклеотидів, тобто містить 496 млн мономерів).

З багатьма біополімерами ви вже ознайомилися в попередніх розділах біології. Найбільш відомими біополімерами є білки, вуглеводи і нуклеїнові кислоти. Мономерами білків є амінокислоти, вуглеводів — моносахариди, а нуклеїнових кислот — нуклеотиди (мал. 3.3).

Найбільш поширеними біополімерами на нашій планеті є вуглеводи целюлоза (виробляється рослинами) і хітин (виробляється грибами й комахами). До біополімерів належать також ферменти (пепсин), транспортні білки (гемоглобін) резервні речовини живих організмів (крохмаль, глікоген) тощо.



Деякі біополімери завдяки своїй будові мають дивовижні властивості. Одним із таких полімерів є павутина. Її виробляють представники павукоподібних. Зважаючи на її склад, павутина належить до білків. Але вона не є суцільною ниткою, а має структуру, як у каната, — сплетена з багатьох мікрОВОЛОКОН. Максимальне навантаження, яке витримує павутина, становить 2,7 ГПа. Такий самий показник для сталі — 1,5 ГПа.



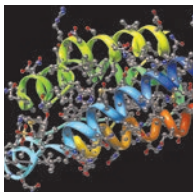
Основними групами органічних речовин у живих організмах є білки, вуглеводи, ліпіди і нуклеїнові кислоти. Значна частина органічних речовин є біополімерами. Їхні молекули складаються з великої кількості маленьких молекул мономерів, які поєднуються між собою.

### Перевірте свої знання

1. Що таке органічні речовини й де вони утворюються? 2. Наведіть приклади органічних речовин. 3. Порівняйте органічні й неорганічні речовини. У чому їх відмінність? 4. Назвіть продукти, багаті на білки, ліпіди, вуглеводи. 5. Чому певні органічні молекули називають макромолекулами? 6. Які макромолекули входять до складу живих організмів? 7. Пригадайте, що ви їли сьогодні на сніданок, і назвіть біополімери, які потрапили до вашого організму з цими продуктами. 8\*. Чому кількість органічних молекул у світі більша, ніж неорганічних?

## 4

## Білки. Структурна організація білків



З курсу біології людини пригадайте, які речовини повинні надходити в її організм з їжею. Чому з їжею крім вуглеводів і ліпідів до організму повинні надходити білки? Які функції виконують білки в організмі людини? Пригадайте також, як утворюється йонний зв'язок.

## Білки

**Білки** — це великі органічні молекули, біополімери. Вони складаються з мономерів — амінокислот, які з'єднані у вигляді ланцюжка (мал. 4.1). **Амінокислоти** — це органічні молекули, до складу яких обов'язково входить дві групи атомів — аміногрупа ( $-\text{NH}_2$ ) і карбоксильна група ( $-\text{COOH}$ ). Ці групи атомів приєднані до одного атома Карбону. В амінокислотах, які не входять до складу білків (а такі теж трапляються в природі), ці групи можуть приєднуватися і до різних атомів Карбону.

Крім цих двох груп до того самого атома Карбону приєднана ще одна група атомів — радикал. У кожній амінокислоті радикал свій. На схемах і малюнках його позначають літерою  $R$  (мал. 4.2).

У клітинах живих організмів міститься 20 різних амінокислот. Відповідно, існує 20 різних амінокислотних радикалів. Їхні формули подано на форзаці підручника.

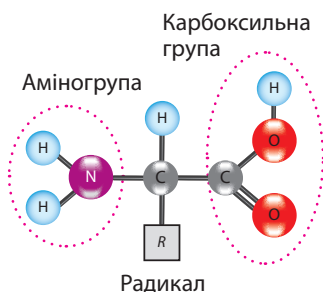
## Структурні рівні організації білків

**Білок** — це лінійний полімер, який складається з великої кількості амінокислот, з'єднаних у ланцюжок і згорнутих у просторі певним чином. Кожна білкова молекула має свою унікальну, тільки їй притаманну, просторову тривимірну структуру. І тільки в такому вигляді вона може нормально виконувати свої унікальні функції.

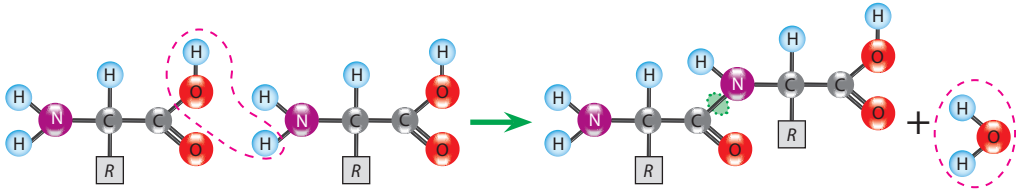


Білкова молекула

Мал. 4.1. Будова молекули білка



Мал. 4.2. Схема будови молекули амінокислоти



Мал. 4.3. Утворення пептидного зв'язку між молекулами амінокислот

Для підтримання такої структури, або для її стабілізації, існують певні хімічні зв'язки і взаємодії. Вони забезпечують постійність її конфігурації, а отже, і функціонування. Розрізняють чотири рівні структурної організації білкової молекули. Первинна структура є найпростішою, четвертинна — найскладнішою.

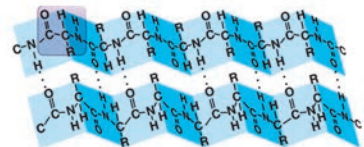
### Первинна структура білків

Первинна структура білка забезпечує об'єднання амінокислот в один ланцюжок. Цей ланцюжок має лінійну структуру (тобто він має вигляд нитки). Зв'язок, який з'єднує молекули амінокислот, має назву *пептидний*, а сам ланцюжок поліпептидним. Пептидний зв'язок виникає внаслідок хімічної реакції між аміногрупою ( $-\text{NH}_2$ ) однієї амінокислоти й карбоксильною групою ( $-\text{COOH}$ ) іншої амінокислоти (мал. 4.3). Під час утворення пептидного зв'язку виділяється одна молекула води. Цей зв'язок є ковалентним, а отже, найміцнішим у молекулі білка.

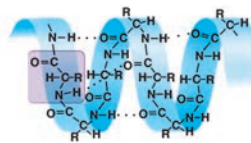
### Вторинна структура білків

Вторинна структура білка забезпечується складанням лінійної молекули в більш компактну структуру. Молекула може набувати двох різних просторових форм — спіральної або складчастої. Вони мають відповідні назви:  $\alpha$ -спіральна та  $\beta$ -складчаста структури (мал. 4.4). В одній молекулі білка різні її ділянки можуть мати різний варіант вторинної структури. На одних ділянках вона може мати складчасту структуру, а на інших — спіральну (мал. 4.5, с. 18). Більш того, одну й ту саму молекулу білка інколи клітина може «скласти» різними способами. Слід зазначити,

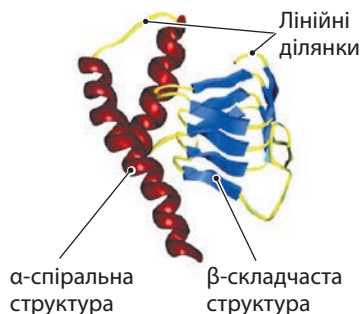
$\beta$ -складчаста структура



$\alpha$ -спіральна структура



Мал. 4.4. Вторинна структура білка: спіральна та складчаста структури



**Мал. 4.5.** Модель молекули білка з ділянками, які мають різну вторинну структуру

що деякі ділянки можуть не утворювати вторинних структур. Вони так і залишаються лінійними ділянками.

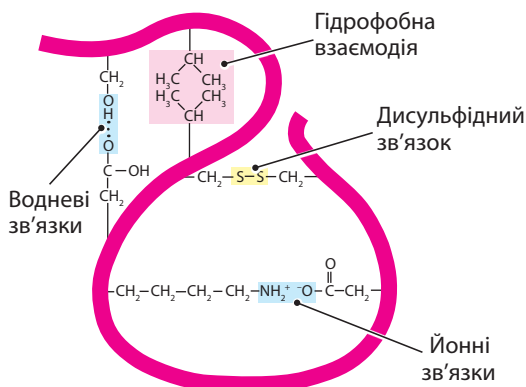
Вторинна структура білка утворюється за допомогою водневих зв'язків, які виникають між амінокислотними залишками, що розташовані поряд. З курсу хімії ви вже знаєте, що водневі зв'язки виникають між атомами Оксигену й Гідрогену різних молекул.

### Третинна й четвертинна структури білків

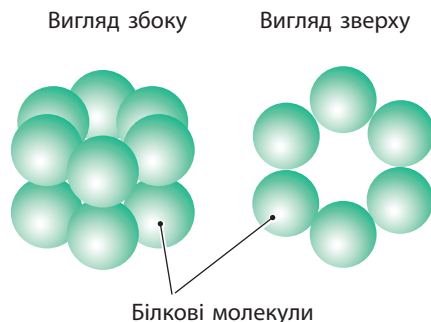
Третинна структура білка забезпечує розташування спіральних та складчастих ділянок молекули у просторі в певному порядку. Утворюється за допомогою зв'язків, що виникають між амінокислотними залишками, які розташовані на великій відстані.

Це досягається шляхом стабілізації молекули білка у просторі кількома способами: за допомогою водневого, йонного, дисульфідного зв'язків та гідрофобної взаємодії (мал. 4.6). Але роль водневих зв'язків у цій структурі не така значна.

Більше значення має утворення дисульфідних зв'язків, або дисульфідних містків. Вони утворюються між двома радикалами амінокислоти цистеїну внаслідок взаємодії атомів Сульфуру в цих радикалах. Дисульфідні зв'язки досить міцні й розриваються нелегко.



**Мал. 4.6.** Третинна структура білка. Стабілізація структури молекули різними способами



**Мал. 4.7.** Четвертинна структура білка глутамінсинтетази. Утворення білкового комплексу з кількох білкових молекул

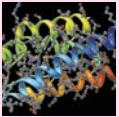
Йонні зв'язки виникають між протилежно зарядженими радикалами полярних амінокислот. У водному середовищі вони значно слабші за ковалентні й можуть розриватися у разі зміни рН середовища.

Гідрофобна взаємодія виникає між радикалами гідрофобних амінокислот. Такі радикали часто скупчуються разом, коли білкова молекула міститься у водному розчині. Таким чином гідрофобні радикали «ховаються» усередині молекули, а гідрофільні розташовуються ззовні, стикаючись із водним середовищем.

Четвертинна структура білків виникає в разі, коли кілька білкових молекул сполучаються між собою (мал. 4.7). Таким чином вони утворюють єдиний білковий комплекс, який виконує певні функції.

### Денатурація та ренатурація білків

Просторова структура білків може порушуватися під впливом зміни температури, хімічного середовища, фізичних факторів. Вони призводять до послідовного руйнування четвертинної, третинної та вторинної структур білка. Цей процес називається **денатурацією**. У випадку руйнування і первинної структури говорять про **деструкцію** білка. Інколи після денатурації білок може самостійно відновити свою структуру. Таке відновлення структури білка називають **ренатурацією**.



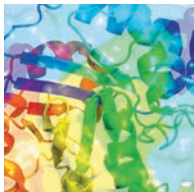
Білки — це біополімери, які складаються з амінокислот. Виділяють чотири рівні структурної організації білка. Перший рівень є ланцюжком амінокислот, які з'єднані пептидними зв'язками в певній послідовності.

На другому рівні молекула має вигляд спіральної або складчастої структури, яка стабілізована у просторі за допомогою водневих зв'язків. На третьому рівні ці структури певним чином розміщуються у просторі та стабілізуються за допомогою кількох різних способів. На четвертому рівні кілька білкових молекул об'єднуються в єдину структуру.

### Перевірте свої знання

1. Які особливості притаманні амінокислотам? 2. Скільки рівнів організації мають білки? 3. Яким чином забезпечується стабільність різних рівнів організації білків? 4. Міцність водневого зв'язку є невеликою. Чому тоді водневі зв'язки цілком успішно забезпечують стабільність структури молекул білків? 5\*. Чому в деяких випадках після денатурації білка неможлива його ренатурація? 6\*. Чому деякі білки в організмі не мають усіх чотирьох рівнів організації?

# 5 Функції білків. Ферменти



*Вивчаючи травну систему людини, ви ознайомилися з деякими ферментами, які беруть участь у процесі травлення. Пригадайте ці ферменти. Яку функцію в травній системі вони виконують? Які ще ферменти з вивчених раніше ви можете пригадати?*

## Класифікація білків

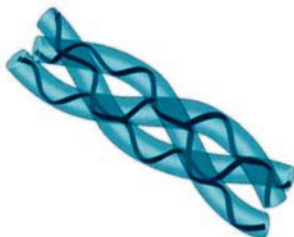
Білки за їхнім складом можна розділити на дві великі групи — прості та складні. До складу *простих* білків входять тільки амінокислоти. Такі білки ще називають протеїнами (мал. 5.1). Простими білками є гістони, які становлять основу хромосом. До цієї самої групи належать альбуміни і глобуліни, які містяться в плазмі крові.

*Складні* білки (протеїди) крім залишків амінокислот містять ще й небілкову частину — простетичну групу. Такою групою може бути як органічна, так і неорганічна молекула. Відповідно до складу такої групи розрізняють різні протеїди. Так, нуклеопроїди крім білків містять нуклеїнові кислоти, глікопротеїди — вуглеводи, а ліпопротеїди — ліпіди. Складні білки також можуть містити залишки ортофосфатної кислоти або атоми металічних елементів. Такі білки, як гемоглобін, містять велику і складну за будовою групу атомів — *гем* (мал. 5.2). До складу гему входить атом металічного елемента (Феруму в гемоглобіні). Гем забезпечує забарвлення молекули білка.

За формою молекули білки також можна поділити на дві великі групи — глобулярні й фібрилярні. Молекули *глобулярних* білків мають



Інсулін



Колаген



Глобулін

Мал. 5.1. Прості білки



Мал. 5.2. Складні білки

вигляд грудочки. Ці білки зазвичай легко розчиняються у воді. Більшість ферментів є якраз глобулярними білками, а молекули *фібрилярних* білків мають вигляд нитки. Вони нерозчинні. До них, наприклад, належать кератин (міститься в епідермісі), колаген та еластин (містяться у дермі).

## Функції білків

Білків у живих організмах дуже багато, і виконують вони в них різноманітні функції. Практично всі функції живих організмів тією чи іншою мірою пов'язані з роботою певних груп білків. За допомогою білків організми будують свої структури, здійснюють процеси життєдіяльності й відтворюють себе.

### Функції білків

#### Структурна

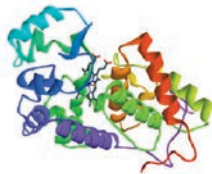
Приклади білків: колаген, кератин, еластин, мукопротеїни.



Є компонентами опорних структур і покривів організмів. Вони входять до складу тканин внутрішнього середовища тварин. Беруть участь в утворенні скелета, зв'язок, шкіри, пір'я, шерсті та інших структур.

#### Каталітична

Приклади білків: трипсин, пероксидаза, алкогольдегідрогеназа.



Білки-ферменти є каталізаторами (прискорювачами) реакцій у клітинах. Саме вони забезпечують життєдіяльність організму.

#### Регуляторна

Приклади білків: інсулін, глюкагон.

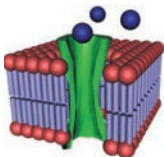


Гормони білкової природи є важливими регуляторами процесів обміну речовин у організмі.

## Функції білків (закінчення)

### Сигнальна

Приклади білків: рецепторні білки мембран.



Білки є основними рецепторними молекулами, розташованими на мембранах клітин. Вони сприймають інформацію із середовища та передають її до клітин.

### Транспортна

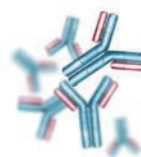
Приклади білків: гемоглобін, гемоціанін, альбумін.



Забезпечують в організмі транспорт кисню, жирних кислот, ліпідів та інших сполук. У клітинах білки відповідають за транспорт (переміщення) багатьох речовин крізь клітинні мембрани.

### Захисна

Приклади білків: антитіла, фібриноген, тромбін



Є найважливішим компонентом імунної системи. Вони утворюють комплекси з чужими білками, знешкоджуючи їх. Також білки беруть участь у процесі зсідання крові.

### Рухова

Приклади білків: актин, міозин.



Скоротливі білки забезпечують скорочення м'язів.

### Запасуюча

Приклади білків: яєчний альбумін, казеїн.



Білки беруть участь у створенні в організмі запасу речовин, які необхідні для забезпечення подальшої життєдіяльності.

### Токсична

Приклади білків: зміїна отрута, дифтерійний токсин.



Залежно від способу життя організму, який їх виробляє, білки-токсини можуть бути як засобом захисту, так і засобом нападу.

## Ферменти та їхня роль у клітині

Під час вивчення біології людини ви вже познайомилися з такою групою білків, як ферменти. Ферменти є унікальними молекулами. Вони виконують функцію каталізу, тобто змінюють швидкість хімічних реакцій, і роблять вони це надзвичайно ефективно! Наприклад, для взаємодії атмосферного азоту з воднем у процесі синтезу азотних добрив сучасна промисловість використовує температуру 500 °C і тиск у 350 атмосфер! Це за наявності каталізатора — пористого заліза

з певними домішками. А звичайна ґрунтова бактерія азотобактер здійснює ті самі реакції за допомогою ферментів у звичайних умовах. Без високих температур і за нормального тиску.

Ферменти потрібні для здійснення процесів обміну речовин у клітині. Без них реакції обміну перебігають надзвичайно повільно. А часто ці реакції без ферментів узагалі не відбуваються.

Як же ферментам вдається досягати такого успіху? Секрет у їхній просторовій будові. Будь-який фермент є ланцюжком амінокислот, що певним чином згорнутий у просторі. Згортання ланцюжка відбувається таким чином, щоб радикали амінокислот утворили унікальну структуру — активний центр ферменту. Саме в цьому центрі й відбуваються реакції.

Радикали амінокислот розташовані у просторі певним чином відносно один до одного. Вони різні за своїми властивостями, і їхня спільна дія створює умови, в яких відповідна реакція відбувається надзвичайно швидко.

У деяких випадках для роботи ферменту потрібний і небілковий компонент. Це сполука (її називають кофактором), яка приєднується до ферменту й також бере участь у процесі каталізу реакції. Часто кофакторами ферментів є вітаміни.



Білки за складом молекул можна поділити на дві великі групи — прості та складні, за формою молекул — на глобулярні та фібрилярні. Прості складаються тільки з амінокислот, а складні містять крім амінокислот небілкову частину. Цей клас речовин виконує в живих організмах багато функцій: структурну, каталітичну, захисну, транспортну тощо. Каталітичну функцію здійснюють білки ферменти, які є надзвичайно ефективними каталізаторами.

### Перевірте свої знання

1. Які функції в живих організмах виконують білки? 2. За якими ознаками класифікують білки? 3. Чи може просторова структура молекули білка впливати на його властивості? Наведіть приклади глобулярних і фібрилярних білків. 4. Навіщо живим організмам потрібні складні білки? 5. Навіщо живим організмам потрібні ферменти? 6. Як працюють ферменти? 7\*. Що може перешкодити роботі ферменту? 8\*. На прикладі організму людини поясніть, як білки виконують захисні функції.

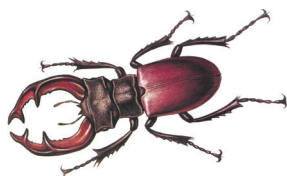
# 6 Вуглеводи



З курсу біології людини пригадайте, які речовини повинні надходити в її організм з їжею. Чому з їжею крім білків до організму повинні надходити вуглеводи? Які функції виконують вуглеводи в організмі людини? До яких негативних наслідків може призвести їх нестача?



Целюлоза — вуглевод, який утворює клітинні стінки в клітинах рослин



Хітин — вуглевод, який утворює зовнішні покриви комах



Лактоза — вуглевод, який міститься в молоці

**Мал. 6.1.** Вуглеводи в живих організмах та продуктах їхньої життєдіяльності

## Що таке вуглеводи

**Вуглеводи** є складними органічними сполуками, до складу молекул яких входять кілька груп: гідроксильна ( $-\text{OH}$ ), карбоксильна група ( $-\text{COOH}$ ) або карбонільна ( $-\text{CON}$ ). Загальна формула вуглеводів —  $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$ , де  $n$  і  $m$  є натуральними числами. Найбільш поширеними вуглеводами є глюкоза ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ), сахароза ( $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_{12}$ ), лактоза ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ), целюлоза, хітин, крохмаль.

Значна частина вуглеводів є біополімерами (крохмаль, целюлоза, глікоген). Такі біополімери називають *полісахаридами*. Їхніми мономерами є молекули невеликих вуглеводів (наприклад, глюкоза), які називають *моносахаридами*. Такі вуглеводи містять невелику кількість атомів Карбону (від 3 до 7 атомів у молекулі).

Часто живі організми використовують у своїй життєдіяльності молекули вуглеводів, які складаються з двох моносахаридів (наприклад, сахароза, що нам добре відома як звичайний цукор). Такі сполуки називають *дисахаридами*.

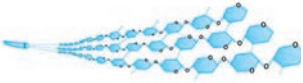
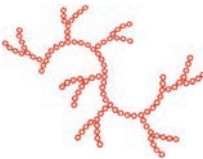
## Будова та властивості вуглеводів

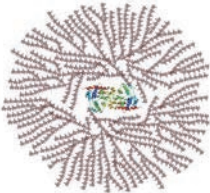
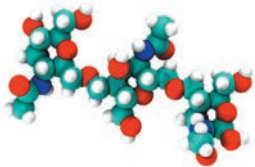
Розглянемо особливості будови молекул вуглеводів та їхні характерні властивості на прикладі конкретних сполук.

## Особливості будови та властивості моносахаридів і дисахаридів

| Сполука       | Особливості будови молекули                                   | Властивості                             | До складу яких біополімерів входить | У яких організмів трапляється |
|---------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Глюкоза       | Лінійна або кільцева молекула, містить 6 атомів Карбону       | Добре розчинна сполука, солодка на смак | Целюлоза, крохмаль, глікоген        | Клітини всіх живих організмів |
| Рибоза        | Лінійна або кільцева молекула, містить 5 атомів Карбону       |                                         | РНК                                 |                               |
| Дезоксирибоза |                                                               |                                         | ДНК                                 |                               |
| Сахароза      | Складається з двох молекул моносахаридів — глюкози і фруктози | Добре розчинна сполука, солодка на смак | Є дисахаридом                       | Зелені рослини                |

## Особливості будови та властивості полісахаридів

| Сполука  | Особливості будови молекули                                                                                                                                                                                     | Властивості                                                                         | З яких мономерів складається | У яких організмів трапляється              |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
| Целюлоза |  <p>Нерозгалужена молекула у вигляді довгої нитки (має лінійну структуру). Одна молекула може містити до 10 000 мономерів</p> | Нерозчинна сполука, не солодка на смак                                              | Глюкоза                      | Усі рослини                                |
| Крохмаль |  <p>Біополімер з молекулами різного розміру та ступеня галуження. Може містити до 4000 мономерів і більше</p>                | Нерозчинна в холодній воді сполука, в гарячій воді утворює гель, не солодка на смак | Глюкоза                      | Усі наземні рослини і більшість водоростей |

| Сполука  | Особливості будови молекули                                                                                                                                                        | Властивості                                  | З яких мономерів складається                          | У яких організмів трапляється                        |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Глікоген |  <p>Дуже розгалужена молекула біополімера.<br/>Одна молекула може містити до 50 000 мономерів</p> | Нерозчинна сполука, не солодка на смак       | Глюкоза                                               | Гриби і тварини                                      |
| Хітин    |  <p>Нерозгалужена молекула.<br/>За будовою схожа на молекулу целюлози</p>                         | Нерозчинна сполука, не солодка на смак       | Похідна глюкози, яка містить у своєму складі Нітроген | Гриби та членистоногі                                |
| Інулін   | Кількість мономерів в одній молекулі порівняно невелика — не більше ніж 100.<br>У середньому — 60                                                                                  | Розчиняється в гарячій воді, солодка на смак | Фруктоза                                              | Цикорій, топінамбур, батат, цибуля ріпчаста, жоржини |

Слід відмітити, що дуже незначні відмінності у способі з'єднання молекул глюкози в полісахаридах призводять до відмінностей у їхніх властивостях. Саме через такі незначні відмінності ферменти ссавців не здатні розщеплювати молекули целюлози, але можуть розщеплювати молекули глікогену або крохмалю.

### Біологічна роль вуглеводів

Основними функціями вуглеводів у живих організмах є структурна, захисна, резервна, рецепторна, пластична й енергетична.

Структурну й захисну функції виконують такі вуглеводи, як целюлоза й хітин. Вони створюють структури клітин і організмів, які забезпечують підтримання їхньої форми, міцність і захист від пошкоджень. Ці сполуки можуть входити до складу клітин або фор-

мувати структури поза клітинами. Наприклад, целюлоза є основою клітинної стінки, а хітин становить основу зовнішнього скелета членистоногих, який є неклітинною структурою.

*Резервну* функцію виконують глікоген (у тварин і грибів) і крохмаль (у рослин). У формі цих сполук організми запасують поживні речовини. *Рецепторну* функцію виконують ті невеликі молекули вуглеводів, які разом з білками утворюють рецептори на поверхні клітин.

*Пластичну* функцію здійснюють такі вуглеводи, як рибоза й дезоксирибоза. Вони беруть участь в утворенні нових молекул органічних речовин (нуклеїнові кислоти). *Енергетичну* функцію можуть виконувати багато вуглеводів. Під час окиснення 1 г вуглеводів у клітині утворюється 4,1 ккал (17,17 кДж) енергії, яка потім використовується клітиною.



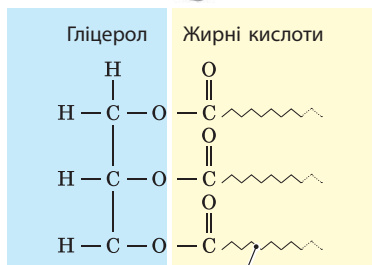
Дріжджі не мають ферментів для розщеплення молекул крохмалю. Але вони легко перетворюють моносахариди або дисахариди на спирт. Тому у виробництві пива використовують солод — продукт із пророщеного зерна злаків. Солод містить багато ферментів, які розщеплюють крохмаль до мальтози. А вже з неї дріжджі роблять пиво.



Вуглеводи — це складні органічні сполуки. У живій клітині можуть міститися такі вуглеводи, як моносахариди, дисахариди та полісахариди. Вони відіграють важливу роль у процесах обміну речовин (глюкоза, фруктоза) та збереження спадкової інформації (рибоза, дезоксирибоза). Також вони можуть виконувати структурну (целюлоза, хітин) і запасуючу (крохмаль, глікоген) функції.

### Перевірте свої знання

1. На які групи поділяються вуглеводи? 2. Які функції виконують вуглеводи в організмах тварин? 3. На конкретних прикладах поясніть значення вуглеводів для рослин і тварин. 4. Чому рослинам простіше транспортувати з листків у корені молекули сахарози, ніж молекули крохмалю? 5. Тварини за допомогою своїх ферментів досить легко можуть розщеплювати глікоген. А от розщеплювати крохмаль їм важче, хоча обидва ці полімери побудовані з молекул глюкози. З якими особливостями будови молекул цих речовин це може бути пов'язано? 6\*. У клітинах корови відсутні ферменти, які можуть розщеплювати целюлозу. Як вони можуть використовувати глюкозу, що входить до складу цієї целюлози?



**Мал. 7.1.** Будова молекули ліпиду

$$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$$
$$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{C}=\text{C}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$$

Н — Подвійний зв'язок  
 Н — Одинарні зв'язки

## Що таке лінгві

Термін «жири» не є синонімом терміна «ліпіди». Так називають тільки частину речовин з цієї групи. Зазвичай термін «жири» застосовують щодо ліпідів тваринного походження, які за кімнатної температури залишаються твердими. Терміном «олії» називають ліпіди рослинного походження, які за кімнатної температури залишаються рідкими.

## Будова та властивості ліній

Жирні кислоти бувають насиченими (без подвійних зв'язків між атомами Карбону) і ненасиченими (з подвійними зв'язками між атомами Карбону) (мал. 7.2). Наявність

подвійного зв'язку не дозволяє молекулі набувати лінійної форми. Це впливає на властивості речовини, наприклад, на її температуру плавлення. Олії є рідкими за кімнатної температури саме через наявність таких кислот у складі їхніх молекул.

### Тригліцериди і фосфоліпиди

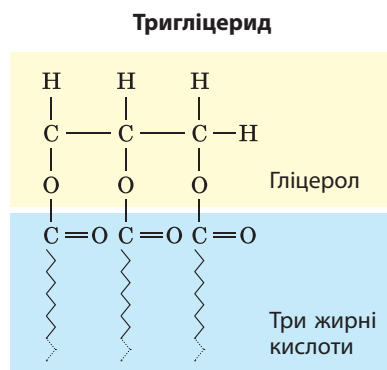
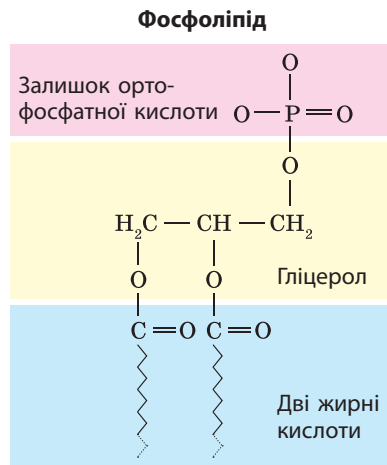
Спирт гліцерол має три ОН-групи, які можуть взаємодіяти з кислотами. Тому до нього можуть приєднатися три молекули жирних кислот (такі сполуки називають *тригліцеридами*). Але в багатьох випадках до молекули гліцеролу приєднуються тільки дві молекули жирних кислот. А третя ОН-група взаємодіє з молекулою ортофосфатної кислоти (такі сполуки називають *фосфоліпідами*) (мал. 7.3).

Відмінність у будові тригліцеридів та фосфоліпідів зумовлює відмінність їхніх властивостей. Тригліцериди з водою взаємодіють погано (мають гідрофобні властивості). А от залишок ортофосфатної кислоти в молекулах фосфоліпідів з водою взаємодіє добре (має гідрофільні властивості). Тому молекули фосфоліпідів мають двоякі властивості. З одного боку, їхні молекули гідрофільні, а з іншого — гідрофобні. Саме ця особливість зробила фосфоліпіди основою клітинних мембран.

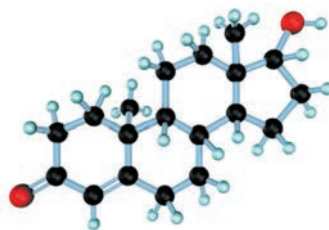
### Воски і стероїди

У складі восків і стероїдів гліцерол відсутній. Воски є сполуками жирних кислот з іншими спиртами, які мають довгі молекули і лише одну ОН-групу. Тому у складі молекул кожного з восків є лише одна молекула жирної кислоти й одна молекула спирту.

Стероїди не містять ані жирних кислот, ані спиртів. Вони є полімерами вуглеводню ізопрену ( $C_5H_8$ ). Їхній скелет з атомів Карбону утворює кілька кільцевих структур, об'єднаних в одне ціле (мал. 7.4).



**Мал. 7.3.** Будова молекул тригліцериду і фосфоліпиду



**Мал. 7.4.** Модель молекули стероїду



Китовий жир забезпечує добру теплоізоляцію й дає можливість плавати в полярних морях

Соняшникова олія забезпечує насіння рослин великим запасом енергії

Розвиток рогів оленя можливий завдяки гормону тестостерону, який є ліпідом

**Мал. 7.5.** Ліпіди в живих організмах

### Біологічна роль ліпідів

Основними функціями ліпідів у живих організмах є структурна, захисна, регуляторна, резервна, пластична й енергетична (мал. 7.5). Структурну функцію виконують тригліцериди, які становлять основу клітинних мембран.

Захисну й резервну функції виконують ті структури організмів, які накопичують жири та олії. Гормони ліпідного походження в організмі тварин здійснюють регуляторну функцію.

Пластичну функцію виконують ліпіди, які разом з білками беруть участь в утворенні складних органічних речовин — ліпопротеїнів. Важливу роль в обміні речовин у тварин відіграють вітаміни, які належать до групи ліпідів. Наприклад, вітаміни А, D, Е. Енергетична функція здійснюється більшістю ліпідів. Під час окиснення ліпідів масою 1 г у клітині утворюється 9 ккал (37,68 кДж) енергії, яка потім використовується клітиною.

### Приклади використання ліпідів живими організмами

Ліпіди складають основну масу таких структур живих організмів, як, наприклад, жирова тканина у тварин. Такі тварини, як кити, мають добре розвинену жирову тканину. У великих китів шар підшкірної жирової тканини може досягати 50 см у товщину. Такий шар добре зберігає тепло, бо жирова тканина є гарним теплоізолятором.

Крім збереження тепла, жирова тканина вберігає внутрішні органи тварин від пошкоджень унаслідок ударів. Ліпіди також є гарним засобом запасаєння ресурсів (енергії, органічних речовин, води) на випадок, коли цих ресурсів не вистачатиме. Ліпіди під час окиснення виділяють багато енергії, а також вони є матеріалом для синтезу інших потрібних організму речовин. Крім того, вони є джерелом так



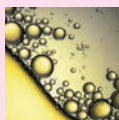
**Мал. 7.6.** Основним місцем запасання ліпідів у організмі верблюдів є горби



**Мал. 7.7.** Ліпіди в ендоспермі насінин кокосової пальми спочатку рідкі (кокосове молоко), а потім стають твердими

званої метаболічної води, яка утворюється в процесі їх окиснення. Під час окиснення 100 г ліпідів утворюється 107 г води. Саме тому верблюди (мал. 7.6), які живуть у пустелях, запасують у своєму організмі ліпіди.

Рослини також часто накопичують ліпіди. Їх багато в насінні таких рослин, як соняшник, гірчиця, рапс, какао, кокос тощо (мал. 7.7). Вони є поживними речовинами, які забезпечують гарний розвиток зародка рослин.



Ліпіди — це велика група гідрофобних органічних речовин, до якої належать тригліцериди, воски, стероїди та інші сполуки. Вони є важливими компонентами обміну речовин (вітамін А) і основою клітинних мембран (тригліцериди). Надзвичайно важливою є регуляторна функція, яку виконують гормони стероїди (тестостерон, естроген).

### Перевірте свої знання

1. На які групи поділяються ліпіди? 2. Які функції виконують ліпіди в організмах рослин? 3. На конкретних прикладах поясніть значення ліпідів для тварин. 4. Які властивості ліпідів сприяли тому, що вони стали основою клітинних мембран? 5. У верблюдів резервні ліпіди накопичуються у горбах, а у китів вони накопичуються під шкірою по всьому тілу. З якими властивостями ліпідів це може бути пов'язано? 6\*. У комах жирове тіло, яке містить багато ліпідів, виконує, у тому числі, й функцію виділення, відкладаючи в собі продукти обміну. Чи пов'язана можливість виконання такої функції із властивостями ліпідів?

## 8

## Нуклеїнові кислоти. АТФ



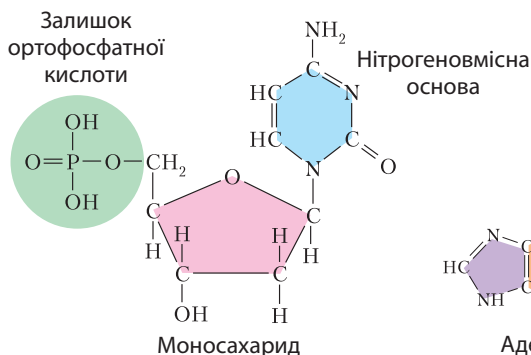
З курсу біології рослин і тварин пригадайте, де в їхніх клітинах зберігається спадкова інформація? Які речовини відповідають за зберігання і відтворення спадкової інформації? Чи однакові ці речовини в рослин і тварин?

## Нуклеїнові кислоти та нуклеотиди

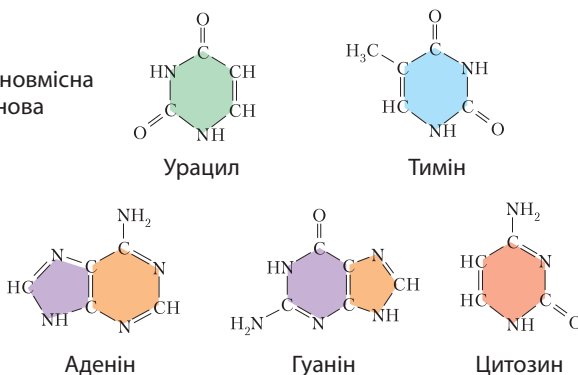
Молекули нуклеїнових кислот є великими органічними молекулами — біополімерами, мономерами яких є нуклеотиди. Кожний нуклеотид складається з трьох компонентів — нітрогеновмісної основи, моносахариду (рибози або дезоксирибози) і залишку ортофосфатної кислоти (мал. 8.1). У нуклеїнових кислотах трапляються п'ять різних нітрогеновмісних основ (мал. 8.2). Залежно від того, яка нітрогеновмісна основа входить до складу нуклеотиду, розрізняють п'ять видів нуклеотидів: тимідиловий (основа — тимін), цитидиловий (основа — цитозин), уридиловий (основа — урацил), аденіловий (основа — аденін), гуаніловий (основа — гуанін).

У клітинах живих організмів окремі нуклеотиди як окремі речовини також активно використовуються в різних процесах обміну речовин.

Під час утворення молекул нуклеїнової кислоти між залишком ортофосфатної кислоти одного нуклеотиду й моносахаридом іншого утворюється міцний ковалентний зв'язок. Тому нуклеїнові кислоти,



Мал. 8.1. Розгорнута структурна формула молекули нуклеотиду



Мал. 8.2. Нітрогеновмісні основи нуклеотидів

що утворюються таким чином, мають вигляд ланцюга, в якому нуклеотиди розташовані послідовно один за одним. Їх кількість в одній молекулі біополімера може досягати кількох мільйонів.

## ДНК і РНК

У живих організмах існує два типи нуклеїнових кислот — РНК (рибонуклеїнова кислота) і ДНК (дезоксирибонуклеїнова кислота). Вони відрізняються між собою за складом і особливостями будови.

До складу нуклеотидів ДНК входить моносахарид дезоксирибоза і чотири нітрогеновмісні основи — аденін, тимін, цитозин і гуанін. А самі молекули ДНК зазвичай складаються з двох ланцюжків нуклеотидів, які з'єднані між собою водневими зв'язками (мал. 8.3).

У нуклеотидах РНК замість дезоксирибози міститься моносахарид рибоза, а замість тиміну — урацил. Молекула РНК зазвичай складається з одного ланцюжка нуклеотидів, різні фрагменти якого утворюють між собою водневі зв'язки.

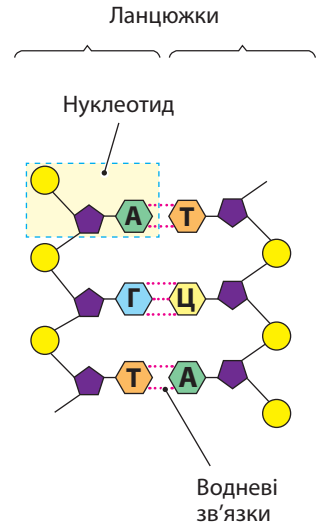
Між гуаніном і цитозином утворюються три такі зв'язки, а між аденіном і тиміном або аденіном і урацилом — два.

## Нуклеїнові кислоти як носії спадкової інформації

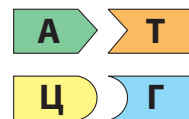
Головною функцією нуклеїнових кислот є робота зі спадковою інформацією. Вони її зберігають і відтворюють. Збереженню й відтворенню інформації сприяє будова ДНК.

Молекула ДНК складається з двох ланцюгів нуклеотидів, які з'єднуються за принципом **комплементарності** (доповнення). Навпроти кожного нуклеотиду одного ланцюга розміщується той нуклеотид, який йому відповідає. Навпроти аденінового — тимідиловий, а навпроти цитиділового — гуаніловий (мал. 8.4). Тому в молекулах ДНК кількість аденінових нуклеотидів завжди дорівнює кількості тимідилових нуклеотидів, а кількість гуанілових — кількості цитиділових.

РНК теж може зберігати спадкову інформацію. Але вона робить це не так надійно, як ДНК, тому такий спосіб зберігання використовує тільки частина вірусів.



Мал. 8.3. Схема дволанцюгової молекули ДНК



Мал. 8.4. Комплементарність нуклеотидів

## АТФ та її роль у життєдіяльності клітин

У життєдіяльності клітини активну участь беруть не тільки РНК і ДНК, але й окремі нуклеотиди. Особливо важливими для життєдіяльності клітин є сполуки нуклеотидів із залишками ортофосфатної кислоти. Таких залишків до нуклеотиду може приєднуватися від одного до трьох. Відповідно й називають їх за кількістю цих залишків. Наприклад: АТФ — аденозинтриортофосфат (аденозинтриортофосфатна кислота), ГТФ — гуаназинтриортофосфат, АДФ — аденозиндіортофосфат, АМФ — аденозинмоноортофосфат. Усі нуклеотиди, які входять до складу нуклеїнових кислот, є моноортофосфатами. Три- і діортофосфати також відіграють важливу роль у біохімічних процесах клітин.

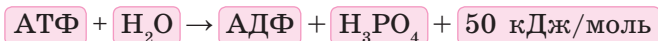
Найбільш поширеним у клітинах живих організмів є АТФ. Він бере участь у процесах росту, руху й розмноження клітин. Велика кількість молекул АТФ утворюється в процесах клітинного дихання та фотосинтезу. Ця молекула відіграє роль універсального джерела енергії для біохімічних реакцій.

## Перетворення енергії та реакції синтезу в біологічних системах

Визначна роль АТФ в обміні речовин полягає в тому, що вона забезпечує енергією переважну більшість процесів, які відбуваються в клітинах. У першу чергу, це процеси синтезу органічних речовин. Вони здійснюються за допомогою ферментів.

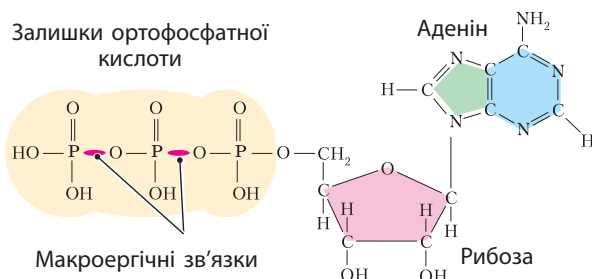
Для того щоб ферменти могли провести біохімічну реакцію, їм у більшості випадків потрібна енергія.

Молекули АТФ під час взаємодії з ферментами розпадаються на дві молекули — ортофосфатної кислоти і АДФ. При цьому виділяється енергія:



Цю енергію й використовують ферменти для роботи. А чому саме АТФ? Тому що зв'язок залишків ортофосфатної кислоти в цій молекулі є не звичайним, а макроергічним (багатим на енергію) (мал. 8.5). Для утворення цього зв'язку потрібно багато енергії, але під час його руйнування енергія виділяється у великій кількості.

Коли молекули вуглеводів, білків, ліпідів у клітинах розщеплюються, то відбувається виділення енергії. Цю енергію клітина запасає. Для цього до нуклеотидів моноортофосфатів (наприклад, АМФ) приєднується один або два залишки ортофосфатної кислоти й утворюється молекула ди- або триортофосфатів (відповідно, АДФ або АТФ).



Мал. 8.5. Макроергічні зв'язки в молекулі АТФ

Утворені зв'язки є макроергічними. Таким чином, АДФ містить один макроергічний зв'язок, а АТФ — два. Під час синтезу нових органічних сполук макроергічні зв'язки руйнуються й забезпечують відповідні процеси енергією.



Всі клітинні форми життя на нашій планеті мають у своїх клітинах і РНК, і ДНК. А от вірусам притаманний тільки один тип нуклеїнової кислоти. У їхніх віріонах під білковою оболонкою міститься або РНК, або ДНК. Лише коли вірус потрапляє в клітину-хазяїна, він зазвичай починає синтезувати і ДНК, і РНК.



Нуклеїнові кислоти є біополімерами, у живих організмах вони містяться у вигляді ДНК і РНК. Їхніми мономерами є нуклеотиди. ДНК зазвичай має форму подвійної спіралі, яка складається з двох ланцюгів.

РНК частіше за все має вигляд одинарного ланцюга. Основною функцією нуклеїнових кислот є збереження та відтворення генетичної інформації. Нуклеотиди також беруть участь у багатьох біохімічних процесах у клітині, а АТФ відіграє роль універсального джерела енергії для біохімічних реакцій.

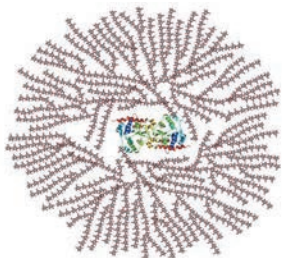
### Перевірте свої знання

1. Чим ДНК відрізняється від РНК? 2. Навіщо живим організмам потрібні нуклеїнові кислоти? 3. Які функції виконує в клітинах АТФ? 4. Добудуйте другий ланцюжок ДНК за принципом комплементарності, якщо перший ланцюжок є таким: АГГТТАТАЦГЦТА-ГААТЦГГГАА. 5\*. ДНК не здатні бути каталізаторами біохімічних реакцій. А от деякі РНК (їх називають рибозимами) каталізаторами бути можуть. З якими особливостями будови цих молекул це може бути пов'язано? 6\*. Чому макроергічні зв'язки є такими зручними для використання в біохімічних процесах клітини?

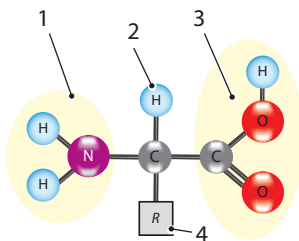
## Узагальнюючі завдання до теми «Хімічний склад клітини та біологічні молекули»

У завданнях 1–9 оберіть одну правильну відповідь.

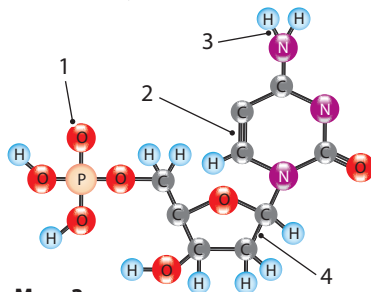
- 1) Зображена на мал. 1 структура виконує таку функцію:
- а) зберігає і відтворює спадкову інформацію
  - б) транспортує речовини
  - в) створює запас поживних речовин
  - г) каталізує реакції
- 2) З тих самих мономерів, що й речовина на мал. 1, складається:
- а) колаген      б) крохмаль      в) РНК      г) естроген
- 3) Речовина на мал. 1 може накопичуватися:
- а) на зовнішній мембрані мітохондрій
  - б) у клітинній стінці дріжджів
  - в) у клітинах печінки людини
  - г) у хлоропластах кукурудзи
- 4) Зображена на мал. 2 структура є складовою:
- а) клітинної стінки рослин
  - б) білків
  - в) РНК
  - г) внутрішнього шару клітинної мембрани
- 5) Цифрою 3 на мал. 2 позначено:
- а) карбонільну групу      в) карбоксильну групу
  - б) гідроксильну групу      г) радикал
- 6) Аміногрупу на мал. 2 позначено цифрою:
- а) 1      б) 2      в) 3      г) 4



Мал. 1



Мал. 2



Мал. 3

7 Структура на мал. 2 є мономером:

- а) нуклеїнової кислоти      в) ліпиду  
б) білка      г) полісахариду

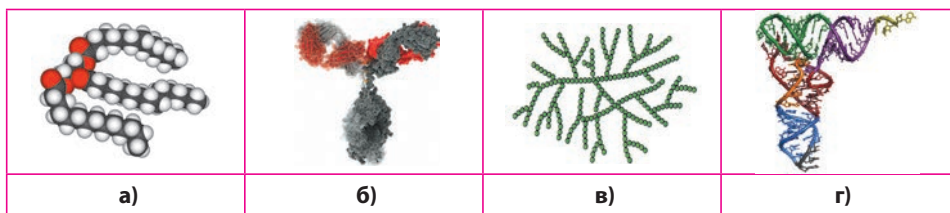
8 Моносахарид на мал. 3 позначено цифрою:

- а) 1      б) 2      в) 3      г) 4

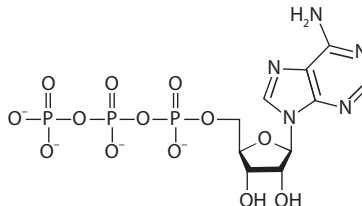
9 Структура на мал. 3 є мономером:

- а) нуклеїнової кислоти      в) білка  
б) ліпиду      г) полісахариду

10 Напишіть назви груп органічних речовин, до яких належать молекули, зображені на малюнках:



11 Розгляньте структурну формулу молекули, зображеної на малюнку. Поясніть, яким чином будова цієї молекули дозволяє їй ефективно виконувати свої функції.



12 Добудуйте комплементарний ланцюг ДНК:

АТТГАЦЦГАТТАГЦ.

13 Установіть відповідність між групами органічних речовин та речовинами, які до них належать.

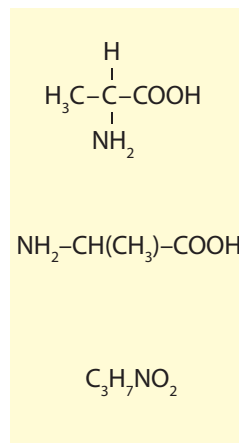
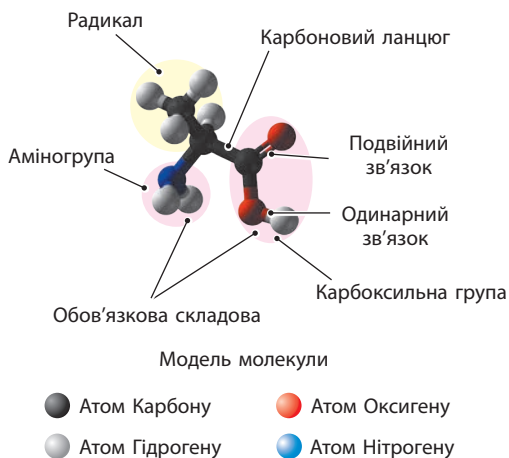
- | Групи       | Речовини       |
|-------------|----------------|
| 1 білки     | а) прогестерон |
| 2 вуглеводи | б) гемоглобін  |
| 3 ліпіди    | в) крохмаль    |
|             | г) інсулін     |
|             | д) фруктоза    |
|             | е) тестостерон |



Перевірте свої знання з теми «Хімічний склад клітини та біологічні молекули».

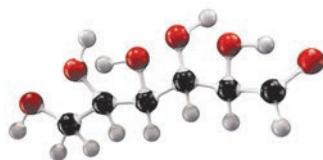
## Відомості про органічні речовини

### Структура органічної молекули на прикладі аланіну

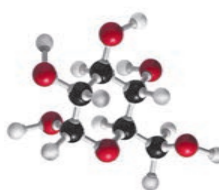


### Форми органічних молекул

Лінійна



Кільцева



### Групи органічних сполук

Білки

Вуглеводи

Ліпіди

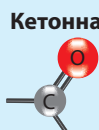
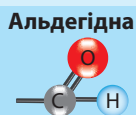
Нуклеїнові  
кислоти

### Основні функціональні групи

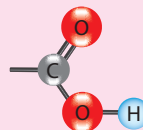
Гідроксильна



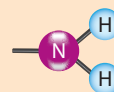
Карбонільна



Карбоксильна



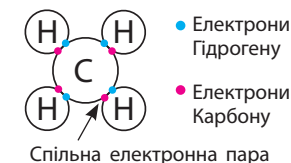
Аміногрупа



# Типи зв'язків у молекулі білка

## Ковалентні зв'язки

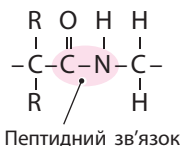
Виникають між атомами елементів у молекулі речовини за рахунок спільних електронних пар. У молекулах білків наявні пептидний і дисульфідний зв'язки. Забезпечують міцні хімічні зв'язки.



Подвійний

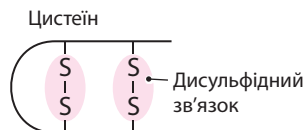


### Пептидний зв'язок



Пептидні зв'язки виникають між карбоксильною групою однієї амінокислоти ( $-\text{COOH}$ ) і аміногрупою ( $-\text{NH}_2$ ) іншої амінокислоти.

### Дисульфідний зв'язок

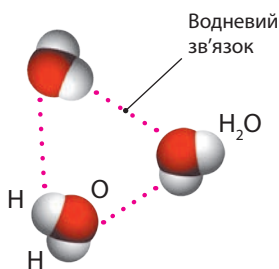


Дисульфідний зв'язок може виникати між різними ділянками одного й того самого поліпептидного ланцюга, тоді він утримує цей ланцюг у зігнутому стані. Якщо дисульфідний зв'язок виникає між двома поліпептидами, то він об'єднує їх в одну молекулу.

## Нековалентні зв'язки

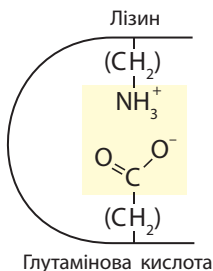
У молекулах білків наявні водневі, йонні зв'язки та гідрофобні взаємодії. Забезпечують слабкі хімічні зв'язки.

### Водневий зв'язок



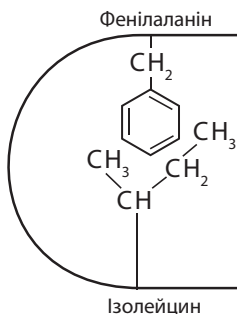
Виникає між атомами Гідрогену, що мають частково позитивний заряд, однієї функціональної групи та атомом (Оксигену, Нітрогену), що має частково негативний заряд і неподільну електронну пару, іншої функціональної групи.

### Йонний зв'язок



Виникає між позитивно й негативно зарядженими функціональними групами (додатковими карбоксильними й аміногрупами), що містяться в радикалах лізину, аргініну, гістидину, аспарагінової та глутамінової кислот.

### Гідрофобна взаємодія



Виникає в молекулі білка між радикалами гідрофобних амінокислот.



## Структура клітини

### 9 Цитологія — наука про клітини. Методи дослідження клітин



Коли ви вивчали біологію рослин і тварин, ви ознайомилися з методами, які вчені використовують для вивчення цих організмів. Пригадайте ці методи. З'ясуйте, чи є відмінності в методах вивчення рослин і тварин. Назвіть науки, які вивчають рослини і тварин. З курсу хімії 8 класу пригадайте, що таке ізотопи.

### Відкриття та перші дослідження клітин

Клітину відкрив Роберт Гук — англійський фізик, який працював в Оксфордському університеті. Він удосконалив конструкцію мікроскопа й дослідив з його допомогою різні об'єкти, зокрема кору коркового дуба. Розглядаючи корок з допомогою мікроскопа, Гук побачив комірки (це були клітинні стінки), які нагадали йому монастирські келії, і назвав їх англійським словом *cell* («камера», «клітка», «клітина»).

Свої дослідження він описав у статті 1665 р. Пізніше Гук спостерігав і описав клітини таких рослин, як бузина, кріп, морква тощо.

Наступний етап формування цитології як науки пов'язаний з голландцем Антоні ван Левенгуком (мал. 9.1), який працював наприкінці XVII — на початку XVIII ст. Він відкрив одноклітинні організми (першим побачив найпростіших), еритроцити, сперматозоїди та інші клітини.



**Роберт Гук**  
(1635–1703)



**Антоні ван Левенгук**  
(1632–1723)

Мал. 9.1. Перші дослідники клітин

## Клітинна теорія та виникнення цитології

Протягом XVIII ст. суттєвих зрушень у науці щодо дослідження клітин не відбувалося через недосконалу конструкцію мікроскопів. А от у XIX ст. ці прилади значно модернізували і до того ж винайшли методики забарвлення клітин. Це спричинило появу цілої низки відкриттів.

1827 року Карл Бер відкрив яйцеклітину ссавців. 1831 року Роберт Броун описав ядра рослинних клітин. У той самий період Маттіас Шлейден довів, що всі рослини складаються з клітин. І нарешті, 1839 року Теодор Шванн (мал. 9.2), порівнюючи клітини рослин і тварин і спираючись на висновки Шлейдена, сформулював клітинну теорію.

Основними положеннями цієї клітинної теорії були такі:

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

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

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

1859 року Рудольф Вірхов довів, що клітини виникають лише з клітин-попередників. Це все зумовило виникнення наприкінці XIX ст. окремої науки про клітини — цитології.

У XX столітті розвиток цитології тривав. Цьому сприяла поява нових методів досліджень — спочатку електронної мікроскопії, а потім центрифугування й методів молекулярної біології.

## Методи дослідження клітин

Методи дослідження клітин є тими самими, що й для інших біологічних систем. Через невеликі розміри самих клітин відрізняються тільки деякі особливості їх застосування.

Основні методи сучасної цитології:

- мікроскопія;
- забарвлення клітин;
- мікротомування;
- центрифугування;
- метод мічених атомів.



**Маттіас Шлейден**  
(1804–1881)



**Теодор Шванн**  
(1810–1882)

**Мал. 9.2.** Автори клітинної теорії



Оптичний мікроскоп

Електронний мікроскоп

Мал. 9.3. Мікроскопи



Мікротом



Центрифуга

Мал. 9.4. Прилади для дослідження клітин

Метод **мікроскопії** полягає в тому, що клітини або їхні компоненти розглядають у збільшеному вигляді за допомогою спеціальних приладів — мікроскопів. Існує два основні типи мікроскопії — оптична й електронна (мал. 9.3). В *оптичній мікроскопії* для розглядання структур клітини використовують промені світла, а в *електронній* — пучки електронів.

Існує кілька видів оптичних мікроскопів (фазово-контрастний, люмінесцентний тощо) і два види електронних мікроскопів (просвічувальний і сканувальний).

Під час використання **методу забарвлення** клітини обробляють певними речовинами — барвниками. Ці речовини реагують тільки з деякими структурами клітин і забарвлюють їх. Відтак ці структури набагато легше бачити й вивчати.

**Метод мікротомування** полягає в тому, що через клітини роблять дуже тоненькі зрізи й потім вивчають їх за допомогою мікроскопа.

Під час **центрифугування** клітини спочатку руйнують, а потім поміщають у пробірки зі спеціальним розчином і крутять на центрифугах (мал. 9.4). Під дією відцентрової сили компоненти клітини концентруються в різних місцях пробірки. Після цього їх можна вивчати окремо одне від одного.

**Метод мічених атомів** передбачає введення в живі клітини радіоактивних ізотопів певних атомів. Переміщення цих атомів у клітині можна спостерігати за допомогою спеціальних приладів. Таким чином відстежують перебіг біохімічних реакцій.

### Методи дослідження клітин

| Метод досліджень       | Прилади та засоби, які використовують                                   | Результати використання методу                                                                                                                       |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Оптична мікроскопія    | Бінокляр, фазово-контрастний, люмінесцентний мікроскопи тощо            | Метод дозволяє досліджувати форму й розміри клітин, найбільші клітинні структури, органели руху, капсули та слизові шари                             |
| Електронна мікроскопія | Трансмісійний електронний мікроскоп, сканувальний електронний мікроскоп | Метод дозволяє досліджувати ультраструктуру клітин і всі їхні органели, поверхневі структури клітин і міжклітинні контакти                           |
| Забарвлення клітин     | Барвники та фіксуючі речовини                                           | Метод дозволяє диференційно забарвлювати окремі структури або клітину в цілому для одержання якісного зображення під час мікроскопіювання            |
| Мікротомування         | Мікротом                                                                | Метод дозволяє виготовити ультратонкі препарати для їх дослідження з допомогою всіх різновидів світлового та трансмісійного електронного мікроскопів |
| Центрифугування        | Центрифуги                                                              | Метод дозволяє розділити вміст клітин на фракції за формою та розміром окремих компонентів для подальшого окремого дослідження кожної з фракцій      |
| Метод мічених атомів   | Радіоактивні ізотопи, прилади для радіоавтографії                       | Метод дозволяє відстежити шлях речовин усередині клітини, механізми обміну речовин, дослідити функції окремих органел                                |

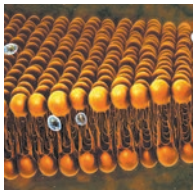


Клітини живих організмів було відкрито в XVII ст. У XIX ст. Маттіас Шлейден і Теодор Шванн сформулювали клітинну теорію. Вивченням клітин займається окрема наука — цитологія. Основними методами вивчення клітин є мікроскопія (оптична й електронна), забарвлення клітин, мікротомування, центрифугування та метод мічених атомів.

### Перевірте свої знання

1. Коли було відкрито клітини? Хто зробив це відкриття? 2. Які методи використовують для дослідження клітин? 3. Які історичні етапи дослідження клітин ви можете виділити? 4. Порівняйте оптичну й електронну мікроскопію. Поясніть, які переваги й недоліки вони мають. 5\*. Якщо вам доведеться вивчати ядра клітин у різних організмів, які методи ви будете використовувати?

# 10 Структура клітини. Клітинні мембрани



*Повторіть матеріал попередньої теми й поясніть, які органічні речовини становлять основу біологічних мембран. Пригадайте, які властивості притаманні ліпідам. Яких ліпідів у клітинних мембранах найбільше?*

## Клітинні мембрани

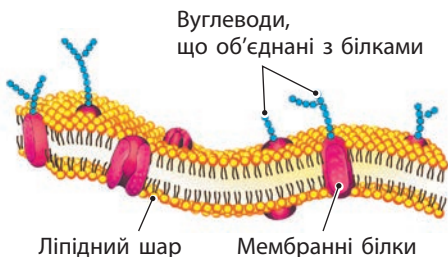
**Клітинні мембрани** — це структури, які оточують клітину й формують усередині неї ряд органел. Це так звані **мембранні органи** — ядро, мітохондрії, вакуолі тощо. Мембрани утворені двома шарами ліпідів, у яких розташовані молекули білків. Білки й ліпіди мембран часто можуть приєднувати до себе молекули вуглеводів, утворюючи глікопротеїди і гліколіпіди (мал. 10.1). Унаслідок рідино-подібності ліпідів, що утворюють мембрану, занурені в ліпідний шар протеїни є досить рухливими. Тому модель, яка описує будову мембрани, називають *рідинно-мозаїчною*.

## Функції мембран

Найважливішими функціями біологічних мембран є бар'єрна, рецепторна й транспортна. Мембрани є бар'єрами з вибірковою проникністю, які регулюють обмін речовин між клітиною й навколишнім середовищем, а також між окремими компонентами всередині клітини. Бар'єрні функції мембран виконують, у першу чергу, ліпіди. Саме вони утворюють основу біологічної мембрани.

Рецепторну функцію виконує надмембранний комплекс. І в першу чергу, це глікопротеїди, які утворюють структури, що розташовані на поверхні мембрани.

Мембрани відіграють важливу роль в обміні речовин між клітиною та навколишнім середовищем і забезпечують міжклітинні взаємодії. Саме вони передають сигнали із зовнішнього середовища всередину клітин.



**Мал. 10.1.** Будова клітинної мембрани

Мембрани виконують також структурну, захисну й ферментативну функції. Вони надають клітинам певної форми, захищають їх від пошкоджень і об'єднують окремі клітини тканин в одне ціле. Ферменти, які розташовуються на поверхні мембран, забезпечують виконання ферментативної функції. Наприклад, під час травлення в кишечнику людини.

### Транспорт речовин через мембрани

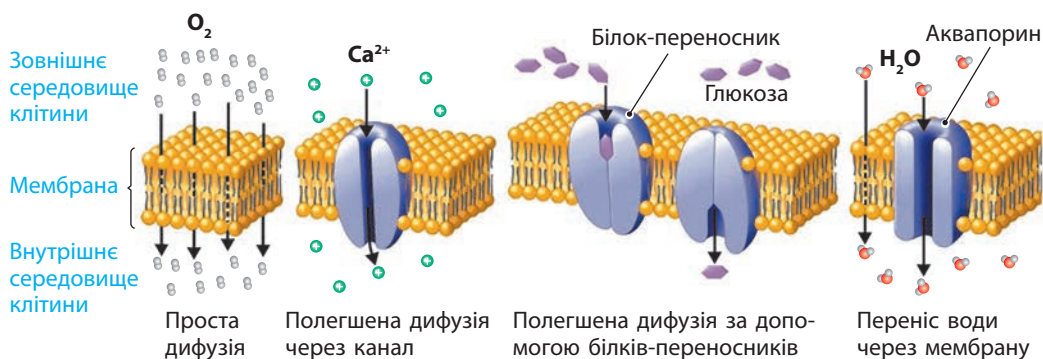
Транспортна функція мембран є надзвичайно важливою для життєдіяльності клітини. Найбільше значення для її здійснення мають білки. Вони можуть утворювати в мембрані наскрізні канали або транспортувати деякі речовини у зв'язаному вигляді, утворюючи з ними тимчасові сполуки.

Транспортування речовин через мембрану може відбуватися або без витрат енергії клітинами (пасивний транспорт), або з витратами (активний транспорт). Пасивний транспорт здійснюється із зони з високою концентрацією речовини в зону з її низькою концентрацією. А активний транспорт, навпаки, — із зони з низькою концентрацією в зону з високою концентрацією.

Через мембрану транспортуються як великі, так і малі молекули речовин. Переміщення малих молекул відбувається за допомогою простої дифузії, полегшеної дифузії, активного транспорту, а великих — завдяки екто- та ендоцитозу.

### Пасивний транспорт

Шляхом **простої дифузії** здійснюється тільки пасивний транспорт речовин (кисень, вуглекислий газ). А шляхом полегшеної дифузії може здійснюватися як пасивний, так і активний транспорт. **Полегшена дифузія** може здійснюватися через спеціальні канали, розташовані



Мал. 10.2. Транспорт речовин через мембрану

всередині великих молекул білка. Її можуть здійснювати також спеціальні білки-переносники. Так транспортуються малі органічні молекули (глюкоза, деякі амінокислоти тощо).

Надзвичайно важливим для клітин є транспорт молекул води через мембрани. Його особливістю є те, що переносити через мембрану треба тільки молекули води, перешкоджаючи перенесенню розчинених у ній речовин. Цей процес здійснюють спеціальні мембранні білки *аквапорини* (мал. 10.2).

### Активний транспорт

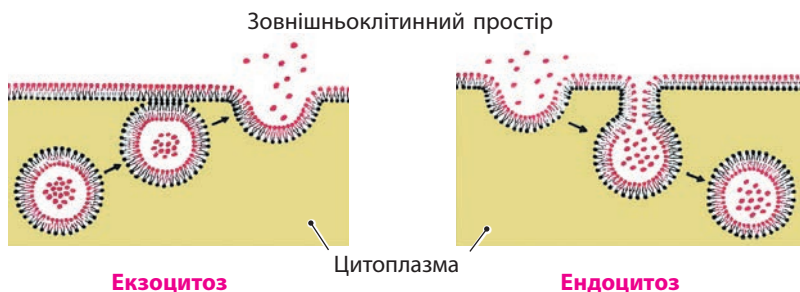
Активний транспорт через клітинну мембрану здійснюється з допомогою спеціальних білкових комплексів або у формі екзо- чи ендоцитозу. Так переміщуються йони та великі молекули, для яких мембрана є непроникною.

Мембранний транспорт до клітини називається **ендоцитозом**. Мембранний транспорт із клітини — **екзоцитозом** (мал. 10.3). Транспорт твердих частинок — це *фагоцитоз*, а транспорт рідких речовин і крапель — *піноцитоз*.

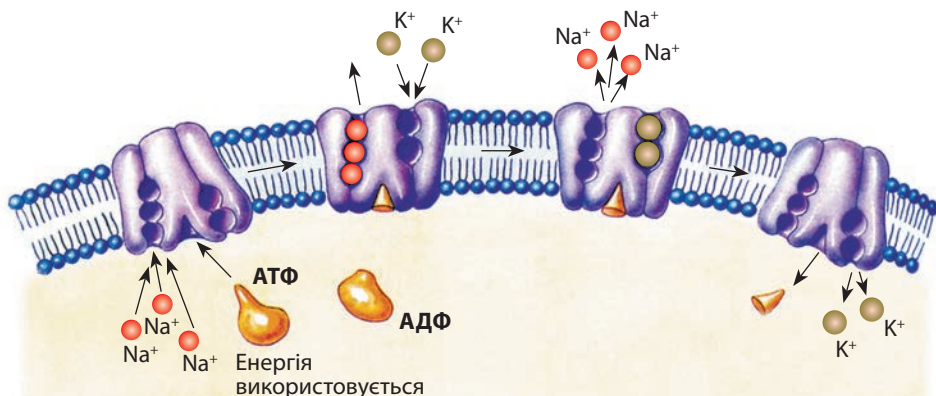
Прикладом активного транспорту речовин через мембрану клітини є робота *натрій-калієвого насосу*. Клітині для нормального функціонування необхідно підтримувати певне співвідношення йонів  $\text{Na}^+$  і  $\text{K}^+$  у її цитоплазмі та позаклітинному середовищі.

Перенесення йонів  $\text{Na}^+$  і  $\text{K}^+$  здійснюється білком, який розташований у клітинній мембрані. Цей білок перекачує йони  $\text{Na}^+$  з клітини, йони  $\text{K}^+$  — у клітину. Перенесення цих йонів відбувається із зони з низькою концентрацією йонів у зону з високою їх концентрацією (йонів  $\text{K}^+$  більше в клітині, а йонів  $\text{Na}^+$  — поза клітиною). Для здійснення цього процесу використовується енергія молекул АТФ.

За один цикл роботи насос викачує з клітини  $3\text{Na}^+$  та закачує  $2\text{K}^+$  (мал. 10.4). Тому на зовнішньому боці мембрани накопичується

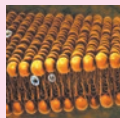


Мал. 10.3. Схема екзо- та ендоцитозу



Мал. 10.4. Схема роботи натрій-калієвого насосу

надлишок позитивних йонів. Це створює різницю потенціалів між зовнішнім і внутрішнім боками мембрани. Цю різницю як джерело енергії використовують багато інших білкових комплексів для переносу різних речовин через мембрану.

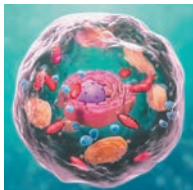


Клітинні мембрани — це структури, які оточують клітину й формують усередині неї ряд органел. До їхнього складу входять ліпіди, білки й вуглеводи. Ліпіди утворюють подвійний шар. У кожному із шарів гідрофільні частини ліпідних молекул орієнтовані назовні, а гідрофобні — всередину. Білкові комплекси у складі мембрани можуть пронизувати її наскрізь. Вони можуть розміщуватися також і в межах одного шару ліпідів або навіть зовні від мембрани. Склад зовнішнього і внутрішнього шарів ліпідів може відрізнятися. Основними функціями мембран є бар'єрна, транспортна й рецепторна.

### Перевірте свої знання

1. Що таке мембрана? Які об'єкти вона оточує? 2. Яку будову має клітинна мембрана? 3. Які речовини входять до складу мембран? 4. Які функції виконують клітинні мембрани? 5. Чому деякі речовини не можуть проникати через мембрану шляхом простої дифузії? 6\*. Які властивості фосфоліпідів зумовили те, що вони стали основою клітинних мембран? 7\*. Чому для різних речовин клітини використовують різні механізми їх транспорту через мембрану?

# 11 Цитоплазма, цитоскелет та немембранні органели



Повторіть матеріали курсу біології 6 класу. З якими органелами клітин ви тоді познайомилися? Пригадайте, які особливості будови клітин притаманні прокаріотам (на прикладі бактерій) та еукаріотам (на прикладі рослин). Які органели є однаковими у прокаріотів та еукаріотів?

## Цитоплазма та органели

**Цитоплазма** являє собою основний вміст клітин. До її складу входять цитозоль, цитоскелет, органели і включення.

**Цитозоль** є напіврідкою субстанцією, щільність якої може змінюватися в досить широких межах. Він забезпечує взаємозв'язок усіх компонентів клітини. Крім того, у ньому відбуваються важливі біохімічні реакції.

**Органелами** називають структури у складі клітин живих організмів, які мають характерну будову й виконують певні функції. Більшість із них існує в клітинах постійно, а деякі органели можуть на певний час зникати, а потім знову утворюватися. Органели поділяють на дві великі групи — мембранні й немембранні (мал. 11.1). Мембранні органели відокремлені від інших частин клітини плазматичними мембранами, які їх вкривають.

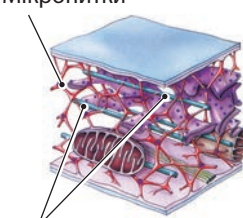
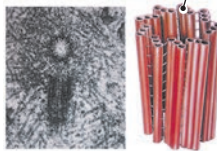
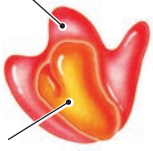


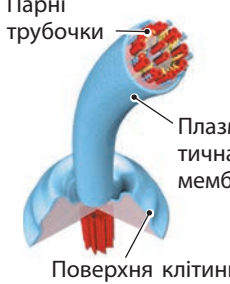
Мал. 11.1. Клітинні органели

## Немембранні органели

Немембранні органели не мають у своїй структурі плазматичних мембран. Їхня форма та будова дуже різноманітні.

### Немембранні органели

| Органела        | Особливості будови                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Функції                                                                                                                                                                                  |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Цитоскелет      | <p><b>Мікронитки</b></p>  <p><b>Мікротрубочки</b></p> <p>Це система мікрониток і мікротрубочок, утворених спеціальними білками. Значна частина цитоскелета утворена мікротрубочками з білка тубуліну й мікронитками з білка актину</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Мікронитки й мікротрубочки утворюють каркас клітини й забезпечують підтримання її форми. За допомогою цитоскелета здійснюється транспорт речовин і переміщення органел усередині клітини |
| Клітинний центр | <p><b>Мікротрубочки</b></p>  <p><b>Центріоля</b></p> <p>Складається з комплексу білкових субодиниць. Може містити центріолі. Центріолі мають форму порожнього циліндра завдовжки 0,3–0,5 мкм і діаметром 0,15 мкм</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Клітинний центр відіграє важливу роль у поділі клітин тварин та деяких рослин                                                                                                            |
| Рибосоми        | <p><b>Велика субодиниця</b></p>  <p><b>Мала субодиниця</b></p>  <p><b>Рибосоми на молекулі РНК</b></p> <p>Мають складну форму і складаються з двох частин (субодиниць) — великої та малої. Ці субодиниці можуть розпадатися й об'єднуватися знову. До складу субодиниць входять молекули РНК і білків. У цитоплазмі еукаріотичних клітин розташовані рибосоми еукаріотичного типу, а в мітохондріях, пластидах і цитоплазмі прокаріотичних клітин — рибосоми прокаріотичного типу. Ці типи рибосом відрізняються за деякими РНК і білками, які входять до їхнього складу</p> | Синтезують білки з амінокислот                                                                                                                                                           |

| Органела                              | Особливості будови                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Функції                                |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Бактеріальні джгутики                 |  <p>Нитка джгутика<br/>Клітинна мембрана<br/>Молекулярний мотор</p> <p>Наявні в клітинах прокаріотичних організмів. Вони являють собою просту нитку, утворену з молекул білка. Вона закріплена на поверхні клітини спеціальним складним білковим комплексом, який забезпечує її обертання</p>                            | Забезпечують рух прокаріотичних клітин |
| Джгутики й війки еукаріотичних клітин |  <p>Парні трубочки<br/>Плазматична мембрана<br/>Поверхня клітини</p> <p>Наявні в клітинах еукаріотичних організмів. Являють собою порожнисті трубочки, вздовж внутрішньої поверхні яких розташовано дев'ять пар мікротрубочок. І ще дві мікротрубочки є в середній частині. Ззовні вкриті цитоплазматичною мембраною</p> | Забезпечують рух еукаріотичних клітин  |

### Внутрішньоклітинні рухи

Між різними частинами клітини завжди існує обмін речовинами, які там утворюються, й органели клітин досить часто потрібно переміщувати в інші частини клітини. Наприклад, щоб хлоропласти краще освітлювалися променями сонця. Це забезпечують два механізми внутрішньоклітинних рухів. Перший здійснюється за рахунок змін щільності цитозолу й перетікання більш рідкої речовини в потрібне місце. Другий відбувається шляхом перетягування органел або пухирців з потрібними речовинами вздовж мікротрубочок спеціальними білками.

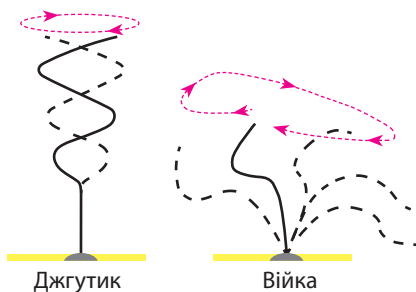
### Війки і джгутики. Забезпечення руху клітин

Джгутики й війки еукаріотичних клітин мають набагато складнішу будову, ніж джгутики бактерій. Рух війок та джгутиків забезпечується за рахунок взаємодії їх внутрішніх структур. Війки та джгутики можуть мати різний характер руху (мал. 11.2). Траєкторія руху цих структур у різних організмів може бути, наприклад, ма-

ятникоподібною, крюкоподібною, лійкоподібною або хвилеподібною. Під час руху їхня довжина не змінюється, а сам рух забезпечується за рахунок їхнього вигину (подібно до биття батога).



Еукаріотичні рибосоми містять чотири типи РНК і близько ста білків. Прокаріотичні — три типи РНК і кількість білків, меншу, ніж в еукаріотичних рибосом.



Мал. 11.2. Рух війок і джгутиків

Джгутики або війки є органелами, які трапляються у більшості еукаріотичних клітин. Але існують еукаріоти, для яких такі органели не є властивими. Так, червоні водорості, які є однією з найбільших і найдавніших груп водоростей, не мають джгутиків або війок на жодній зі стадій свого життєвого циклу.

Кількість джгутиків у різних видів бактерій може бути різною. Так, холерний вібріон має лише один джгутик, а у кишкової палички вони розташовані по всій поверхні клітини.



Цитоплазма становить основу всіх клітин. Її складовими є цитозоль, органели і клітинні включення. Цитозоль — це напіврідка речовина, яка заповнює клітину й може змінювати свою в'язкість. У цитозолі розташовані мембранні й немембранні органели. Немембранними органелами є цитоскелет, рибосоми, війки та джгутики. Вони забезпечують синтез білка, рух структур усередині клітини, а також самих клітин.

### Перевірте свої знання

1. Які компоненти входять до складу цитоплазми? 2. Що таке органели? 3. Які існують немембранні органели й чим вони відрізняються від мембранних органел? 4. Які органели забезпечують синтез білків? 5. Навіщо клітинам потрібен цитоскелет? 6. Яка органела відіграє важливу роль у поділі тваринних клітин? 7. Порівняйте джгутики прокаріотичних та еукаріотичних клітин. 8. Поясніть, якими способами можуть здійснюватися внутрішньоклітинні рухи. 9\*. Навіщо клітинам потрібні джгутики й війки? Поясніть на конкретних прикладах.

# 12

## Мембранні органели



*Рослини здатні утворювати органічні речовини з неорганічних завдяки процесу фотосинтезу. У яких органелах рослинних клітин відбувається цей процес? З якими різновидами цих органел ви ознайомилися під час вивчення біології рослин?*

### Різноманітність мембранних органел

Як ви вже знаєте, органели клітин поділяють на дві великі групи — мембранні й немембранні. Мембранні органели відокремлені від інших частин клітини мембраною, яка їх вкриває. Ця мембрана зазвичай може бути одинарною або подвійною. За цією ознакою органели поділяють на одномембранні й двомембранні.

Двомембранними органелами є ядра, мітохондрії та пластиди. До одномембранних органел належать ендоплазматична сітка, апарат (комплекс) Гольджі, вакуолі, лізосоми і мікротільця (пероксисоми).

Усі ці органели наявні тільки в клітинах еукаріотів. Прокаріотичні організми мембранних органел не мають.

Наявність мембранних органел дозволяє поділити внутрішній простір клітини на окремі об'єми — *компартменти*. В середині кожного з цих компартментів клітина може створювати певні умови (меншу або більшу рН, знижену або підвищену концентрацію певних йонів тощо). Завдяки цьому в різних органелах можуть відбуватися реакції, які б заважали одна одній у випадку їх перебігу в одному об'ємі.

Мембрани органел також можуть утворювати складчасті структури. Це збільшує їхню площу й дозволяє розміщувати велику кількість ферментних систем у певному порядку, що полегшує перебіг біохімічних процесів.

### Двомембранні органели

Двомембранні органели (ядра, мітохондрії та пластиди) мають дві мембрани — зовнішню і внутрішню. Внутрішня мембрана може утворювати складки. Ці органели містять у своєму складі молекули ДНК.

Нові мітохондрії та пластиди утворюються тільки шляхом поділу старих мітохондрій або пластид. Ядро й усі одномембранні органели клітина може формувати у своїй цитоплазмі самостійно.

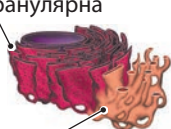
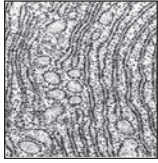
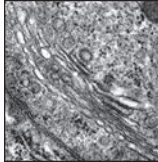
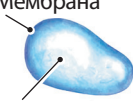
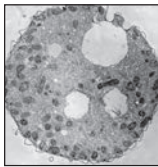
## Двомембранні органели

| Органела    | Особливості будови                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Функції                                                                                                                                                             |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ядро        | <p>Ядерна мембрана    Ядерце</p> <p>Каріоплазма</p> <p>Форма ядра частіше за все сферична або еліпсоподібна, але трапляються і ядра неправильної форми. Ядерна оболонка в багатьох місцях пронизана порами. Велика кількість таких пор у мембрані дозволяє легко здійснювати обмін інформацією між ядром і цитоплазмою. Усередині ядра розташовані каріоплазма, хроматин і ядерце. Каріоплазма є напівпрозорим внутрішнім середовищем, у якому відбуваються всі біохімічні реакції. Під час поділу клітин з хроматину формуються паличкоподібні структури — хромосоми</p>            | Відповідає за збереження, відтворення й реалізацію спадкової інформації. Керує всіма процесами в клітині. Ядерце є місцем утворення рибосом                         |
| Мітохондрії | <p>Зовнішня мембрана    Кристи</p> <p>Внутрішня мембрана</p> <p>Внутрішня мембрана мітохондрій утворює вирости — кристи. Така будова мембрани дозволяє розмістити на ній багато білкових комплексів, які здійснюють процеси біологічного окиснення. Зовнішня мембрана гладенька. Внутрішнє середовище мітохондрій називається матриксом. Містять рибосоми прокаріотичного типу. У матриксі містяться кільцеві молекули мітохондріальної ДНК</p>                                                                                                                                      | Виробляють енергію в результаті процесів біологічного окиснення                                                                                                     |
| Пластиди    | <p>Зовнішня мембрана    Тилакоїди</p> <p>Внутрішня мембрана</p> <p>Внутрішня мембрана може утворювати відокремлені від неї структури у вигляді сплюснених мішечків — тилакоїдів. Така будова мембрани дозволяє розмістити багато білкових комплексів, які здійснюють процеси фотосинтезу. Зовнішня мембрана гладенька. Внутрішнє середовище пластид називається строю. Містять рибосоми прокаріотичного типу. У строї містяться кільцеві молекули ДНК. За забарвленням розрізняють зелені (хлоропласти), жовто-помаранчеві або червоні (хромопласти) і знебарвлені (лейкопласти)</p> | Здійснюють процес фотосинтезу. Синтезують ряд необхідних для цього процесу білків. Можуть забезпечувати забарвлення органів рослин і накопичувати резервні речовини |

## Одномембранні органели

До одномембраних органел належать ендоплазматична сітка, комплекс (апарат) Гольджі, вакуоль і лізосома. Вони вкриті однією мембраною, яка відокремлює їхній вміст від клітинного середовища.

### Одномембранні органели

| Органела                  | Особливості будови                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Функції                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ендоплазматична сітка     | <p><b>Гранулярна</b></p>  <p><b>Агранулярна</b></p>  <p>Складається із системи дрібних вакуолей і каналців, які з'єднані між собою. Розрізняють два основні типи ендоплазматичної сітки — агранулярну (гладеньку) і гранулярну (шорстку). На мембранах гранулярної ендоплазматичної сітки розташовані рибосоми</p> | Агранулярна ендоплазматична сітка здійснює синтез ліпідів і деяких полісахаридів. Основна функція гранулярної ендоплазматичної сітки — синтез білків. Крім того, вона бере участь у транспорті білків у клітині                                                                                                  |
| Комплекс (апарат) Гольджі | <p><b>Діктіосома</b></p>   <p>Утворений системою діктіосом. Діктіосоми мають вигляд стовпчиків із 5–20 плоских мембраних мішечків (цистерн), які розподілені в цитоплазмі окремо або з'єднуються в одну структуру</p>                                                                                             | Відповідає за модифікацію білків, упаковування синтезованих продуктів у гранули, синтез деяких полісахаридів, формування клітинної мембрани, транспорт речовин, синтезованих у клітині, за її межі                                                                                                               |
| Вакуоля                   | <p><b>Мембрана</b></p>  <p><b>Внутрішньоклітинний сік</b></p>  <p>Має вигляд порожнин, розташованих у цитоплазмі, обмежених мембраною й заповнених рідиною</p>                                                                                                                                                 | Залежно від складу рідини, яка її заповнює, виконує різні функції. Травні вакуолі гетеротрофів відповідають за травлення їжі. Вакуолі автотрофів накопичують продукти життєдіяльності, беруть участь у регуляції водно-сольового обміну, підтриманні тургорного тиску в клітинах і накопиченні резервних речовин |

| Органела | Особливості будови                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Функції                                                                                                                                   |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лізосома | <p>Має вигляд пухирця, який оточений оди-<br/>нарною мембраною.<br/>Містить набір фермен-<br/>тів. Апарат Гольджі<br/>синтезує первинні лі-<br/>зосоми. Після їх злиття<br/>з травними вакуолями<br/>або зі структурами<br/>клітини, які треба зруй-<br/>нувати, утворюються<br/>вторинні лізосоми,<br/>які й здійснюють<br/>руйнування структур</p>  | <p>Беруть участь у роботі травних<br/>вакуолей. Руйнують клітинні<br/>структури після закінчення тер-<br/>міну їхнього функціонування</p> |



Хлоропласти деяких водоростей мають не дві, а три й навіть чотири мембрани!



Мембранні органели клітин поділяються на одномембранні й двомембранні. Цей поділ здійснюється залежно від того, скільки мембран оточує органелу. Двомембранними органелами є ядра, мітохондрії та пластиди.

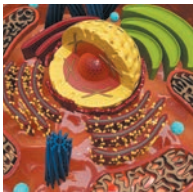
До одномембранних органел належать ендоплазматична сітка, комплекс (апарат) Гольджі, вакуолі й лізосоми.

### Перевірте свої знання

1. Які органели називають мембранними? На які групи поділяють мембранні органели? 2. Які існують двомембранні органели? 3. Які існують одномембранні органели? 4. Які органели здійснюють процес фотосинтезу? 5. Навіщо клітинам потрібен комплекс Гольджі? 6. Клітини слинних залоз у ссавців містять добре розвинений комплекс Гольджі, а в клітинах м'язової тканини він розвинений набагато менше. З чим це може бути пов'язано? 7\*. У різних клітинах тіла людини розвиток ендоплазматичної сітки може значно відрізнятись. Із чим це може бути пов'язано? 8\*. Чому в лізосомах ферменти відразу після їх утворення не є активними?

# 13

## Різноманітність клітин



*Вивчаючи курс біології, ви вже ознайомилися з двома основними типами клітин живих організмів. Поясніть, які особливості притаманні цим типам клітин, на прикладі одноклітинних живих організмів.*

### Типи організації клітин

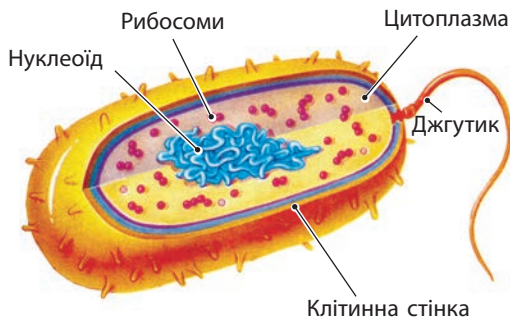
Усі живі організми, які мають клітинну будову, можна поділити на прокаріотичні (прокаріоти) та еукаріотичні (еукаріоти). До прокаріотів належать бактерії, до еукаріотів — рослини, тварини й гриби. Їхні клітини мають різну організацію. Розрізняють, відповідно, два типи клітинної організації: прокаріотичний та еукаріотичний.

Характерною ознакою, що відрізняє клітини прокаріотичного типу від еукаріотичних, є відсутність у їхніх клітинах ядра. Крім того клітини прокаріотів та еукаріотів відрізняються наявністю чи відсутністю в їхній будові певних органел. А це, у свою чергу, визначає особливості їх функціонування та розмноження.

### Прокаріотичні клітини

Прокаріотичні клітини складаються з поверхневого апарата та цитоплазми (мал. 13.1). До складу поверхневого апарата зазвичай входять плазматична мембрана і клітинна стінка, що містить речовину муреїн. Але в деяких прокаріотичних організмів клітинна стінка може бути відсутньою. Як додаткові елементи до поверхневого апарата у прокаріотів можуть входити бактеріальні джгутики, слизові капсули та різноманітні вирости плазматичної мембрани.

Цитоплазма прокаріотів представлена напіврідким цитозолем, у якому розташовані рибосоми, та нуклеоїдом (кільцевою молекулою ДНК). Мембранні органели в цитоплазмі відсутні, але плазматична



**Мал. 13.1.** Будова прокаріотичної клітини

мембрана клітини може утворювати впинання, які виконують різноманітні функції. Наприклад, у клітинах ціанобактерій мембрана утворює такі впинання, як тилакоїди. Вони відіграють провідну роль у процесах фотосинтезу, які здійснює клітина. Цитоскелет не такий розвинений, як у еукаріотів. Середній розмір клітин прокаріотів — від 0,1 до 10 мкм.

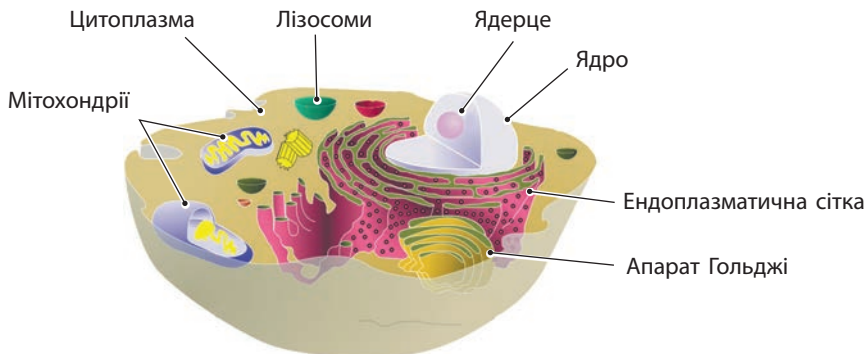
### Еукаріотичні клітини

На відміну від прокаріотів, еукаріотичні організми мають складну структуру клітин (мал. 13.2). Їхній поверхневий апарат, крім плазматичної мембрани (плазмалема), містить надмембранний та підмембранний комплекси. Підмембранний комплекс формується елементами цитоскелета.

Деякі групи еукаріотів (рослини, гриби) мають клітинні стінки. В еукаріотичних організмів також є поверхневі структури, які забезпечують рух клітин — джгутики й війки, що мають складну внутрішню будову й не є результатом розвитку прокаріотичних джгутиків. Крім того, деякі еукаріотичні клітини можуть здійснювати амебоїдний рух.

Внутрішня складова клітини еукаріотів містить структури, відсутні у прокаріотичних організмів. Це одномембранні та двомембранні органели. Цитоскелет в еукаріотичних клітин має більш складну будову.

Складна внутрішня структура клітини, наявність цитоскелета, ядра й мембранних органел дозволяють еукаріотичним клітинам досягати набагато більших розмірів. Середній розмір клітин еукаріотів — близько 50 мкм. Крім того, вони набули здатності утворювати стійкі комплекси клітин, різні клітини яких можуть виконувати різні



Мал. 13.2. Будова еукаріотичної клітини

функції. Це призвело до виникнення справжньої багатоклітинності й появи великих за розмірами організмів — тварин, рослин і грибів.

### Різноманітність еукаріотичних клітин

Еукаріотичні клітини мають дуже різноманітну будову. Їхні особливості можна розглянути на прикладі клітин тварин, рослин і грибів. Пристосування до способу життя та способів живлення цих організмів суттєво впливають на будову їхніх клітин. Так, рослини і гриби ведуть порівняно малорухомий спосіб життя. Вони зазвичай переміщуються на стадії спор та насінин або здійснюють ростові рухи (ростуть у потрібну їм сторону). Тому наявність клітинної стінки не заважає їхнім рухам. А от додатковий захист від пошкоджень вона надає. У той самий час тварини — переважно досить рухливі живі організми. І зайва вага клітинної стінки їм тільки заважатиме під час пересування. Та й рухи вона суттєво обмежує.

#### Особливості будови клітин різних груп еукаріотів

| Органели і структури   | Рослини                                                                   | Гриби                                                                 | Тварини                                                                                                 |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Надмембранний комплекс | Представлений клітинною стінкою (містить целюлозу)                        | Представлений клітинною стінкою (містить хітин або інші полісахариди) | Представлений глікокаліксом (містить полісахариди та білки)                                             |
| Ядро                   | Зазвичай одне                                                             | Одне, два (найчастіше) або багато ядер                                | Зазвичай одне                                                                                           |
| Вакуолі                | Часто добре розвинені й досягають великих розмірів, містять клітинний сік | Наявні                                                                | Великі вакуолі відсутні, дрібні можуть бути травними або скоротливими чи виконувати транспортні функції |
| Клітинний центр        | У більшості випадків відсутній                                            | У більшості випадків відсутній                                        | Наявний                                                                                                 |
| Пластиди               | Наявні                                                                    | Немає                                                                 | Немає                                                                                                   |
| Мітохондрії            | Наявні                                                                    | Наявні                                                                | Наявні                                                                                                  |
| Лізосоми               | У більшості випадків немає                                                | Наявні                                                                | Наявні                                                                                                  |
| Ендоплазматична сітка  | Наявна                                                                    | Наявна                                                                | Наявна                                                                                                  |
| Комплекс Гольджі       | Наявний                                                                   | Наявний                                                               | Наявний                                                                                                 |

## Характерні особливості клітин рослин

Особливостями рослинних клітин є наявність клітинної стінки та пластид. Деякі групи водоростей мають специфічну будову пластид та деяких інших компонентів клітини. Але всі вищі наземні рослини й зелені водорості за будовою своїх клітин відрізняються несуттєво.

## Характерні особливості клітин тварин

Клітини тварин не мають клітинної стінки і пластид. Вакуолі в них дрібні й зазвичай великих розмірів не досягають. Але можуть розвиватися спеціалізовані вакуолі, наприклад скоротливі. Деякі клітини тварин можуть легко змінювати свою форму й рухатися за допомогою псевдоподій, як амеби. Прикладом таких клітин є лейкоцити людини.

## Особливості клітин грибів

Клітини грибів, як і рослин, мають клітинну стінку. У більшості випадків основу стінки становить хітин. Хоча можуть траплятися й інші полісахариди. Ендоплазматична сітка в клітинах грибів часто розвинена менше, ніж у тварин.



Виділяють два основні типи клітин живих організмів — прокаріотичні та еукаріотичні. Прокаріотичні клітини не містять ядра та мембранних органел. Еукаріотичні клітини відзначаються великим різноманіттям своєї будови. Клітини грибів і рослин мають клітинну стінку, а в клітинах тварин її немає. В той же час пластиди відсутні в клітинах грибів і тварин, але є в клітинах рослин.

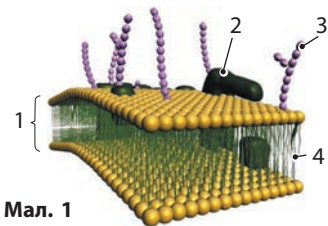
## Перевірте свої знання

1. Які типи організації клітин існують? Чим вони відрізняються між собою? 2. Які спільні особливості будови мають прокаріотичні та еукаріотичні клітини? 3. Які проблеми створила б наявність клітинної стінки для клітин тварин? 4. Порівняйте транспорт речовин усередині клітин прокаріотів та еукаріотів. 5\*. Спираючись на особливості будови клітин, доведіть єдність органічного світу. 6\*. Чому клітину можна назвати елементарною одиницею живих систем? 7\*. Різноманітність типів клітин у грибів є меншою, ніж у тварин та рослин. З чим це може бути пов'язано? Відповідь обґрунтуйте.

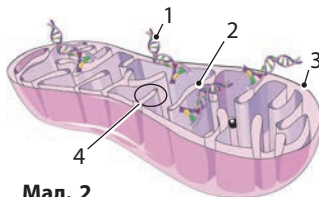
## Узагальнюючі завдання до теми «Структура клітин»

У завданнях 1–9 оберіть одну правильну відповідь.

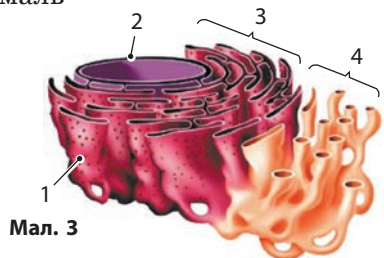
- 1) Зображена на мал. 1 структура НЕ виконує функцію:
- а) транспортну
  - б) бар'єрну
  - в) рецепторну
  - г) запасуючу
- 2) Цифрою 1 на мал. 1 позначено:
- а) глікокалікс
  - б) шар ліпідів
  - в) молекулу білка
  - г) підмембранний комплекс
- 3) Гліколіпід на мал. 1 позначено цифрою:
- а) 1
  - б) 2
  - в) 3
  - г) 4
- 4) Кількість ліпідних шарів у клітинній мембрані:
- а) 1
  - б) 2
  - в) 3
  - г) 4
- 5) Зображена на мал. 2 структура виконує таку функцію:
- а) виробляє енергію
  - б) руйнує старі структури в клітині
  - в) запасує крохмаль
  - г) здійснює фотосинтез
- 6) Цифрою 3 на мал. 2 позначено:
- а) кристу
  - б) грану
  - в) зовнішню мембрану
  - г) клітинну стінку
- 7) Внутрішню мембрану на мал. 2 позначено цифрою:
- а) 1
  - б) 2
  - в) 3
  - г) 4
- 8) У структурі, зображеній на мал. 2, синтезується:
- а) целюлоза
  - б) хітин
  - в) АТФ
  - г) крохмаль



Мал. 1



Мал. 2



Мал. 3

**9** Зображена на мал. 3 структура виконує синтез:

- а) ДНК  
б) АТФ  
в) РНК  
г) ліпідів

**10** Цифрою 2 на мал. 3 позначено:

- а) тилакоїд  
б) комплекс Гольджі  
в) ядерну мембрану  
г) гладеньку ендоплазматичну сітку

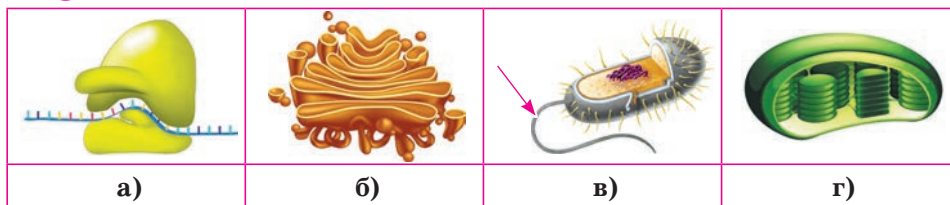
**11** Гранулярну ендоплазматичну сітку на мал. 3 позначено цифрою:

- a) 1                      б) 2                      в) 3                      г) 4**

**12** Зображена на мал. 3 структура:

- а) не містить рибосом
- б) містить рибосоми тільки на агранулярній частині
- в) містить рибосоми тільки на гранулярній частині
- г) містить рибосоми на всіх своїх частинах

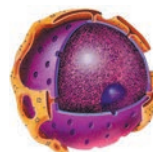
**13** Напишіть назви органел, зображених на малюнках.



**14** Розгляньте зображену на малюнку органелу. Поясніть, яким чином будова цієї органели дозволяє їй ефективно виконувати свої функції.



**15** Розгляньте зображену на малюнку органелу. Поясніть, яким чином будова цієї органели дозволяє їй ефективно виконувати свої функції.

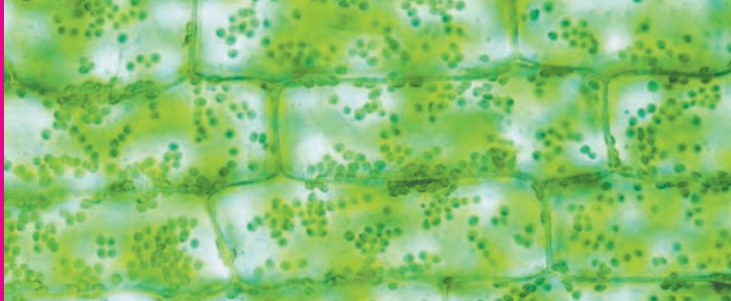


**16** Установіть відповідність між групами органел та органелами, які до них належать.

| Групи органел   | Органели       |
|-----------------|----------------|
| 1 немембранні   | а) вакуоль     |
| 2 одномембранні | б) джгутик     |
| 3 двомембранні  | в) мітохондрія |
|                 | г) війка       |
|                 | д) ядро        |
|                 | е) лізосома    |

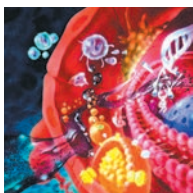
 Перевірте свої знання з теми «Структура клітин».

## Тема 3



# Принципи функціонування клітини

## 14 Обмін речовин та енергії

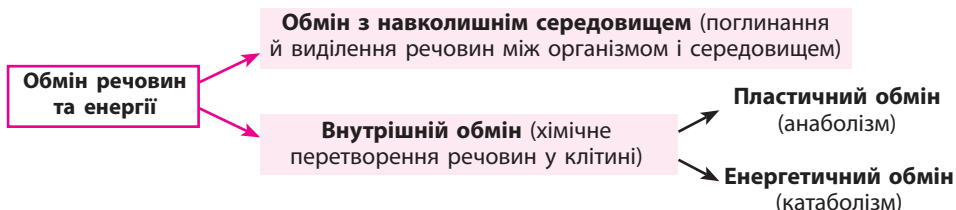


*Повторіть визначення системи, яке ви вивчали раніше. Пригадайте, чому живі організми можна вважати системами. Повторіть те, що ви вчили про обмін речовин в організмі людини.*

### Обмін речовин. Типи обміну

Клітина є одним цілим, біологічною системою, елементи якої об'єднано спільним обміном речовин і перетворенням енергії. **Обмін речовин** — це сукупність хімічних реакцій, які відбуваються в клітинах і потрібні для підтримання життя. Обмін речовин у клітині можна умовно поділити на два етапи — обмін із навколишнім середовищем і внутрішній обмін, або метаболізм (мал. 14.1). Під час обміну з навколишнім середовищем рослини, наприклад, поглинають воду, вуглекислий газ, мінеральні речовини тощо, а виділяють кисень, воду та інші речовини.

Метаболізм можна визначити як закономірний порядок перетворення речовин та енергії в клітині, спрямований на її ріст, життєдіяльність та самовідтворення. Метаболізм будь-якої клітини складається з двох типів обміну або взаємопов'язаних комплексів реакцій. Це реакції пластичного (анаболізм) та енергетичного (катаболізм) обміну.



Мал. 14.1. Схема обміну речовин та енергії в живих організмах

## Особливості пластичного та енергетичного обміну

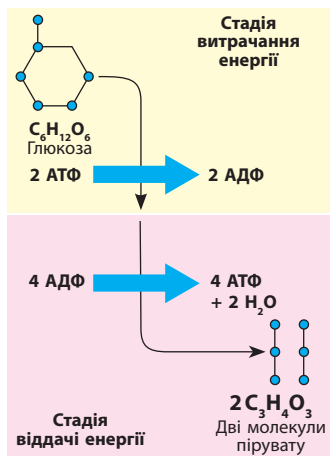
| Тип обміну                            | Пластичний (анаболізм)                                                                                                                                                                                                                              | Енергетичний (катаболізм)                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Що відбувається                       | За рахунок енергії макроергічних зв'язків відбувається синтез складних органічних сполук із більш простих попередників                                                                                                                              | Розщеплення складних органічних сполук на простіші                                                                                                                                                 |
| Які перетворення енергії відбуваються | $АТФ \rightarrow АДФ + \Phi + \text{Енергія}$<br>Молекули АТФ, які містять макроергічні зв'язки, розпадаються на молекули АДФ і ортофосфатної кислоти ( $\Phi$ ). При цьому виділяється енергія, яка використовується для синтезу органічних сполук | $АДФ + \Phi + \text{Енергія} \rightarrow АТФ$<br>Енергія, яка виробляється під час окиснення органічних речовин, використовується для утворення молекули АТФ з молекул АДФ і ортофосфатної кислоти |
| Результат                             | Утворення органічних молекул, потрібних для життєдіяльності клітини                                                                                                                                                                                 | Енергія, яка виділяється, запасується клітиною у формі макроергічних зв'язків низки сполук (наприклад, АТФ)                                                                                        |

## Основні етапи енергетичного обміну

Розщеплення органічних речовин у ході енергетичного обміну відбувається в кілька етапів. Воно може починатися ще за межами організму, як, наприклад, у павуків, для яких характерне зовнішнє травлення. Але основні процеси катаболізму відбуваються в клітинах.

## Особливості перебігу окремих етапів енергетичного обміну

| Етапи розщеплення органічних речовин                              | Що відбувається                                                                                                                                                          | Де відбувається                                                           |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Підготовка стадія енергетичного обміну                            | Макромолекули розщеплюються до мономерів. Утворюються молекули глюкози                                                                                                   | Навколишнє середовище, травний тракт (ротова порожнина, шлунок, кишечник) |
| Перший етап клітинного дихання (анаеробний). Гліколіз та бродіння | Безкисневий етап розщеплення. Молекули глюкози розщеплюються до проміжних сполук:<br>$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 2H_2O + 2 АТФ$                               | Цитозоль                                                                  |
| Другий етап клітинного дихання (аеробний). Киснєве розщеплення    | Етап кисневого розщеплення. Проміжні сполуки окиснюються до низькомолекулярних речовин (вода, вуглекислий газ):<br>$2C_3H_4O_3 + O_2 \rightarrow 6CO_2 + 4H_2O + 36 АТФ$ | Мітохондрії                                                               |



Мал. 14.2. Схема гліколізу

### Гліколіз та його значення

**Гліколіз** — це біохімічний процес, який зазвичай відбувається в усіх клітинах організму і є одним із джерел постачання АТФ для клітини. Крім того, у процесі гліколізу утворюються сполуки, які використовуються в наступних процесах клітинного дихання.

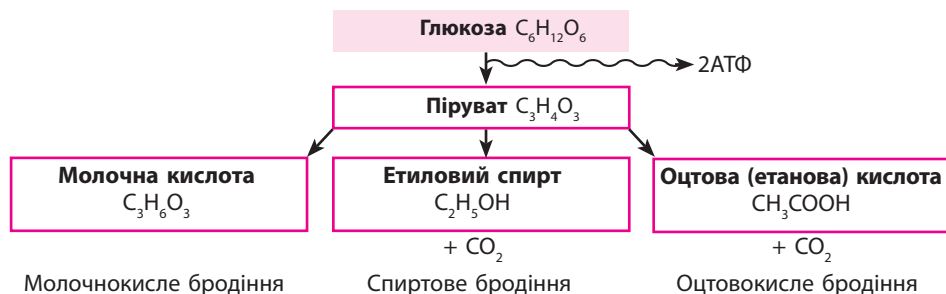
Процес гліколізу включає 10 біохімічних реакцій. У результаті цих реакцій утворюється дві молекули пірувату (пірвіноградної кислоти). Крім того, у процесі гліколізу витрачається дві й синтезується чотири молекули АТФ. Відповідно, з кожної молекули глюкози клітина отримує дві молекули пірувату і дві молекули АТФ (мал. 14.2).

Гліколіз не є аж таким енергетично вигідним процесом: дві молекули АТФ — це не дуже багато. Однак цей процес простий, надійний і дуже швидкий! Він виник ще на ранніх стадіях життя і зараз є одним з основних метаболічних процесів усіх живих організмів.

Великою перевагою гліколізу є те, що він не потребує кисню. Саме тому м'язи людини можуть працювати навіть в умовах нестачі кисню під час великих фізичних навантажень. Потрібну енергію вони отримують завдяки процесу гліколізу.

### Бродіння

**Бродіння** — це процес окиснення вуглеводів, який відбувається без участі кисню й дає змогу клітинам отримувати енергію у вигляді молекул АТФ. Першим етапом бродіння є гліколіз. А на наступному



Мал. 14.3. Типи бродіння

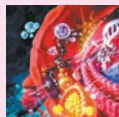
етапі, залежно від типу бродіння, з продукту гліколізу (пірувату) утворюються спирт, молочна та лимонна кислота або інші сполуки.

Залежно від того, які речовини утворюються, виділяють кілька різновидів бродіння (мал. 14.3). Спиртове бродіння характеризується утворенням молекул етилового спирту, води й вуглекислого газу. Під час молочнокислого бродіння продуктом процесу є молочна кислота, а оцтового — оцтова кислота.

### Значення процесів бродіння

Бродіння є надзвичайно важливим процесом як для природних процесів, так і для людини. У живій природі саме бродіння забезпечує енергією ті організми, які живуть у безкисневих умовах. І це не лише мікроби: для багатьох паразитів ця проблема також є актуальною. А виділення вуглекислого газу та метану в результаті процесів бродіння деякими організмами взагалі може мати наслідки для всієї планети. Вони належать до парникових газів, і підвищення їх концентрації в атмосфері може призвести до глобального потепління на планеті.

Людина використовує бродіння для отримання багатьох харчових продуктів: хліба, кефіру, ряжанки, йогурту тощо. Відбувається бродіння і в організмі людини. Під час великих навантажень унаслідок бродіння утворюється молочна кислота, яка призводить до болю у м'язах після фізичних вправ.



Обмін речовин є характерною рисою всіх живих організмів. Обмін речовин усередині організмів називають метаболізмом. Розрізняють два основні типи обміну — енергетичний (катаболізм) і пластичний (анаболізм).

Під час катаболізму складні органічні сполуки розщеплюються до простих. Енергія, яка при цьому виділяється, запасається у вигляді АТФ. Під час анаболізму з простих органічних речовин з витратами АТФ синтезуються складні органічні сполуки. Важливими складовими катаболізму є процеси гліколізу та бродіння.

### Перевірте свої знання

1. Які існують типи обміну речовин?
2. Що таке метаболізм?
3. Де відбувається гліколіз?
4. У якій органелі відбувається процес клітинного дихання?
5. Яке значення для живих організмів має гліколіз?
6. Чи можуть процеси бродіння відбуватися в організмі людини?
7. Порівняйте процеси пластичного та енергетичного обміну.
- 8\*. Як людина використовує процеси бродіння?

# 15 Другий етап клітинного дихання



*Повторіть особливості будови мітохондрій, які ви вивчали в попередній темі. У клітинах яких організмів наявні мітохондрії? Навіщо вони потрібні? З курсу хімії пригадайте, що таке окиснення. Використовуючи матеріал попереднього параграфа, поясніть різницю між легенеvim і клітинним диханням.*

## Що таке клітинне дихання

**Клітинне дихання** — це сукупність реакцій окиснення органічних речовин киснем, які відбуваються в клітинах живих організмів. Слід відмітити, що клітинне дихання і легенеve дихання — це не одне й те саме. Легенеve дихання — це фізіологічний процес, унаслідок якого певні гази потрапляють із повітря в кров або з крові в повітря. А клітинне дихання — це біохімічний процес, сукупність хімічних реакцій у клітинах.

Клітинне дихання складається з двох етапів. Перший з них (гліколіз) відбувається в цитозолі, а другий (кисневий) — у мітохондріях.

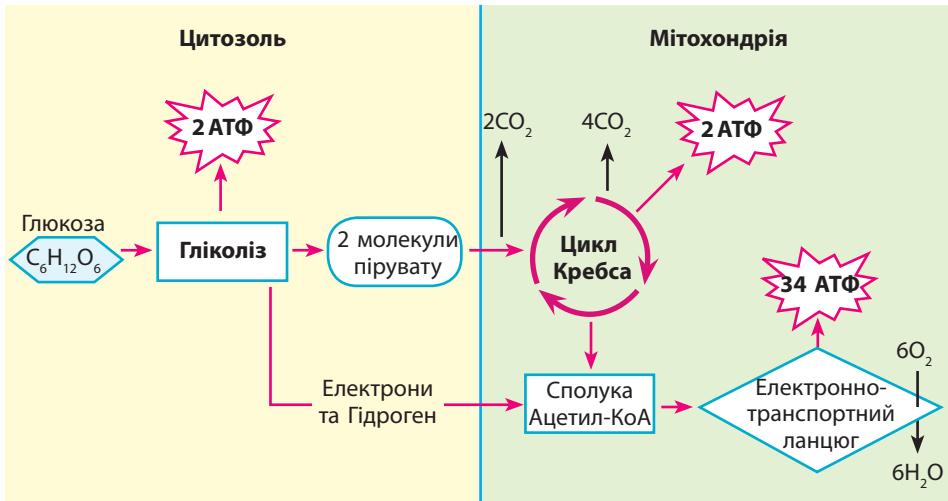
У рослин під час клітинного дихання окиснюються органічні речовини, синтезовані самою рослиною, у тварин і грибів — речовини, які організм отримує в результаті живлення або ті, що вони самі синтезують.

## Біохімічні процеси клітинного дихання

Загальною формулою біологічного окиснення є така:



У результаті першого етапу цього процесу (гліколізу), який відбувається в цитозолі, утворюється піруват (піровиноградна кислота). Він транспортується з цитозолу в матрикс мітохондрії, де з допомогою ферментів відбувається його окиснення до вуглекислого газу та води. Окиснення відбувається в кілька етапів, на кожному з яких виділяється енергія. Частина енергії виділяється у вигляді тепла (45 %), а 55 % запасається в АТФ.



Мал. 15.1. Схема клітинного дихання

### Ефективність клітинного дихання

Ключовим етапом клітинного дихання є цикл Кребса (цикл трикарбонових кислот). Саме в реакціях цього циклу утворюються сполуки, які є джерелом протонів і електронів для процесу окиснення. Клітинне дихання є надзвичайно ефективним процесом. Іще під час першого етапу клітинного дихання — гліколізу — з однієї молекули глюкози клітина отримує дві молекули АТФ, а на наступних етапах клітинного дихання до цих молекул додається ще 36 молекул (мал. 15.1).



Клітинне дихання — це біохімічний процес, який відбувається в мітохондріях. У ході цього процесу органічні речовини, утворені під час гліколізу, окиснюються киснем, який надходить до клітини з навколишнього середовища. Частина енергії, яка при цьому виділяється, запасється клітинами у вигляді молекул АТФ.

### Перевірте свої знання

1. Що таке клітинне дихання? 2. Де відбувається клітинне дихання? 3. Які біохімічні процеси відбуваються під час клітинного дихання? 4\*. Порівняйте процеси клітинного дихання і звичайного горіння. Знайдіть риси подібності й відмінності.

# 16 Фотосинтез.

## Значення фотосинтезу й дихання

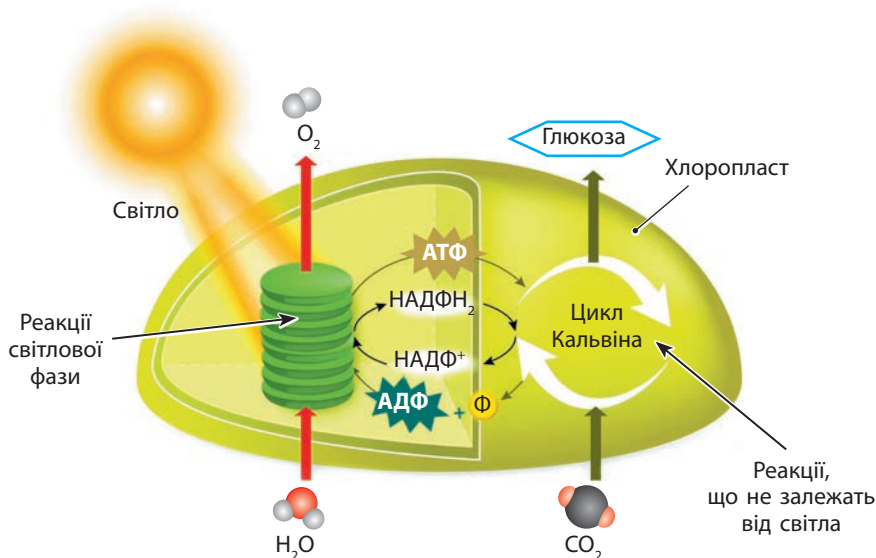


*Повторіть особливості будови пластид, які ви вивчали в попередній темі. У яких організмів у клітинах є пластиди? Навіщо вони потрібні? Пригадайте будову хлоропласта. Скільки мембран входить до його складу? Які структури утворює внутрішня мембрана хлоропласта?*

### Де відбувається фотосинтез

Фотосинтез — це процес утворення живими організмами органічних речовин з неорганічних з використанням енергії світла. Фотосинтез здійснюють як одноклітинні живі організми (ціанобактерії та водорості), так і багатоклітинні (водорості та наземні рослини). Фотосинтез може відбуватися в усіх частинах організму, що містять хлоропласти.

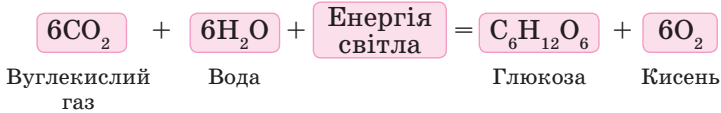
У клітинах рослин процес фотосинтезу відбувається в хлоропластах. Предками хлоропластів були прокаріотичні ціанобактерії. Ці



Мал. 16.1. Схема фотосинтезу

бактерії перетворилися на хлоропласти, коли утворили симбіоз із еукаріотичними клітинами і стали жити всередині них. Крім хлоропластів існують також інші типи пластид — хромопласти й лейкопласти. Але фотосинтез у них не відбувається.

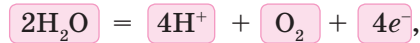
У результаті фотосинтезу з вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) й води ( $\text{H}_2\text{O}$ ) за допомогою сонячної енергії утворюються вуглеводи ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ):



Цей процес складається з двох основних фаз — світлової і темної (мал. 16.1).

### Процеси світлової фази фотосинтезу

У ході світлової фази спочатку кванти світла вловлюються пігментом хлорофілом, який розташований на мембранах тилакоїдів. Енергія квантів переходить до електронів, які захоплюються молекулами-переносниками. Енергія цих електронів використовується в тилакоїдах для синтезу АТФ. Втрачені електрони замінюються електронами, які утворюються в результаті розщеплення (фотолізу) води під дією світла. Сумарне рівняння фотолізу води можна представити так:



де  $e^-$  — електрон.

Кисень виділяється як побічний продукт реакції, а протони  $\text{H}^+$  підхоплюються молекулами-переносниками НАДФ (нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат). Приєднуючи до себе протони, вони стають акумуляторами енергії ( $\text{НАДФ} \cdot \text{H}_2$ ) і використовуються у темновій фазі для синтезу вуглеводів.

Таким чином, результатом світлової фази фотосинтезу є утворення кисню, синтез АТФ та відновлення НАДФ.

### Процеси темної фази фотосинтезу

Темнова фаза фотосинтезу відбувається в стромі хлоропластів. Сукупність реакцій, які задіяні в цьому процесі, називається циклом Кальвіна. В них за участі вуглекислого газу, що надходить ззовні, та продуктів світлової фази фотосинтезу  $\text{НАДФ} \cdot \text{H}_2$  і АТФ утворюються молекули глюкози.

Ця фаза називається темною не тому, що відбувається в темряві. У більшості рослин вона відбувається вдень. Така назва означає лише те, що світло безпосередньо не бере в ній участі.

## Біологічне значення та планетарна роль фотосинтезу

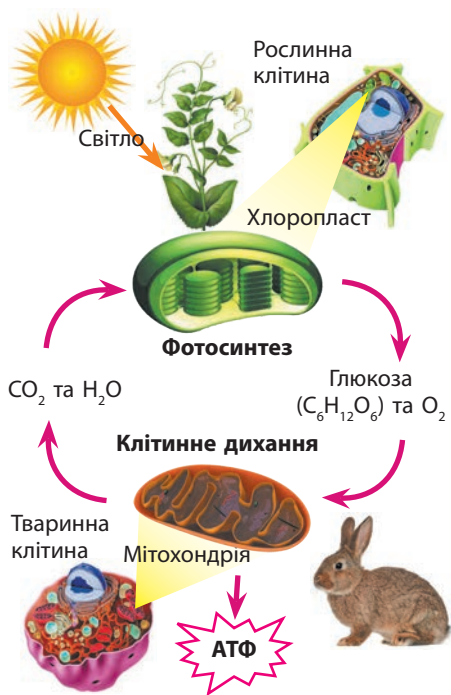
Процес фотосинтезу є основним способом утворення органічних речовин на нашій планеті. За рік фотосинтезуючі організми утворюють понад 150 млрд тонн органічних речовин. Фотосинтез також забезпечує надходження в атмосферу кисню (щорічно до 200 млрд тонн), який живі організми використовують у процесах дихання.

Наслідком фотосинтезу стало формування великої кількості корисних копалин.

Ще один наслідок фотосинтезу — озоновий шар. Він являє собою тонкий прошарок нашої атмосфери, що утворюється з кисню під дією сонячного випромінювання. Наявність цього шару різко знижує кількість ультрафіолетових променів, які надходять до поверхні планети. Це вберігає живі організми від можливих негативних наслідків (суттєво знижує ризик пошкодження молекул ДНК у клітинах).

## Біологічне значення та планетарна роль клітинного дихання

Фотосинтез є дуже важливим процесом не тільки для рослин, але і для інших живих організмів. Він постачає кисень, який організми можуть використовувати для вироблення енергії. Вона організмам потрібна постійно: навіть коли організм спить, у ньому відбувається безліч процесів. Утворюються нові речовини й руйнуються старі, відбувається процес росту й поділу клітин, серце продовжує гнати кров по судинах — усе це потребує витрат енергії, яка утворюється внаслідок процесу клітинного дихання. Саме завдяки клітинному диханню живим організмам вдається підтримувати високий рівень життєдіяльності. Наприклад, воно дозволяє тюленим і білим



Мал. 16.2. Взаємозв'язок фотосинтезу та клітинного дихання

ведмедам виробляти достатньо тепла, щоб виживати в суворих умовах Арктики.

Надзвичайно важливою є планетарна роль дихання. Зелені рослини безперервно виробляють кисень, і підтримувати його вміст в атмосфері на потрібному рівні можливо тільки завдяки процесам клітинного дихання (мал. 16.2). Якщо рівновага між виробництвом та споживанням кисню порушиться, то це може призвести до катастрофічних наслідків для всієї планети.

Як нестача, так і надлишок кисню в атмосфері призведе до масової загибелі організмів. Його нестача буде причиною задухи, а надлишок спричинить кисневе отруєння організмів.



Для того щоб забезпечити процес фотосинтезу молекулами вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ), рослинам потрібно відкривати продири на листках. Але в жаркому кліматі це призводить до надмірних витрат ними води. Тому рослини з родин Товстянкові й Кактусові вночі накопичують цей газ у своїх клітинах у вигляді певних сполук, а вдень використовують його для фотосинтезу. Цей тип фотосинтезу має назву САМ-метаболізм (у перекладі з англійської — метаболізм за типом товстянкових).



Фотосинтез відбувається у хлоропластах і складається з двох фаз – світлової і темної. У ході світлової фази кванти світла вловлюються пігментом хлорофілом, і їхня енергія використовується для синтезу АТФ.

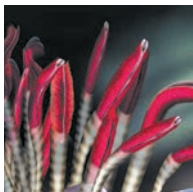
У темній фазі фотосинтезу за рахунок АТФ та інших продуктів світлової фази відбувається фіксація молекул  $\text{CO}_2$  і утворюються молекули глюкози. Живі організми в процесі фотосинтезу кисень виробляють, а в ході клітинного дихання — споживають. Разом ці процеси забезпечують сприятливі умови для існування на Землі живих організмів.

### Перевірте свої знання

1. Які типи пластид існують? 2. У яких пластидах відбувається фотосинтез? 3. Крім хлорофілу в пластидах рослин є й інші пігменти. Навіщо вони їм потрібні? 4. Які процеси відбуваються під час фази фотосинтезу: а) світлової, б) темної? 5. Порівняйте світлову фазу фотосинтезу та аеробне дихання. 6. Яке значення клітинне дихання має для живих організмів? 7. На конкретних прикладах поясніть, у чому полягає планетарна роль клітинного дихання. 8\*. Із додаткових джерел ознайомтесь із  $\text{C}_3$ -фотосинтезом і  $\text{C}_4$ -фотосинтезом. Порівняйте рослини, що мають ці типи фотосинтезу.

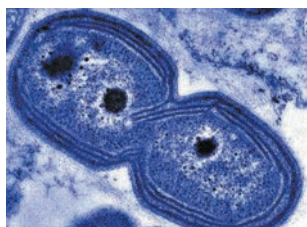
# 17

## Хемосинтез



У курсі біології рослин ви вивчали, зокрема, й бобові. Пригадайте, чому вирощування бобових підвищує родючість ґрунту. У попередньому параграфі ви розглянули особливості фотосинтезу. Звідки рослини беруть енергію для реакцій цього процесу?

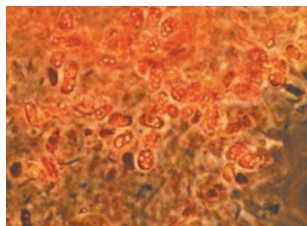
### Основні принципи й різновиди хемосинтезу



Нітрифікуючі бактерії



Сіркобактерії



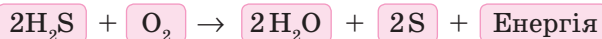
Залізобактерії

**Мал. 17.1.** Хемосинтезуючі мікроорганізми

**Хемосинтезом** називають процес утворення органічних речовин з неорганічних, який відбувається за рахунок енергії хімічних реакцій. Це реакції окиснення, які відбуваються у клітинах мікроорганізмів. Такий принцип роботи відрізняє хемосинтезуючі організми від фотосинтезуючих, оскільки останні використовують як джерело енергії сонячне проміння, а не хімічні реакції.

Хемосинтезуючі організми поділяють на групи за тими реакціями, які вони використовують. Для одержання енергії мікроорганізми можуть використовувати реакції окиснення водню або сполук Нітрогену, Феруму чи Сульфуру.

Наприклад:



### Хемосинтезуючі мікроорганізми

Нітрифікуючі бактерії (мал. 17.1) окиснюють амоніак та його сполуки до нітритів і нітратів. Зазвичай цей процес здійснюють два види бактерій. Перший окиснює амоніак до нітритів, а другий — нітрити до нітратів.

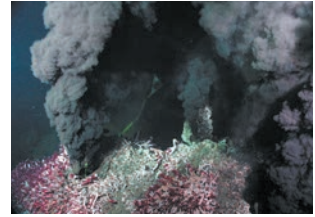
Залізобактерії здійснюють окиснення  $\text{Fe}^{2+}$  до  $\text{Fe}^{3+}$ . Унаслідок їхньої діяльності утворюється ферум(ІІІ) оксид  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Цю сполуку бактерії відкладають у своїй слизовій капсулі.

Сіркобактерії окиснюють сірководень до сірки і далі до солей сульфатної кислоти. Водневі бактерії використовують водень, який утворюється внаслідок розкладання залишків організмів іншими бактеріями. Цей водень вони окиснюють, а отриману енергію використовують для перетворення  $\text{CO}_2$  на метан та інші органічні сполуки.

### Біологічне значення і планетарна роль хемосинтезу

Хемосинтезуючі організми відіграють дуже важливу роль у колообігу таких елементів, як Нітроген, Сульфур і Ферум. Вони продукують органічні речовини там, де фотосинтез неможливий. Так, глибоко на дні океанів існують справжні «оази життя» навколо «чорних паліїв». «Чорні палії» — це підводні гарячі джерела, вода яких насичена сполуками Сульфуру. Сіркобактерії використовують ці сполуки для свого росту. А ними живляться інші живі організми (мал. 17.2).

Залізобактерії стали справжніми творцями корисних копалин. Більшість покладів залізних руд створено завдяки мільйонам років діяльності цих мікроорганізмів. А водневі бактерії живуть у ґрунтах і відіграють важливу роль у процесах перетворення речовин, які там відбуваються.



Скупчення живих організмів біля «чорного палія»



Результати життєдіяльності залізобактерій у водогонних трубах

**Мал. 17.2.** Наслідки діяльності хемосинтезуючих бактерій

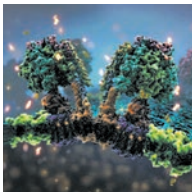


Хемосинтезом називають процес утворення органічних речовин з неорганічних, який відбувається за рахунок енергії хімічних реакцій. Хемосинтезуючі організми поділяють на групи за тими реакціями, які вони використовують. Для одержання енергії мікроорганізми можуть використовувати реакції окиснення водню або сполук Нітрогену, Феруму чи Сульфуру. Ці мікроорганізми відіграють важливу роль у природі.

### Перевірте свої знання

1. Що таке хемосинтез?
2. Яке значення в природі має хемосинтез?
3. Порівняйте між собою процеси хемосинтезу й фотосинтезу.
4. Яке значення має хемосинтез для людини?
- 5\*. Чому хемосинтез менш поширений серед живих організмів, ніж фотосинтез?

# 18 Синтетичні процеси у клітинах та організмах. Порушення обміну речовин



*У попередній темі ви вивчали органели клітин. Пригадайте, у яких органелах відбувається синтез органічних речовин. Повторіть визначення метаболізму і назвіть типи обміну, які притаманні клітині. Пригадайте, до яких наслідків може призвести нестача вітамінів у організмі людини. Чим між собою відрізняються автотрофи й гетеротрофи?*

## Основні синтетичні процеси в клітинах

Пластичний обмін — це утворення складних органічних речовин з більш простих. Саме в процесі пластичного обміну утворюються всі біополімери і клітинні структури живих організмів. Різновидами пластичного обміну є процеси фотосинтезу й хемосинтезу, оскільки під час них складні органічні речовини утворюються з неорганічних.

Для реакцій пластичного обміну своїх клітин як гетеротрофні, так і автотрофні організми використовують зовнішні джерела енергії та атоми Карбону. Різниця полягає в джерелах, з яких вони їх отримують. Автотрофи отримують Карбон з неорганічних речовин (вуглекислого газу) за рахунок енергії сонячного світла. А гетеротрофи — з органічних речовин інших живих організмів за рахунок окиснення частини цих речовин.

### Особливості перебігу окремих процесів анаболізму (пластичного обміну)

| Процес                                                  | Що відбувається                                                       | Де відбувається                                                 |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Фотосинтез                                              | Синтез проміжних сполук із неорганічних речовин                       | Хлоропласти                                                     |
| Утворення моносахаридів амінокислот, жирних кислот тощо | Синтез мономерів із проміжних сполук                                  | Хлоропласти, цитозоль                                           |
| Утворення полімерів                                     | Синтез білків, вуглеводів, ліпідів та нуклеїнових кислот із мономерів | Цитозоль, хлоропласти, мітохондрії, ендоплазматична сітка, ядро |

## Схожість процесів обміну в різних організмів

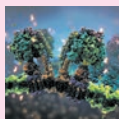
У клітинах рослин, тварин і грибів основні біохімічні процеси відбуваються однаково. Однаково відбуваються процеси клітинного дихання, у тому числі реакції гліколізу та циклу Кребса. В усіх організмах нуклеїнові кислоти і білки синтезуються за однаковою схемою. А в процесах цього синтезу задіяні однакові комплекси ферментів. Та й процеси регуляції є дуже схожими. І хоча такі біохімічні процеси не є абсолютно тотожними, але послідовність основних реакцій у всіх випадках є однаковою.

Учені вважають це наслідком того, що всі еукаріотичні клітини мають спільного предка, у клітинах якого всі ці біохімічні процеси вже відбувалися.

## Наслідки порушення обміну речовин

Порушення обміну речовин можуть виникати з різних причин. Наприклад, нестача вітамінів у їжі призводить до гіповітамінозів у людини, і тоді розвиваються такі захворювання, як рахіт, цинга або бері-бері. Нестача або надлишок певних хімічних елементів може призводити й до порушення обміну речовин у рослин. Найчастіше це призводить до зниження інтенсивності росту або пошкодження листків рослин.

Також порушення можуть виникати внаслідок генетичних змін — мутацій. З ними ви більш докладно ознайомитеся в наступних параграфах підручника.



Синтетичні процеси активно відбуваються в багатьох органелах клітин. Біохімічним процесом, який об'єднує їх між собою і з процесами енергетичного обміну, є цикл Кребса. Головні біохімічні процеси в клітинах різних організмів схожі між собою. А їх порушення призводить до важких наслідків.

## Перевірте свої знання

1. Де в клітинах відбувається синтез органічних речовин? 2. Яке значення для клітин має цикл трикарбонових кислот? 3. Чому нестача або надлишок вітамінів можуть впливати на обмін речовин у людини? 4\*. Рослини здатні синтезувати всі потрібні їм амінокислоти. У багатьох тварин частина амінокислот в організмі не синтезується і повинна надходити з їжею (так звані незамінні амінокислоти). З чим це пов'язано? 5\*. У чому проявляється схожість процесів у клітинах представників різних царств живих організмів?

## Узагальнюючі завдання до теми «Принципи функціонування клітини»

У завданнях 1–12 оберіть одну правильну відповідь.

- 1 Місце, де відбувається процес гліколізу:**  
а) цитозоль                                  в) пластиди  
б) мітохондрії                              г) ядро
- 2 У процесі гліколізу з однієї молекули глюкози утворюється:**  
а) одна молекула спирту                в) одна молекула пірувату  
б) дві молекули спирту                 г) дві молекули пірувату
- 3 Макроергічною сполукою, яка утворюється в мітохондріях, є:**  
а) ДНК                      б) целюлоза            в) глюкоза            г) АТФ
- 4 Фотосинтез відбувається в органелі:**  
а) лейкопласт                                в) хромопласт  
б) хлоропласт                                г) мітохондрія
- 5 Гранулярна ендоплазматична сітка здійснює:**  
а) синтез ліпідів                            в) розщеплення ліпідів  
б) синтез білків                              г) розщеплення білків
- 6 У результаті фотосинтезу рослини:**  
а) поглинають кисень                    в) виділяють вуглекислий газ  
б) утворюють глюкозу                  г) розщеплюють хітин
- 7 Кількість фаз, на які поділяють процес фотосинтезу:**  
а) 1                              б) 2                              в) 3                              г) 4
- 8 Речовина, що НЕ утворюється внаслідок бродиння:**  
а) хлоридна кислота                        в) оцтова кислота  
б) молочна кислота                         г) лимонна кислота
- 9 Ферментні системи, які здійснюють біологічне окиснення, розташовані на мембранах органели:**  
а) лейкопласт                                в) мітохондрія  
б) ядро                                            г) вакуоля

**10** Кисень, який утворюється в процесі фотосинтезу, вилучається з молекули речовини:

- а) РНК
- б) глюкоза
- в) вуглекислий газ
- г) вода

**11** У результаті клітинного дихання тварини:

- а) утворюють вуглекислий газ
- б) виділяють кисень
- в) синтезують ліпіди
- г) здійснюють азотфіксацію

**12** Хемосинтез можуть здійснювати:

- а) залізобактерії
- б) покритонасінні
- в) мохи
- г) папороті

**13** Напишіть назви структур, у яких відбувається:

- а) світлова фаза фотосинтезу
- б) цикл Кребса
- в) гліколіз
- г) утворення еукаріотичних рибосом

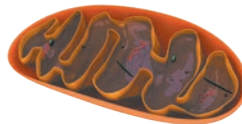
**14** Установіть відповідність між біохімічними процесами та органелами, у яких вони відбуваються.

| Процеси                | Органели                 |
|------------------------|--------------------------|
| 1 біологічне окиснення | а) лізосома              |
| 2 фотоліз води         | б) ендоплазматична сітка |
| 3 синтез ліпідів       | в) мітохондрія           |
|                        | г) хлоропласт            |

**15** Розгляньте органелу, яка зображена на малюнку. Напишіть, які речовини в ній утворюються, а які розщеплюються.



**16** Розгляньте органелу, яка зображена на малюнку. Напишіть, які речовини в ній утворюються, а які розщеплюються.



Перевірте свої знання з теми «Принципи функціонування клітини».



## Збереження та реалізація спадкової інформації

### 19 Гени та геноми



*Коли ви знайомилися з хімічним складом клітини, ви розглянули таку групу органічних речовин, як нуклеїнові кислоти. Які особливості будови притаманні цим речовинам? Які функції в клітинах вони виконують? Також пригадайте, що вивчає генетика.*



#### Спадкова інформація

Чому діти схожі на батьків, а з насіння соняшника виростає соняшник, а не пшениця? Тому що організм нащадків будується за інформацією, яку він отримує від своїх батьків. Саме вона визначає розмір і форму організму, будову й функції його клітин та органів. Ця інформація також визначає, наприклад, як пшениця буде захищатися від паразитичних грибків та як кішка буде хапати мишу під час полювання. Цю інформацію називають **спадковою**, або **генетичною**.

Спадкова інформація міститься в молекулах ДНК, які є в кожній клітині організму.

У клітинах еукаріотів ДНК входить до складу хромосом, які містяться в ядрах клітин. А з клітин утворюються всі тканини й органи (мал. 19.1).

#### Гени

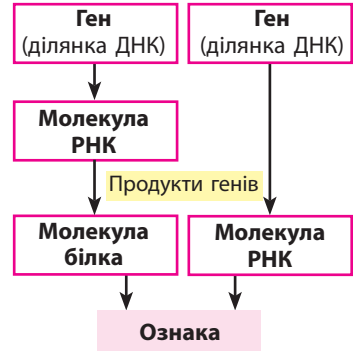
Уся спадкова інформація організму поділена на окремі невеличкі блоки, які називають **генами**.

**Мал. 19.1.** Спадкова інформація в організмі людини

Кожний ген є ділянкою молекули ДНК. Він відповідає за утворення однієї або кількох ознак організму. Але більшість ознак утворюються в результаті взаємодії кількох генів.

В яких структурах розташовані гени? У прокаріотів вони зосереджені у великій кільцевій молекулі ДНК (це нуклеоїд або бактеріальна хромосома). Крім того, вони є в невеликих кільцевих молекулах ДНК — плазмідах.

В еукаріотів гени містяться в хромосомах ядра, мітохондріях і пластидах. Відповідно до місця розташування гени еукаріотів поділяють на ядерні, мітохондріальні та гени пластид.



Мал. 19.2. Схема утворення продуктів генів та ознак організму

### Як працюють гени

Як відомо, білки складаються з амінокислот, а ДНК — з нуклеотидів. У кожному з білків амінокислоти розташовані в певній послідовності. Послідовність нуклеотидів ДНК визначає послідовність амінокислот у молекулі білка, що й зумовлює особливості кожного з них. У кожному гені послідовність нуклеотидів різна. Тому різні гени містять інформацію про будову різних молекул білка.

Деякі гени містять інформацію не про молекулу білка, а про молекулу РНК, яка виконує в клітині якусь окрему функцію. Молекули білка або РНК, будова яких визначається послідовністю нуклеотидів гена, називають **продуктом** гена.

Для утворення продукту гена на відповідній ділянці ДНК ферменти спочатку синтезують (утворюють) відповідну їй за будовою молекулу РНК. Далі ця молекула може використовуватися в різних процесах у клітині. Або за інформацією з цієї РНК може синтезуватися молекула білка, яка і є продуктом гена (мал. 19.2).

### Типи генів

За функціями гени живих організмів можна поділити на дві великі групи: структурні й регуляторні. **Структурні** гени містять інформацію про будову молекул білків та РНК клітини, які входять до складу органел або цитоплазми клітин.

**Регуляторні** гени теж містять інформацію про структуру молекул білків або РНК. Але їхнє завдання — регулювати роботу структурних генів. Можуть її прискорити чи вповільнити. Або й зовсім припинити синтез продукту гена, який клітині на даний час не потрібен.



Мал. 19.3. Компоненти геному людини

### Геном

Усі гени організму входять до складу **геному**. Крім генів до складу геному організму входять ділянки молекули ДНК, які не утворюють продуктів (мал. 19.3). Саме геном регулює всі процеси в клітині. Це утворення потрібних речовин, взаємодія клітин між собою, реакція на зовнішні подразники та інші процеси.

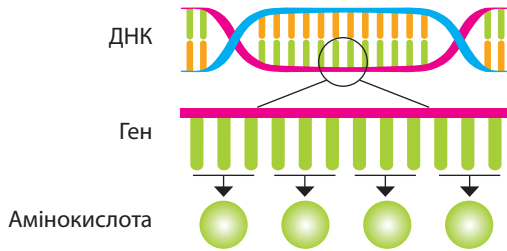
Розмір геномів живих організмів визначається двома різними способами. У першому випадку рахують кількість генів, а у другому — кількість пар нуклеотидів у ланцюгах ДНК.

#### Розмір геному деяких видів живих організмів

| Організм          | Приблизна кількість генів | Приблизна кількість пар нуклеотидів |
|-------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Кишкова паличка   | 4 200                     | 4,6 млн                             |
| Тополя            | 73 000                    | 480 млн                             |
| Пекарські дріжджі | 6 200                     | 12,1 млн                            |
| Шовкопряд         | 14 000                    | 432 млн                             |
| Миша              | 20 200                    | 2,7 млрд                            |
| Людина            | 20 000                    | 3,2 млрд                            |

### Генетичний код

Як ви вже дізналися, будова молекули білків визначається послідовністю нуклеотидів у ДНК. Тому вчені говорять, що будова білка закодована в ДНК. Кожна амінокислота кодується з допомогою трьох нуклеотидів. Така трійка (триплет) нуклеотидів, яка відповідає певній амінокислоті, називається **кодоном**. Система запису спадкової



**Мал. 19.4.** Відповідність між триплетами нуклеотидів та амінокислотами

інформації в молекулах нуклеїнових кислот, відповідно до якої певна послідовність нуклеотидів у молекулі ДНК та РНК визначає послідовність амінокислот у молекулі білка, називається **генетичним кодом**.



У молекулах ДНК спадкову інформацію зберігає більшість живих організмів. Але є й винятки. Деякі віруси можуть зберігати спадкову інформацію в молекулах РНК, а їхні гени, відповідно, є ділянками РНК.

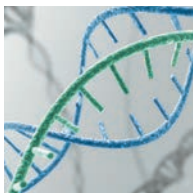


Інформація, яка визначає властивості організму й передається від батьків до їхніх нащадків, називається спадковою. Спадкова інформація записана в генах — ділянках ДНК, кожна з яких виконує одну або кілька функцій. Гени поділяються на структурні й регуляторні. Всю сукупність генів організму називають геномом. Система запису спадкової інформації в молекулах нуклеїнових кислот називається генетичним кодом.

### Перевірте свої знання

1. Яка речовина зберігає спадкову інформацію у клітинах живих організмів? 2. Що таке ген? 3. Які існують типи генів? 4. Чим відрізняються між собою структурні й регуляторні гени? 5. Що таке геном? 6. До яких наслідків для клітини може призвести пошкодження регуляторного гена, який припиняє синтез одного з ферментів? 7\*. На малюнку 19.3 у параграфі видно, що ділянки ДНК, які кодують структуру білкових молекул, становлять дуже невелику частину геному. Складіть список функцій, які можуть виконувати інші частини геному. 8\*. Чому амінокислоти не можуть кодуватися парами нуклеотидів?

# 20 Будова генів про- та еукаріотів



*Згадайте, яка речовина є носієм спадкової інформації в живих організмах. Повторіть, що таке ген. Які бувають типи генів? У чому полягає різниця між структурними й регуляторними генами?*

## Схема будови гена

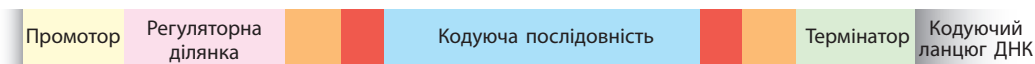
Всі гени мають однакову схему будови. Вони складаються з кількох ділянок (мал. 20.1). Головною ділянкою будь-якого гена є та, яка містить інформацію про будову молекули білка або РНК (продукту гена). Це кодуюча частина гена. Інші ділянки гена — некодуючі. Вони не містять інформації про будову молекул, синтез яких забезпечує ген. Але вони відповідають за роботу гена.

Некодуючими ділянками гена є промотор і термінатор. Промотор — це ділянка гена, яка позначає місце, де починається синтез РНК, термінатор — де закінчується синтез. Крім того, до складу гена входять регуляторні ділянки, які регулюють його роботу.

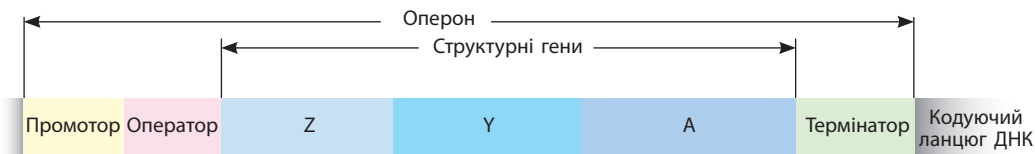
## Гени прокаріотів

Гени прокаріотів мають відносно просту структуру. Частіше за все кожен із цих генів містить інформацію тільки про одну структуру — молекулу білка або РНК.

Гени прокаріотичних організмів часто організовані в оперони. Оперон — структура, яка складається з кількох структурних генів (мал. 20.2). Він дозволяє прокаріотам за один раз відразу синтезувати



Мал. 20.1. Загальна схема будови гена



Мал. 20.2. Будова оперона прокаріотичного організму



Мал. 20.3. Будова еукаріотичного гена

продукти кількох генів. Структурні гени в опероні розташовані поряд і мають на всіх один спільний промотор, один спільний термінатор і один спільний оператор, який регулює його роботу.

Прикладом оперона може бути лактозний оперон кишкової палички. Він містить гени, які кодують ферменти, потрібні для синтезу вуглеводу лактози.

### Гени еукаріотів

На відміну від генів прокаріотів, гени еукаріотичних організмів не утворюють оперонів. Кожний з них має свої власні промотор і термінатор. Крім того, будова цих генів більш складна. У складі їхньої ділянки ДНК є послідовності нуклеотидів, які не містять інформації, потрібної для синтезу продукту гена (молекули білка або РНК). Такі ділянки називають інтронами. Ті ділянки, які містять потрібну інформацію, називають екзонами. Зазвичай еукаріотичний ген містить по кілька інтронів та екзонів (мал. 20.3).

Важливою частиною еукаріотичних генів є регуляторні ділянки. З допомогою цих ділянок клітина може прискорювати або вповільнювати синтез продукту гена. Така будова дозволяє еукаріотичним організмам здійснювати дуже тонку регуляцію роботи їхніх генів.



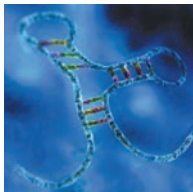
Для функціонування генів живих організмів потрібна наявність спеціальних ділянок для початку (промотор), регуляції і завершення (термінатор) зчитування інформації. Гени прокаріотичних організмів можуть об'єднуватися в спеціальні групи — оперони, які мають на всіх один промотор, оператор і термінатор. Гени еукаріотичних організмів містять некодуючі (інтрони) і кодуючі (екзони) ділянки ДНК. Крім того, ці гени мають у своєму складі регуляторні ділянки, які змінюють швидкість їхньої роботи.

### Перевірте свої знання

1. Навіщо генам потрібен промотор? 2. Навіщо генам потрібен термінатор? 3. Що таке оперон? 4. Що таке інтрони? 5. Порівняйте між собою гени прокаріотів та еукаріотів.

# 21

## Геноми. РНК. Реалізація спадкової інформації



*Повторіть поняття ген і геном. Які компоненти відповідають за початок і закінчення роботи гена? Назвіть відмінності в будові генів у прокаріотів та еукаріотів. Пригадайте що таке оперон і поясніть у яких живих організмів трапляються оперони.*

### Особливості геномів прокаріотів та еукаріотів

Прокаріотичні та еукаріотичні організми відрізняються між собою не тільки будовою генів. Їхні геноми також мають відмінні риси.

#### Особливості геномів прокаріотів та еукаріотів

| Ознака                                       | Прокаріоти                                                       | Еукаріоти                                                     |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Місце розташування більшості генів геному    | Бактеріальна хромосома (нуклеоїд) — велика кільцева молекула ДНК | Хромосоми, що розташовані в ядрі клітини                      |
| Інші місця розміщення генів                  | Плазмідни — невеликі кільцеві молекули ДНК                       | Невеликі кільцеві молекули ДНК у пластидах і мітохондріях     |
| Наявність некодуючих ділянок усередині генів | Відсутні                                                         | Присутні у вигляді інтронів                                   |
| Наявність некодуючих ділянок ДНК поза генами | Присутні в невеликій кількості й мають маленький розмір          | Присутні у великій кількості. Складають більшу частину геному |
| Наявність оперонів                           | Є                                                                | Відсутні                                                      |

Геноми еукаріотів поділяються на дві великі частини — *ядерну* й *позаядерну*. Ядерна частина представлена генами, які розташовані в хромосомах ядра клітини. Позаядерна частина геному представлена ДНК мітохондрій і пластид.

### Основні типи РНК

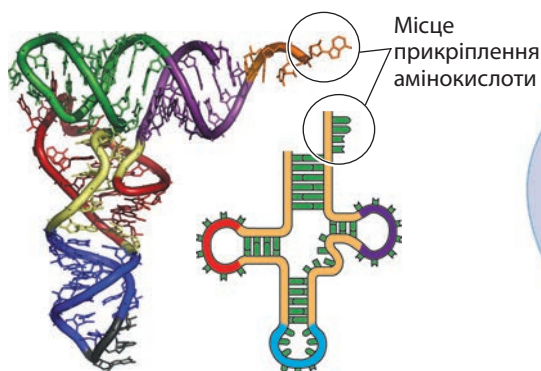
У клітинах існує кілька типів РНК. Вони виконують різні функції і виробляються клітинами в різній кількості. Найчастіше в клітинах трапляються інформаційні, рибосомальні, транспортні та малі ядерні РНК.

### Характеристика основних типів РНК

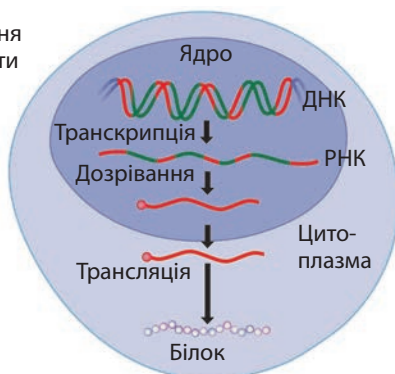
| Тип РНК                                          | Особливості будови                                                                                                                                 | Функції                                                                                                  |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Інформаційна, або матрична, РНК (іРНК, або мРНК) | Одинарний ланцюжок                                                                                                                                 | Переносить інформацію про послідовність амінокислот у білкових молекулах від ДНК до місця синтезу білків |
| Рибосомальна РНК (рРНК)                          | Одинарний ланцюжок має складну форму, утворює комплекси з білками (нуклео-протеїди)                                                                | Входить до складу рибосом, які здійснюють синтез білків                                                  |
| Транспортна РНК (тРНК)                           | Одинарний ланцюжок, різні ділянки якого взаємодіють між собою й утворюють складну просторову форму (мал. 21.1)                                     | Доставляє до місця синтезу білків амінокислоти, які містяться в цитозолі клітини                         |
| Малі ядерні РНК (мяРНК)                          | Одинарні ланцюжки. Невеликі за розміром молекули, які містяться в ядрі клітини. Їх існує кілька різновидів. Зазвичай утворюють комплекси з білками | Беруть участь у процесах дозрівання РНК та регуляції процесів транскрипції                               |

### Етапи реалізації спадкової інформації

Спадкова інформація, яка зберігається в ДНК, використовується клітиною у вигляді синтезованих продуктів (молекул РНК і білків). Реалізація цієї інформації відбувається в кілька етапів — транскрипція, дозрівання РНК і трансляція (мал. 21.2).



Мал. 21.1. Модель молекули тРНК



Мал. 21.2. Етапи реалізації спадкової інформації

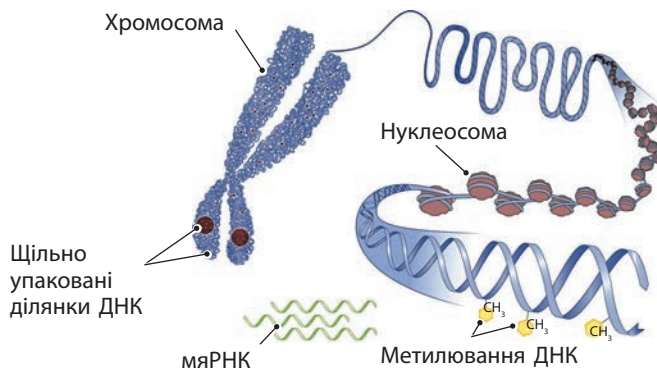
### Основні етапи реалізації спадкової інформації

| Етап                       | Де відбувається                                                                                                              | Які процеси відбуваються                                                       | Які структури беруть участь                                 |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Транскрипція               | У прокаріотів — у цитоплазмі. В еукаріотів — у ядрі, мітохондріях і пластидах                                                | Синтез ланцюга іРНК за зразком одного з ланцюгів ДНК                           | ДНК та комплекс ферментів, головним з яких є РНК-полімераза |
| Дозрівання РНК (процесинг) | В ядрі клітин еукаріотів                                                                                                     | З молекули іРНК видаляються інтрони, а екзони з'єднуються в одну молекулу іРНК | Невеликі молекули мРНК, білки-ферменти                      |
| Трансляція                 | У прокаріотів — у цитоплазмі. В еукаріотів — у цитоплазмі, на гранулярній ендоплазматичній сітці, в мітохондріях і пластидах | Синтез молекул білка на рибосомі згідно з інформацією молекули РНК             | Рибосоми, молекули тРНК та іРНК, АТФ                        |

### Регуляція реалізації спадкової інформації

У геномі людини більше 20 000 генів. Але для життєдіяльності і виконання своїх функцій кожній окремій клітині потрібно набагато менше генів. Так, нервовій клітині зорового нерву не треба виробляти ферменти слини або статеві гормони. А клітині м'язів немає сенсу в синтезі гемоглобіну. Тому більша частина генів у клітинах є «вимкненою», неактивною.

Але й ті гени, які працюють, не завжди працюють однаково. Якщо є потреба у виробленні слини, то гени, які виробляють потрібні ферменти, працюють активно. А коли потреба минає, інтенсивність



Мал. 21.3. Деякі способи регуляції роботи генів

їхньої роботи слід зменшувати. Так клітини можуть економити ресурси організму.

У клітинах регуляція реалізації генетичної інформації може відбуватися за допомогою кількох механізмів (мал. 21.3).

Перший механізм — взаємодія продуктів регуляторних генів (зазвичай білків) з певними структурами генів: оператором, промотором або регуляторними ділянками. Це дозволяє змінювати швидкість роботи генів або «вмикати» чи «вимикати» їх.

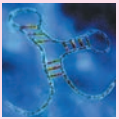
Другий механізм — модифікація деяких нуклеотидів у ланцюжках ДНК. Якщо до них приєднується метильний радикал ( $\text{CH}_3$ ), то зчитування інформації з ділянки ДНК за таким нуклеотидом стає неможливим.

Третій механізм — пакування певних ділянок ДНК за допомогою білків таким чином, щоб з них не можна було зчитати спадкову інформацію.

Крім того, регуляція можлива й на більш пізніх етапах, коли клітина блокує роботу РНК або білків, які є продуктами роботи гена.



Близнята ссавців, які починають розвиватися з клітин, що утворилися після поділу однієї зиготи, отримують однакові геноми. Вони в усіх своїх клітинах мають однакову послідовність нуклеотидів ДНК. Але протягом життя їхні геноми пристосовуються до навколишніх умов трохи по-різному. Тому з віком кількість і розташування «вимкнених» генів у їхніх геномах відрізняється все більше, і вони стають дедалі менше схожими один на одного з точки зору епігенетики — науки, що вивчає механізми регуляції роботи генів.



Основними етапами реалізації спадкової інформації в клітинах є транскрипція, дозрівання РНК і трансляція. У живих організмах існує багато типів РНК. Найбільш поширеними серед них є інформаційна, або матрична, РНК (іРНК, або мРНК), рибосомальна РНК (рРНК), транспортна РНК (тРНК) і малі ядерні РНК (мяРНК).

### Перевірте свої знання

1. Які типи РНК найбільш поширені в клітинах? 2. Які етапи виділяють у процесі реалізації спадкової інформації? 3. Що відбувається в ході дозрівання РНК? 4. Чому в клітині існує кілька типів РНК? 5. Складіть схему регуляції роботи генів. 6. До яких наслідків для гена може призвести пошкодження його промотора або термінатора? 7\*. Чому бактеріям вигідно об'єднувати свої гени в оперони? 8\*. Чому геноми різних організмів є різними за розміром?

# 22 Реплікація, транскрипція та дозрівання РНК



*Ви вже ознайомилися з особливостями будови молекул нуклеїнових кислот та функціями, які вони виконують у клітині. Пригадайте, які нуклеотиди входять до складу ДНК і РНК. Які етапи реалізації спадкової інформації вам відомі?*

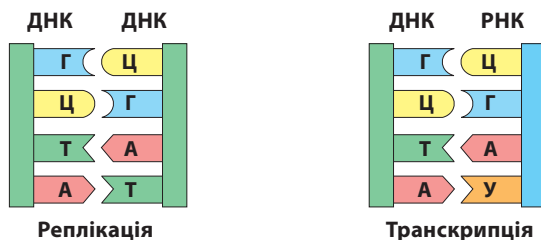
## Реплікація

Під час розмноження клітин кожна дочірня клітина отримує від материнської однаковий набір молекул ДНК. Це можливо завдяки тому, що перед поділом клітини молекула ДНК материнської клітини подвоюється. Такий процес подвоєння ДНК називають реплікацією.

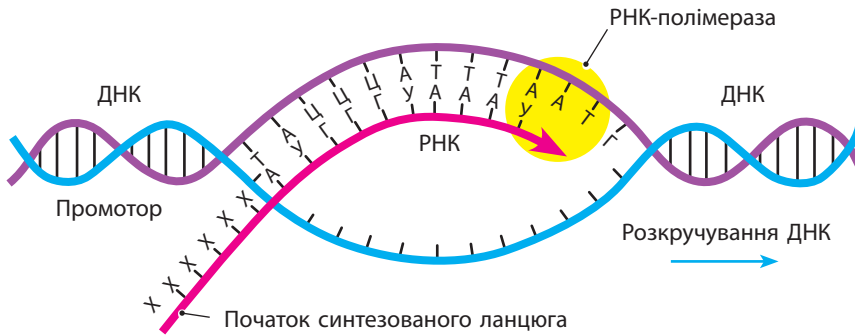
У ході реплікації спеціальні білки-ферменти розкручують подвійний ланцюжок ДНК на два одинарні ланцюжки. Після цього інші ферменти на кожній з ниток добудовують її дзеркальну копію за принципом комплементарності: тимідиловий нуклеотид — навпроти аденілового, а гуаніловий — навпроти цитиділового (мал. 22.1). Таким чином організм отримує дві однакові копії ДНК, які можна розподілити між дочірніми клітинами після поділу материнської клітини.

## Транскрипція

Як ви вже знаєте, на етапі транскрипції відбувається синтез молекули іРНК за зразком одного з ланцюгів молекули ДНК. Під час синтезу молекули РНК нуклеотиди приєднуються до її ланцюга за принципом комплементарності (мал. 22.1). Зверніть увагу, що навпроти аденілового нуклеотиду в ланцюзі ДНК розміщується уридиловий у ланцюзі РНК (а не тимідиловий, як під час синтезу ДНК).



Мал. 22.1. Принцип комплементарності в розміщенні нуклеотидів у ланцюгах ДНК і РНК



Мал. 22.2. Процес транскрипції

Транскрипція здійснюється великим комплексом ферментів, головним з яких є фермент ДНК-залежна РНК-полімераза (мал. 22.2). Така назва означає, що він створює полімерний ланцюжок РНК за зразком молекули ДНК.

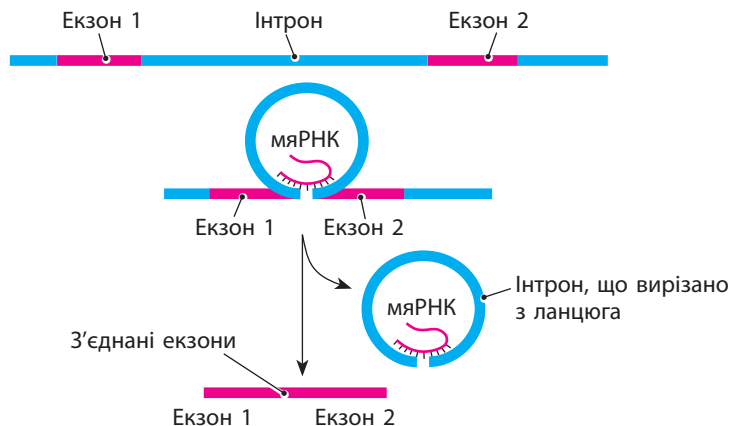
Процес транскрипції розпочинається, коли РНК-полімераза виявляє на ланцюзі ДНК зону промотора. Вона прикріплюється до ДНК у цій зоні й починає пересуватися вздовж її ланцюга. При цьому подвійна спіраль молекули ДНК розкручується, і РНК-полімераза зчитує інформацію лише з одного ланцюга ДНК. Вона розпізнає нуклеотиди на ланцюзі ДНК і приєднує відповідні нуклеотиди до ланцюга РНК (за принципом комплементарності). Нові нуклеотиди приєднуються до «хвоста» ланцюга РНК, що синтезується. Ділянка ДНК, з якої фермент уже зчитав інформацію, скручується знову. Процес транскрипції (синтез РНК) закінчується, коли РНК-полімераза досягає ділянки термінатора.

### Дозрівання (процесинг) РНК

Дозрівання РНК є важливим етапом реалізації спадкової інформації в еукаріотів. Воно є властивим для всіх типів РНК і не відбувається тільки в окремих випадках.

Під час дозрівання (процесингу) РНК відбувається:

- сплайсинг (виділення інтронів та з'єднання екзонів у синтезованій молекулі за допомогою мРНК) (мал. 22.3);
- додавання до початку молекули кількох модифікованих нуклеотидів, які допомагають транспортувати її в цитоплазму;
- додавання до кінця молекули РНК кількох молекул аденілових нуклеотидів (поліаденілювання), який допомагає транспортувати її в цитоплазму.

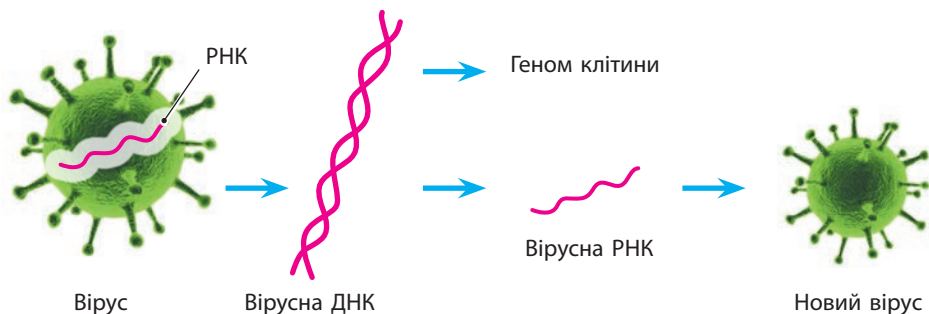


Мал. 22.3. Процес дозрівання РНК

Процес дозрівання дозволяє клітинам еукаріотів проводити так званий альтернативний сплайсинг, під час якого з однієї молекули РНК можуть утворюватися різні комбінації екзонів. При цьому утворюються різні білки з одного вихідного варіанта. Про масштаб цього процесу свідчить той факт, що в геномі людини трохи більше 20 000 генів, а в клітинах наявних білків нараховують понад 250 тисяч.

### Зворотна транскрипція

Крім процесу транскрипції в клітинах може відбуватися процес зворотної транскрипції. У цьому процесі події відбуваються у зворотному порядку порівняно зі звичайною транскрипцією. Здійснює його також комплекс ферментів, головним з яких є фермент *зворотна транскриптаза* (її часто називають *ревертазою*). Це спеціальний фермент, який будує ланцюжок ДНК за зразком ланцюжка РНК.



Мал. 22.4. Зворотна транскрипція

Принцип побудови також базується на явищі комплементарності. Навпроти гуанілового нуклеотиду РНК в ланцюжку ДНК розташовується цитиділовий нуклеотид, а навпроти цитиділового — гуаніловий. Уриділовий нуклеотид до складу ДНК не входить, тому навпроти аденілового нуклеотиду РНК в ланцюжку ДНК розташовується тиміділовий нуклеотид, а навпроти уриділового — аденіловий.

Особливо часто цей процес використовують віруси, у яких нуклеїнова кислота представлена РНК (мал. 22.4). Вони проникають у клітини живих організмів і там, за допомогою ферменту ревертази, зі своєї РНК утворюють ДНК. А вже ця ДНК вбудовується в геном клітини й починає контролювати процеси, які в ній відбуваються.



Для забезпечення дочірніх клітин копіями материнської ДНК використовується процес реплікації (подвоєння ДНК). Синтез потрібних клітині органічних молекул відбувається з використанням інформації, яка зберігається в ДНК клітини.

Першим етапом реалізації спадкової інформації є транскрипція — процес синтезу молекули РНК за зразком одного з ланцюгів молекули ДНК. Цей процес здійснюється ферментом РНК-полімеразою. Другим етапом є дозрівання РНК, який відбувається в ядрі клітини. При цьому з молекули РНК видаляються інтрони і до неї прикріплюються додаткові нуклеотиди, які допомагають під час транспортування молекули з ядра до цитоплазми.

### Перевірте свої знання

1. Які етапи виділяють у процесі реалізації спадкової інформації? 2. Що таке транскрипція? 3. Поясніть, у чому полягає принцип комплементарності в розміщенні нуклеотидів у молекулах ДНК і РНК. 4. Що відбувається у ході процесингу РНК? 5. Порівняйте між собою реплікацію і транскрипцію. 6. Використовуючи принцип комплементарності, установіть послідовність нуклеотидів на ділянці ДНК, яка утвориться під час реплікації ділянки ланцюга ДНК з послідовністю нуклеотидів: а) АГТТАЦГЦГААГТТТЦЦА, б) ЦГАААГТТАЦТЦЦГТТТА. 7. Використовуючи принцип комплементарності, установіть послідовність нуклеотидів на ділянці РНК, яка утвориться під час транскрипції ділянки ланцюга ДНК з послідовністю нуклеотидів: а) АГТТАЦГЦГААГТТТЦЦА, б) ТЦЦААГТЦГАТАЦГАГТТ. 8\*. Які переваги порівняно з прокаріотами надає еукаріотам наявність у них явища дозрівання РНК?

# 23 Трансляція



*Пригадайте, скільки амінокислот входить до складу білків. А скільки нуклеотидів містять нуклеїнові кислоти? Як утворюються різні рівні організації білкової молекули? І чому для нормального функціонування білка амінокислоти в ньому повинні розміщуватися у певному порядку? Повторіть, що таке кодон, і згадайте особливості будови й основну функцію рибосом.*

## Біосинтез білка

Як ви вже знаєте, наступним етапом реалізації спадкової інформації є трансляція.

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

Процес трансляції відбувається в рибосомі, яка міститься у цитоплазмі клітини. Слід відмітити, що одночасно на одній молекулі іРНК може «працювати» кілька рибосом. Кожна з них синтезує одну молекулу білка. А всі вони разом з іРНК утворюють структуру, яку називають полірибосомою.

Синтез відбувається згідно з генетичним кодом, тобто кожному триплету нуклеотидів іРНК відповідає певна амінокислота (див. таблицю генетичного коду на другому форзаці). Наприклад, триплету АУГ відповідає амінокислота метіонін (Мет), триплету АУЦ — амінокислота ізолейцин (Іле), а нуклеотиди УАА, УАГ та УГА є стоп-кодонами, вони свідчать про закінчення синтезу поліпептидного ланцюга.

На час синтезу білкової молекули в цитоплазмі обов'язково повинен бути повний набір необхідних амінокислот. Нагадаємо, що вони утворюються в результаті розщеплення білків, що потрапляють в організм з їжею або синтезуються у самому організмі.

Біосинтез білка, як і всі попередні етапи реалізації спадкової інформації, забезпечується енергією за рахунок розщеплення молекул АТФ.

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

### Перший етап трансляції – ініціація

Ініціація — початок синтезу поліпептидного ланцюга білкової молекули (мал. 23.1, А). На цьому етапі відбувається приєднання до ланцюга іРНК малої субодиниці рибосоми, розпізнавання на ньому старт-кодону, приєднання великої субодиниці рибосоми та транспорт до рибосоми першої амінокислоти, яка дає початок поліпептидному ланцюгу.

Старт-кодоном завжди є кодон АУГ. До нього приєднується молекула тРНК, що приносить до рибосоми амінокислоту метіонін, яка й буде першою амінокислотою майбутнього поліпептидного ланцюга. Молекула тРНК приєднується до молекули іРНК за допомогою свого триплету, який має назву антикодон, за принципом комплементарності.

### Другий етап трансляції – елонгація

Елонгація — нарощування поліпептидного ланцюга білкової молекули (мал. 23.1, Б). Після старт-кодона рибосома аналізує наступний кодон, розпізнає його та приєднує до нього відповідну молекулу тРНК, яка транспортує до рибосоми наступну амінокислоту. На мал. 23.1, Б наступним кодоном є ГУЦ, а наступною амінокислотою, яка транспортується за допомогою тРНК, — валін (Val).

Між двома амінокислотами виникає пептидний зв'язок, і пептидний ланцюг подовжується на цю амінокислоту. Молекула тРНК при цьому звільняється та покидає рибосому.

Після цього рибосома переміщується до наступного триплету іРНК, розпізнає його та приєднує наступну молекулу тРНК, яка приносить до рибосоми відповідну амінокислоту. Вона приєднується до попередньої амінокислоти, і поліпептидний ланцюг подовжується ще на одну амінокислоту.

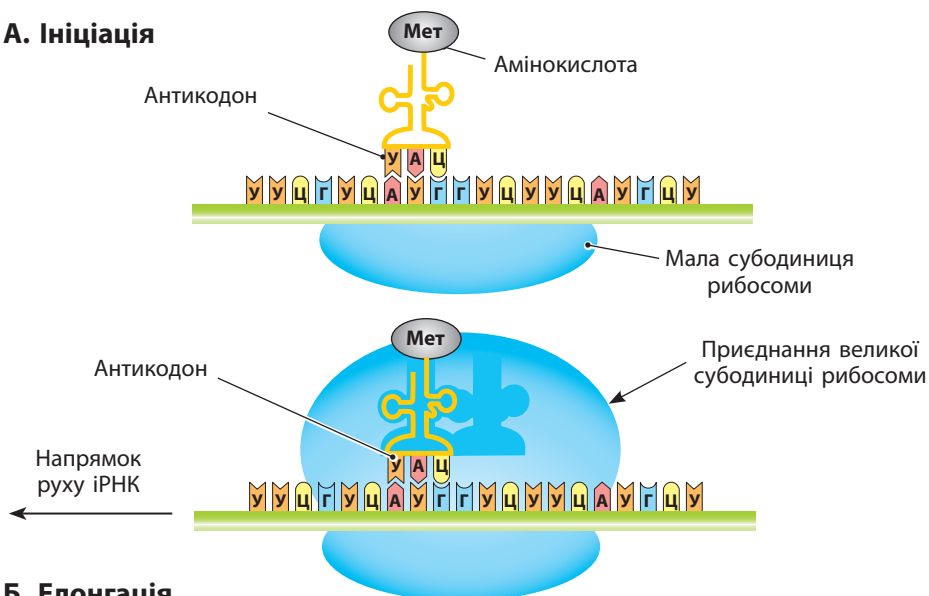
Процес подовження поліпептидного ланцюга молекули білка повторюється доти, поки рибосома не натрапить на один зі стоп-кодонів — УАА, УАГ або УГА.

### Третій етап трансляції – термінація

Із розпізнавання рибосомою стоп-кодону починається третій етап трансляції — термінація — завершення трансляції (мал. 23.1, В). На цьому етапі синтез поліпептидного ланцюга білкової молекули завершується, рибосома знову розпадається на малу та велику субодиниці, молекули тРНК та іРНК звільняються.

Субодиниці рибосом після завершення синтезу поліпептидного ланцюга можуть приєднатися до нової молекули іРНК, а молекули тРНК — захопити нові молекули амінокислот і транспортувати їх до місця синтезу іншого білка.

## А. Ініціація



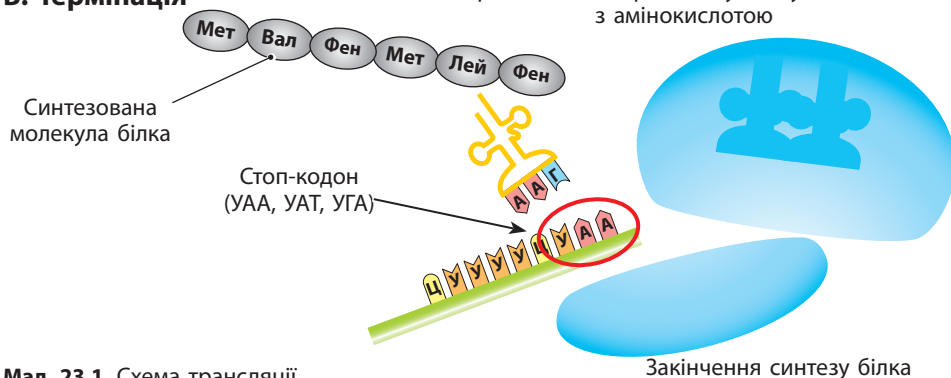
## Б. Елонгація

Утворення пептидного зв'язку



## В. Термінація

Проникнення в рибосому наступної тРНК з амінокислотою



Мал. 23.1. Схема трансляції

## Дозрівання білка

Після закінчення синтезу може відбуватися процес дозрівання білка. У ході цього процесу деякі ділянки білків можуть вирізатися спеціальними ферментами, білок може змінювати свою форму, об'єднуватися з іншими білками чи приєднувати до себе небілкову частину.

Дозрівання потрібне тому, що білок, який тільки синтезовано, ще не здатен виконувати свої функції. Наслідком дозрівання є втрата деяких амінокислот, розташованих на кінцях ланцюга, та остаточне формування вторинної, третинної і четвертинної структур молекули.

## Використання таблиці генетичного коду

Для того щоб установити послідовність амінокислот, яка закодована на ділянці ДНК, слід використовувати таблицю генетичного коду на форзаці підручника.

Спочатку, використовуючи принцип комплементарності, визначте будову ланцюга іРНК, який утворюється на наведеній ділянці ДНК.

Наприклад, ланцюг ДНК: ТАЦГАТ.

Ланцюг іРНК: АУГЦУА.

Потім визначте триплети, які входять до складу іРНК: АУГ та ЦУА.

Перший нуклеотид триплету вказує на рядок, в якому слід шукати амінокислоту, що він кодує, а другий нуклеотид — стовпець. Комірка, яка відповідає вибраним стовпцю та рядку, містить чотири назви амінокислоти. Та з них, яка потрібна, визначається за розташуванням навпроти третього нуклеотиду триплету (вказаний у крайній правій колонці таблиці).

Для триплету АУГ це буде метіонін, для триплету ЦУА — лейцин.

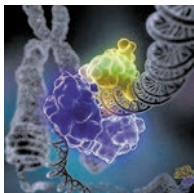


Під час трансляції інформація з іРНК переводиться в послідовність амінокислот синтезованого білка згідно з генетичним кодом. Відбувається цей процес у рибосомах і складається з трьох етапів — ініціації, елонгації і термінації. Після трансляції відбувається процес дозрівання білків.

## Перевірте свої знання

1. Що таке трансляція? 2. З яких етапів складається трансляція? 3. Яку функцію виконують стоп-кодони? 4. Який кодон є старт-кодоном? 5. Визначте продукти, які утворюються внаслідок транскрипції та наступної трансляції ділянки ДНК: ТАЦАААГТАТТЦАЦТ. 6\*. Деякі антибіотики діють на трансляцію в клітинах прокаріотів, але не діють на трансляцію в клітинах еукаріотів. Чому таке можливо?

# 24 Репарація ДНК



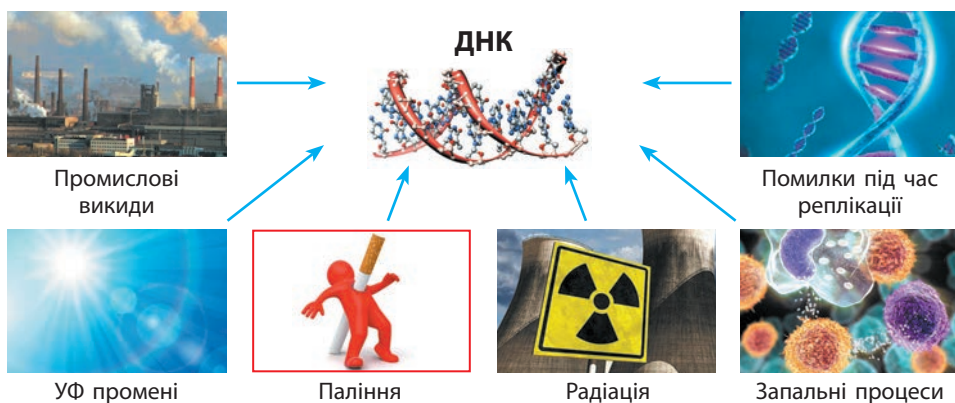
*Ви вже ознайомилися з особливостями генетичного коду. А до яких наслідків може призвести порушення послідовності нуклеотидів у ДНК на ділянці структурного гена? Чи може це вплинути на структуру білкового ланцюга?*

## Причини й можливі наслідки пошкодження ДНК

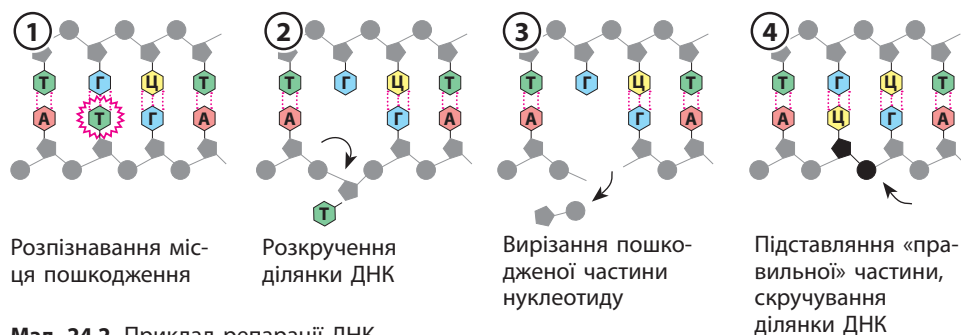
Молекула ДНК, як і будь-яка інша молекула, може зазнати пошкодження. Ці пошкодження можуть бути різними. Може бути пошкоджено один нуклеотид або відразу пару нуклеотидів. Може статися розрив одного з ланцюгів ДНК або навіть обох ланцюгів одночасно.

Причин для таких пошкоджень може бути досить багато (мал. 24.1). Часто ДНК пошкоджують ультрафіолетове та радіоактивне випромінювання. Суттєвою небезпекою є деякі хімічні сполуки. Крім того, причиною пошкодження може бути помилка під час реплікації. Так, під час реплікації замість одного нуклеотиду в ланцюг випадково може потрапити інший. Хоча трапляється таке дуже рідко.

Наслідки таких пошкоджень для клітин можуть бути негативними. Гени, структура яких порушується, можуть перестати виробляти свої продукти — РНК або білки. Наприклад, у результаті пошкодження один із кодонів усередині молекули РНК буде кодувати не амінокислоту, а стоп-кодон. Тоді синтезується тільки половина



**Мал. 24.1.** Поширені причини виникнення пошкоджень ДНК



**Мал. 24.2.** Приклад репарації ДНК

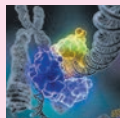
молекули білка. Зрозуміло, що така молекула не зможе працювати й виконувати свої функції.

### Процеси репарації ДНК

Процес, який дозволяє живим організмам усувати пошкодження, що виникають у ДНК, називають **репарацією**. Більшість репараційних механізмів базуються на тому, що ДНК — це дволанцюгова молекула. Тобто в клітині є дві копії генетичної інформації. Якщо одна з них пошкоджується, то її можна відновити за допомогою другої копії, взявши її за зразок.

Процес репарації відбувається в кілька етапів (мал. 24.2). Для його здійснення клітини використовують спеціальні ферменти.

Пошкодження ДНК можуть бути різними. Для кожного з них існують свої системи репарації. Одні дефекти можуть бути виправленими за допомогою лише одного ферменту, інші вимагають участі комплексу ферментів.



Під впливом таких факторів, як ультрафіолетове чи радіаційне випромінювання, дія певних хімічних сполук або помилки під час реплікації в молекулах ДНК, можуть виникати пошкодження. Для виправлення пошкоджень ДНК у клітинах існує система репарації ДНК.

### Перевірте свої знання

1. Які фактори можуть пошкоджувати ДНК? 2. Які типи пошкоджень можуть виникати в ДНК? 3. Що таке репарація ДНК? 4. Пояснить, які процеси здійснюють різні ферменти під час репарації ДНК. 5. Чому для проведення репарації ДНК потрібен не один фермент, а цілий комплекс ферментів? 6\*. Чому заміна в молекулі білка однієї амінокислоти на іншу може призвести до суттєвого порушення роботи білка?

# 25 Клітинний цикл. Мітоз

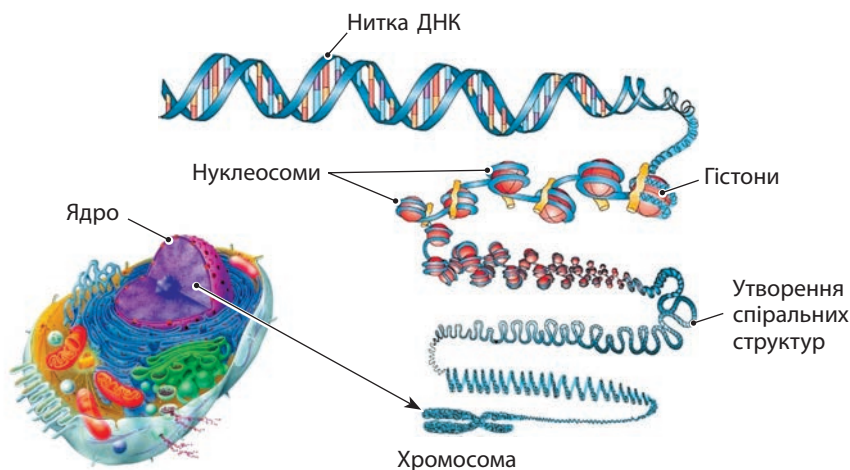


Ви вже ознайомилися з органами еукаріотичних клітин. Пригадайте, які функції виконує ядро клітини. Які компоненти входять до складу ядра? Де зберігається спадкова інформація в клітинах прокаріотів?

## Хромосоми еукаріотичних клітин

Як ви вже знаєте, ДНК у ядрах клітин еукаріотів утворює складний комплекс із білками — *хроматин*. Хроматин має вигляд нитки (подвійного ланцюга) ДНК, яка намотується навколо невеличких білкових кульок, утворених спеціальними білками — *гістонами*. Білкові кульки з намотаною ниткою ДНК називають нуклеосомами. Вони можуть скручуватися у просторі, утворюючи тоненьку спіраль. А ця спіраль здатна скручуватися в спіраль більшого діаметра, а потім ще більшого й ще (мал. 25.1).

Процес скручування ДНК називають **спіралізацією**, або **конденсацією**, хроматину. Його результатом є те, що дуже довга нитка ДНК ви-



Мал. 25.1. Упакування ДНК у ядрі клітини

являється упакованою в дуже маленькому об'ємі. Але якщо надто сильно упакувати ДНК, то з неї неможливо буде зчитувати спадкову інформацію. Тому хроматин у ядрах клітин більшу частину часу не надто спіралізований: ті його ділянки, які потрібні для роботи клітини, майже не скручені, а ті, що клітиною в певний момент не використовуються, спіралізовані сильніше.

### Підготовка клітини до поділу

Перед поділом клітини спіралізація хроматину стає найдужчою, бо так набагато легше правильно розподілити ДНК між клітинами, які утворяться внаслідок поділу. Наслідком такого ступеня спіралізації є утворення хромосом — компактних структур із ДНК і білків. Кожна окрема нитка ДНК з білками має вигляд палички (це і є хромосома).

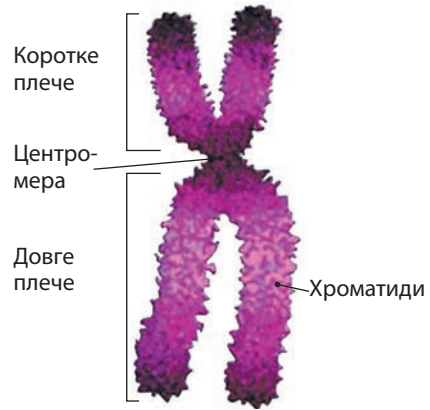
Але перед поділом клітини відбувається надзвичайно важливий процес — подвоєння всієї ДНК клітини. Тому кожна хромосома на початку поділу клітини складається з двох однакових паличок — *хроматид*, з'єднаних між собою в зоні спеціалізованих ділянок ДНК — *центромер*. Центромера є на кожній хроматиді. По різні боки від центромери розташовані *плечі* хромосоми. Тому на початку поділу клітини хромосоми мають X-подібну (читається як «ікс-подібну») форму (мал. 25.2).

У клітинах еукаріотів кожна хромосома присутня в ядрі у двох копіях. Організм отримує по одній копії хромосоми від кожного зі своїх батьків. Такі хромосоми називають **гомологічними**.

### Клітинний цикл

Клітинний цикл — це період існування клітини від моменту її утворення шляхом поділу материнської клітини до власного поділу або загибелі.

Він складається з двох основних частин — процесу поділу й інтерфази. Під час інтерфази в клітинах відбувається багато процесів, зокрема процес реплікації (подвоєння) ДНК, синтез РНК, білка та інших речовин. Клітини ростуть і накопичують речовини, необхідні для наступного поділу.



**Мал. 25.2.** Будова хромосоми на початку поділу клітини

Поділ клітин може відбуватися по-різному. Прокаріотичні клітини діляться переважно шляхом простого поділу. У такому разі їхня бактеріальна хромосома (нуклеоїд) подвоюється шляхом реплікації. Нова копія прикріплюється до клітинної мембрани, після чого між ними формується нова клітинна стінка.

В еукаріотів процеси під час поділу є більш складними через наявність ядра та спадкового матеріалу у вигляді хромосом. У більшості випадків поділ еукаріотичних клітин відбувається у формі мітотичного або мейотичного поділу.

### Мітотичний поділ

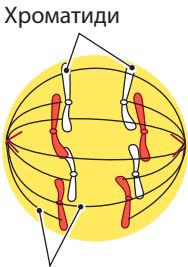
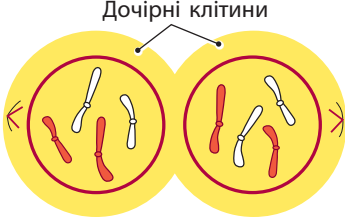
**Мітотичний поділ** — це поділ клітин, який відбувається під час нестатевого розмноження, а також під час росту й розвитку організмів. Такий поділ забезпечує збільшення кількості клітин, а також заміщення соматичних клітин. Мітотичний поділ складається з двох основних частин — **мітозу** (поділу ядра) і **цитокінезу** (поділу цитоплазми). А сам мітоз поділяють на чотири фази — профазу, метафазу, анафазу й телофазу.

В еукаріотів у результаті мітотичного поділу з однієї материнської клітини утворюються дві дочірні. При цьому дочірні клітини отримують таку саму кількість хромосом, що й мала материнська клітина.

Інша частина клітинного циклу — інтерфаза — зазвичай триває значно довше, ніж поділ клітини. В цій фазі відбувається синтез молекул АТФ і білків, збільшення кількості основних органел цитоплазми, подвоєння молекул ДНК тощо.

### Фази мітозу

| Профаза                                                                                                                                                                                                                   | Метафаза                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Спіралізація й утворення X-подібних хромосом. Розпадання ядерних оболонок на фрагменти і зникнення ядерець. Початок утворення веретена поділу — структури, яка потім розподілить хромосоми між дочірніми клітинами</p> | <p>Розміщення хромосом по екватору клітини та прикріплення мікротрубочок веретена поділу до центромер хроматид</p> |

| Анафаза                                                                                                                                                                                                      | Телофаза                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Роз'єднання хроматид, розходження їх до полюсів клітини. Із цього моменту хроматиди називають дочірніми хромосомами</p> |  <p>Зникнення веретена поділу. Формування нових ядерних оболонок та ядерців, деспіралізація хромосом. Після завершення телофази відбувається розділення цитоплазми (цитокінез) та утворення дочірніх клітин</p> |



У деяких спеціалізованих клітинах окремих організмів (наприклад, у слинних залозах деяких мух та комарів) у період інтерфази утворюються велетенські політенні хромосоми. Вони складаються з багатьох ниток ДНК (більше 1000), які після подвоєння не розходяться, а залишаються разом. Такі хромосоми дозволяють значно збільшити синтез окремих білків або інших молекул. Велике ядро інфузорії *Oxytricha trifallax* містить 16 000 хромосом, кожна з яких представлена великою кількістю (до 2 000) копій. Таким чином, загальна кількість хромосом у цьому ядрі становить кілька мільйонів. Але більшість таких хромосом містять лише по одному гену.



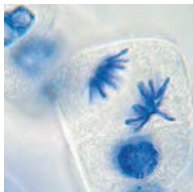
Клітинний цикл будь-якої клітини триває від початку одного поділу до початку наступного. Він складається з двох основних частин — процесу поділу й інтерфази.

У більшості випадків поділ еукаріотичних клітин відбувається у формі мітотичного поділу. Клітини, які утворюються в результаті цього поділу, отримують ту саму кількість хромосом, яку мала материнська клітина.

### Перевірте свої знання

1. Що таке хромосома? Які речовини входять до її складу? 2. Що таке клітинний цикл? 3. Які особливості клітинного циклу в прокаріотів? 4. На які фази поділяється мітоз? 5. Які процеси відбуваються в профазі й метафазі мітозу? 6. Які процеси відбуваються в анафазі й телофазі мітозу? 7. Яким чином під час мітозу забезпечується однаковий розподіл ДНК між дочірніми клітинами? 8\*. Чому прокаріотичним клітинам не потрібний такий складний спосіб поділу, як мітотичний?

# 26 Мейоз. Статеві клітини та запліднення



Ви вже ознайомилися з процесами розмноження рослин і тварин. Які способи розмноження є в живих організмів? Чим статеве розмноження відрізняється від нестатевого? Яка система організму відповідає за утворення статевих клітин (гамет)?

## Мейоз

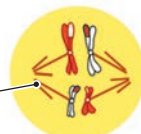
**Мейоз** — це поділ клітин, який відбувається під час гаметогенезу. Результатом мейозу є утворення статевих клітин (гамет).

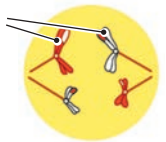
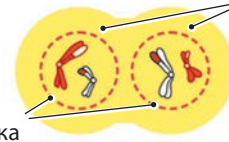
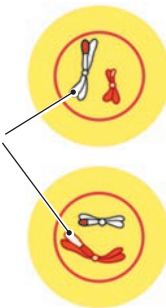
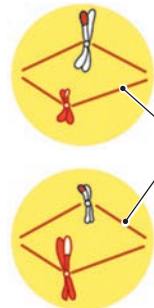
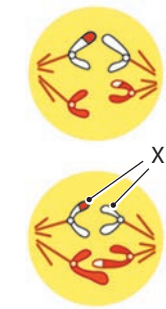
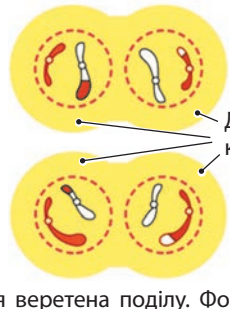
Під час мейозу відбувається два поділи клітини, у результаті яких з однієї материнської клітини утворюються чотири дочірні. При цьому дочірні клітини отримують удвічі меншу кількість хромосом і половину генетичного матеріалу, які мала материнська клітина. Учені кажуть, що відбувається процес *редукції* (зменшення кількості) хромосом, і називають мейоз **редукційним поділом**.

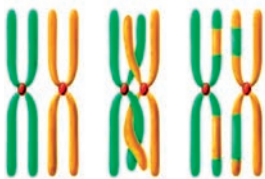
Поділи мейозу позначають як мейоз I і мейоз II. Фази обох поділів мають такі самі назви, як і фази мітозу. Щоб розрізнити, про який поділ ідеться, до назв фаз додають відповідну цифру.

Між двома поділами триває коротка інтерфаза, під час якої подвоєння ДНК не відбувається.

### Фази мейозу

| Мейоз I (перший поділ)                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Профаза I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Метафаза I                                                                                                                                                                                                                                        |
|  <p>Хромосоми</p> <p>Ядро</p> <p>Спіралізація й утворення X-подібних хромосом. З'єднання гомологічних хромосом в одну структуру, обмін у них ділянками ДНК (процес кросинговеру). Розпадання ядерних оболонок на фрагменти і зникнення ядерця</p> |  <p>Веретено поділу</p> <p>Розміщення з'єднаних гомологічних хромосом по екватору клітини та прикріплення мікротрубочок веретена поділу до їхніх центромер</p> |

| Анафаза I                                                                                                                                                                                                                       | Телофаза I                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Гомологічні хромосоми</p> <p>Розділення гомологічних хромосом та їх розходження до різних полюсів клітини</p>                              |  <p>Дочірні клітини</p> <p>Ядерна оболонка</p> <p>Зникнення веретена поділу. Формування нових ядерних оболонок і ядерців. Деспіралізація хромосом. Розділення цитоплазми (цитокінез) та утворення двох дочірніх клітин</p> |
| Мейоз II (другий поділ)<br>Відбувається одночасно в обох клітинах, які утворилися після першого поділу                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Профаза II                                                                                                                                                                                                                      | Метафаза II                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|  <p>Гомологічні хромосоми</p> <p>Розпадання ядерних оболонок. Спіралізація хромосом. Утворення веретена поділу</p>                             |  <p>Веретено поділу</p> <p>Розміщення хромосом по екватору клітини та прикріплення мікротрубочок веретена поділу до центромер хроматид</p>                                                                                 |
| Анафаза II                                                                                                                                                                                                                      | Телофаза II                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|  <p>Хроматиди</p> <p>Роз'єднання хроматид, розходження їх до полюсів клітини. Із цього моменту хроматиди називають дочірніми хромосомами</p> |  <p>Дочірні клітини</p> <p>Зникнення веретена поділу. Формування нових ядерних оболонок. Розділення цитоплазми (цитокінез) та утворення дочірніх клітин</p>                                                              |



Мал. 26.1. Кросинговер



Мал. 26.2. Статеві клітини ссавців

## Рекомбінація ДНК

**Рекомбінацією** називають процес, коли ланцюжки ДНК розриваються на окремі фрагменти, які потім об'єднуються в іншому порядку. У клітинах еукаріотів рекомбінація зазвичай відбувається під час профазі першого поділу мейозу й відома під назвою «кросинговер» (перехресчування хромосом).

У кросинговері беруть участь гомологічні хромосоми. Вони розрізаються спеціальними ферментами в кількох місцях, а потім обмінюються однаковими ділянками і знову зшиваються ферментами в цілу хромосому.

Під час кросинговеру відбувається рекомбінація генів обох батьків особини, які розташовані у гомологічних хромосомах (мал. 26.1).

## Статеві клітини

**Статеве розмноження** — це тип розмноження, за якого утворюються статеві клітини (гамети) і відбувається процес запліднення. Статеві клітини (мал. 26.2) утворюються в результаті гаметогенезу. Вони містять тільки по одній хромосомі з кожної пари гомологічних хромосом. Статеві клітини в різних групах живих організмів можуть мати різні розміри, форму й рухливість.

### Особливості статевих клітин ссавців

| Характеристика     | Сперматозоїд                                                                                                                                                                                                                             | Яйцеклітина                                                                                                                                                                  |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Розмір             | Малий                                                                                                                                                                                                                                    | Велика                                                                                                                                                                       |
| Рухливість         | Рухливий                                                                                                                                                                                                                                 | Нерухома                                                                                                                                                                     |
| Особливості будови | Має головку, шийку і хвіст. Головка майже повністю складається з ядра, вкритого тонким шаром цитоплазми. Спереду на головці є акросома — гострий твердий горбик, який містить фермент, що сприяє проникненню сперматозоїда в яйцеклітину | Має особливий поверхневий шар цитоплазми і спеціальні оболонки, що її покривають. Містить запасні поживні речовини у вигляді жовтка, необхідні для розвитку нового організму |
| Функції            | Доставляє генетичний матеріал самців до яйцеклітин самок                                                                                                                                                                                 | Забезпечує початкові етапи розвитку нового організму поживними речовинами                                                                                                    |

## Запліднення

Заплідненням називають процес з'єднання (злиття) зрілої чоловічої й жіночої статевих клітин, у результаті якого утворюється одна клітина (зигота), що є початком нового організму. Залежно від особливостей розмноження певних організмів запліднення може відбуватися різними способами. Розрізняють зовнішнє і внутрішнє запліднення.

Зовнішнє запліднення поширене серед водяних організмів. У цьому випадку гамети обох батьків виділяються у воду і вже там зустрічаються. Перевагою зовнішнього запліднення є те, що воно не вимагає наявності спеціальних пристосувань для запліднення.

Під час внутрішнього запліднення зустріч гамет відбувається всередині тіла жіночої особини. Завдяки тому, що таке запліднення відбувається в сприятливих умовах, ризик загибелі статевих клітин знижується. Крім того, стає можливим розвиток нащадків усередині організму матері. Це підвищує їхні шанси на виживання.



Інколи кросинговер може відбуватися не під час мейозу, а під час мітозу. Це явище називають мітотичним кросинговером. Воно було виявлено в деяких грибів, ссавців і комах.



Мейоз — це поділ клітин, у результаті якого утворюються статеві клітини (гамети), які містять удвічі менше ДНК, ніж звичайні клітини. Під час мейозу в клітинах еукаріотів відбувається рекомбінація ДНК (кросинговер). Заплідненням називають процес з'єднання (злиття) зрілої чоловічої й жіночої статевих клітин, у результаті якого утворюється одна клітина (зигота), що є початком нового організму.

## Перевірте свої знання

1. Які клітини називають гаметами? 2. У результаті якого процесу утворюються гамети? 3. Які характерні риси притаманні сперматозоїдам ссавців? 4. Які характерні риси притаманні яйцеклітинам ссавців? 5. Які переваги та недоліки має зовнішнє запліднення? 6. Чому редукційним вважають перший поділ мейозу? 7. Поясніть, яким чином кількість ДНК у клітині під час мейозу зменшується вдвічі. 8\*. Які переваги мають чоловічі й жіночі гамети різних розмірів перед гаметами однакового розміру? 9\*. Яке біологічне значення може мати рекомбінація ДНК?

# 27 Закономірності індивідуального розвитку



*Під час попереднього курсу біології ви вже ознайомилися з особливостями розвитку різних груп рослин і тварин. Пригадайте, як відбуваються ці процеси. Які типи розвитку притаманні тваринам? Чим вони відрізняються між собою?*

## Періоди онтогенезу рослин

Як вам відомо, **онтогенез** — це індивідуальний розвиток організму від моменту його зародження статевим або нестатевим способом до смерті. Онтогенез поділяється на кілька періодів. Хоча загальна послідовність подій в онтогенезі живих організмів є схожою, ці періоди є різними для різних систематичних груп. Так, дуже різноманітними є варіанти онтогенезу у водоростей. У них часто трапляються складні життєві цикли. У наземних рослин різноманітність варіантів онтогенезу не така велика. Найбільшою наземною групою рослин є квіткові. У них виділяють чотири основні періоди онтогенезу — латентний, прегенеративний, генеративний і постгенеративний.

### Періоди онтогенезу покритонасінних рослин

| Період онтогенезу | Коли починається                                                             | Що відбувається                                                                        |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Латентний         | З моменту відділення насінини від материнської особини                       | Насінина перебуває в стані спокою з мінімальною інтенсивністю процесів життєдіяльності |
| Прегенеративний   | З моменту проростання зародка                                                | Ріст рослини й накопичення нею поживних речовин                                        |
| Генеративний      | З моменту початку формування генеративних органів                            | Генеративні органи функціонують. Рослини квітнуть і плодоносять                        |
| Постгенеративний  | З моменту закінчення функціонування генеративних органів до загибелі рослини | Процеси відмирання починають переважати над процесами новоутворення                    |

## Періоди онтогенезу тварин

Онтогенез тварин зазвичай поділяють на два головні періоди — ембріональний і постембріональний. *Ембріональний період* (ембріо-



Мал. 27.1. Постембріональний розвиток тварин

генез) триває від моменту запліднення до народження (виходу з яйцевих оболонок). *Постембріональний* — від моменту народження до смерті тварини.

Постембріональний розвиток тварин може бути прямим або супроводжуватися перетворенням — метаморфозом (мал. 27.1).

#### Етапи постембріонального розвитку ссавців

| Етап       | Коли починається                                                                                         | Що відбувається                                                                                              |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ювенільний | З моменту народження                                                                                     | Ріст і розвиток організму                                                                                    |
| Зрілість   | З моменту настання статевої зрілості                                                                     | Утворення і ріст нових органів не відбувається. Обмін речовин збалансований. Відбувається розмноження тварин |
| Старіння   | З моменту, коли процеси відмирання починають переважати над процесами новоутворення, до загибелі тварини | Відбуваються зміни, які знижують його адаптаційні можливості                                                 |



Онтогенез рослин поділяють на кілька періодів — латентний, прегенеративний, генеративний і постгенеративний. Онтогенез тварин зазвичай поділяють на два головні періоди — ембріональний і постембріональний.

У постембріональному періоді виділяють кілька етапів — ювенільний, зрілість, старіння. Розвиток організму в цей період може відбуватися з метаморфозом або бути прямим.

#### Перевірте свої знання

1. Що таке онтогенез? 2. Які етапи виділяють в онтогенезі рослин? 3. Які етапи виділяють в онтогенезі тварин? 4. Поясніть значення для рослин різних періодів у їхньому онтогенезі. 5. Поясніть значення для тварин різних періодів у їхньому онтогенезі. 6\*. Життєвий цикл із метаморфозом у комах вимагає суттєвої перебудови організму в один з періодів життя. Це створює багато складнощів. Чому ж такий тип життєвого циклу є дуже поширеним?

Узагальнюючі завдання до теми «Збереження та реалізація спадкової інформації»

У завданнях 1–12 оберіть одну правильну відповідь.

- 1** Найменший розмір геному серед наведених організмів має:  
а) шовкопряд                                                  в) тополя  
б) кишкова паличка                                      г) людина
- 2** Ділянка гена, яка розпочинає синтез молекули РНК:  
а) промотор  
б) термінатор  
в) РНК-полімераза  
г) ДНК-полімераза
- 3** Яка фаза є передостанньою фазою мітозу?  
а) анафаза                                                        в) профаза  
б) метафаза                                                     г) телофаза
- 4** Кількість нуклеотидів, які входять до складу кодона:  
а) 1                                                                б) 2                                                                в) 3                                                                г) 4
- 5** Ген у клітинах еукаріотів виконує функцію:  
а) накопичення поживних речовин  
б) реалізації спадкової інформації  
в) організації хромосом у мітозі  
г) утворення клітинної стінки бактерій
- 6** Кількість послідовних поділів клітини, які відбуваються в процесі мейозу:  
а) 1                                                                б) 2                                                                в) 3                                                                г) 4
- 7** Видаляється в процесі дозрівання молекули РНК:  
а) термінатор    б) промотор                                              в) екзон                                                        г) інтрон
- 8** Інтрони присутні:  
а) у хромосомі півня  
б) у рибосомі евглени  
в) у хлоропласті клітини жита  
г) у геномі холерного вібріона





## Закономірності успадкування ознак

# 28

### Генотип та фенотип. Алелі. Методи генетичних досліджень



*Під час вивчення попередньої теми ви вже дізналися, що існує наука генетика. А що вивчає генетика? Ви вже знаєте також, що таке ген. Пригадайте визначення гена. У яких структурах клітини містяться гени?*

### Генотип і фенотип

Важливими поняттями в генетиці є поняття генотипу й фенотипу. **Генотип** — це система генів організму, які мають прояв у фенотипі. Словосполучення «система генів» використовується тому, що більшість ознак виникають у результаті взаємодії генів. Генотип є спадковою основою організму. Він контролює формування всіх його ознак, тобто його фенотипу.

**Фенотип** — це система зовнішніх і внутрішніх ознак організму, що сформувалися в результаті реалізації спадкової інформації в конкретних умовах середовища (мал. 28.1). Протягом життя організму фенотип змінюється. Межі, у яких змінюються фенотипові прояви генотипу, називаються **нормою реакції**.

### Алелі

Дуже важливим для розуміння основ генетики є поняття алеля. З точки зору генетики, **алель** є одним із можливих варіантів прояву гена. Наприклад,

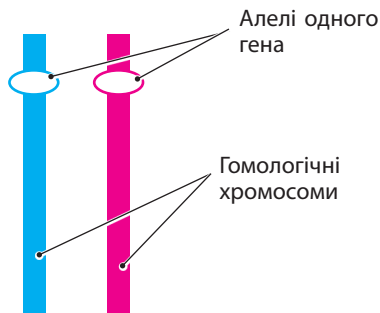


Достатнє зволоження



Недостатнє зволоження

**Мал. 28.1.** Вплив умов середовища на розвиток ознак організму: зростання в різних умовах зволоження



**Мал. 28.2.** Розміщення алелів одного гена в гомологічних хромосомах



$BB$  або  $Bb$

Особина, гомозиготна за домінантним алелем, або гетерозиготна особина



$bb$

Особина, гомозиготна за рецесивним алелем

**Мал. 28.3.** Зовнішній прояв дії домінантного та рецесивного алелів у особин із різним генотипом

ген, який відповідає за забарвлення насінин гороху, має два варіанти (алелі). Один із них забезпечує жовте забарвлення насінин, а інший — зелене. Існують гени, які представлені лише одним варіантом (алелем). Є також гени з двома, трьома або багатьма алелями.

Як ви знаєте, кожний ген розташований у певній ділянці однієї з хромосом (цю ділянку називають *локусом* цього гена). В конкретній хромосомі може розташовуватися тільки один із варіантів (алелів) цього гена. Але, як ви вже знаєте, в ядрах еукаріотів містяться по дві однакові (гомологічні) хромосоми. Тому в кожній клітині є по два екземпляри кожного гена (мал. 28.2).

Якщо гомологічні хромосоми особини містять однакові алелі певного гена, її називають **гомозиготою** за цим алелем (від грец. *гомо* — однаковий), якщо різні — **гетерозиготою** (від грец. *гетеро* — різний). Наприклад, якщо обидва алелі гена забезпечують жовте забарвлення насінин гороху, то така рослина буде гомозиготною за геном забарвлення насінин. Якщо один алель забезпечує жовте забарвлення, а другий — зелене, то така рослина буде гетерозиготною за цим геном.

Алелі одного гена можуть взаємодіяти між собою. При цьому один із них може не проявляти свою дію у присутності іншого або проявляти неповністю. Розрізняють два типи алелів — домінантний і рецесивний.

**Домінантний алель** — це алель, який проявляється у фенотипі гетерозиготного організму. **Рецесивний алель** — це алель, який не проявляється у фенотипі гетерозиготного організму. Наприклад, якщо рослина є гетерозиготою за геном забарвлення квітки, тобто містить два алелі гена забарвлення квітки — бузковий і білий, і алель бузкового кольору є домінантним, то квітка буде мати бузковий колір. А якщо

рослина буде гомозиготою за рецесивним алелем, то квітка буде білою (мал. 28.3).

### Методи генетичних досліджень

Генетика використовує багато методів для проведення досліджень. Деякі з них мають давню історію, а деякі виникли нещодавно.

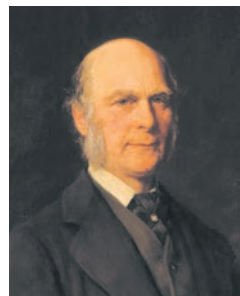
#### Методи генетичних досліджень

| Метод досліджень            | Особливості методу                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Гібридо-логічний            | Полягає в схрещуванні (гібридизації) організмів, які відрізняються між собою за однією чи кількома спадковими ознаками. Наприклад, за забарвленням насінин, формою крил, довжиною ніг тощо. Нашадків, одержаних від такого схрещування, називають гібридами. Гібридизація є основою гібридологічного аналізу — дослідження характеру успадкування ознак за допомогою системи схрещувань      |
| Генеалогічний               | Полягає у вивченні родоводів організмів. Це дає змогу простежити характер успадкування різних станів певних ознак у ряді поколінь. За його допомогою можна вираховувати ймовірність прояву певної ознаки в майбутніх нащадків. Наприклад, можна вирахувати ймовірність народження дитини з блакитними очима в родині, якщо чоловік і жінка мають карі очі, а їхні матері були блакитнооокими |
| Популяційно-статистичний    | Полягає у вивченні частоти зустрічальності різних алелів у популяціях організмів. Крім генетики популяцій, його застосовують і в медичній генетиці для вивчення спадкових захворювань                                                                                                                                                                                                        |
| Цито-генетичний             | Полягає у вивченні набору хромосом (каріотипу) організмів. Дає змогу виявляти спадкові захворювання. Цей метод також застосовують і в систематиці організмів (каріосистематика). Так, людина має 23 пари хромосом, а дріозофіла — 4 пари                                                                                                                                                     |
| Біохімічний                 | Полягає у вивченні особливостей біохімічних процесів у організмів із різними генотипами. Використовується для діагностики спадкових захворювань, пов'язаних із порушенням обміну речовин                                                                                                                                                                                                     |
| Близнюковий                 | Полягає у вивченні близнят. Досліджуючи близнят, можна з'ясувати роль чинників довкілля у формуванні фенотипу особин: різний характер їхнього впливу зумовлює розбіжності прояву тих чи інших ознак                                                                                                                                                                                          |
| Методи генетичної інженерії | Технології, за допомогою яких учені виділяють з організмів окремі гени або синтезують їх штучно, перебудовують певні гени, вводять їх у інші клітини чи організми                                                                                                                                                                                                                            |

Гібридологічний метод досліджень люди використовували задовго до появи генетики як науки. Ще до нашої ери на Близькому Сході існувала практика штучного запилення фінікових пальм. Застосовували цей метод і пізніше. До відкриття законів Менделя було створено багато порід тварин і сортів рослин. І в багатьох випадках під час їх створення застосовували гібридизацію.

Генеалогічний метод також має давню історію. У період середньовіччя в країнах Європи було накопичено багато матеріалу з родоводу коней та собак різних порід.

Близнюковий метод було запропоновано Ф. Гальтоном (мал. 28.4) у другій половині XIX століття. А біохімічний, цитогенетичний і популяційно-статистичний методи ввійшли в наукову практику вже у XX столітті, після того як з'явилися відповідні технології біохімічного і математичного аналізу та забарвлення хромосом. Методи генетичної інженерії почали розробляти у другій половині XX століття.



Мал 28.4. Френсіс Гальтон (1822–1911)



Система генів організму, які мають прояв у фенотипі, називається генотипом, а система зовнішніх і внутрішніх ознак організму, що сформувалися в результаті реалізації спадкової інформації в конкретних умовах середовища, — фенотипом. Гени можуть проявлятися в кількох різних варіантах (алелях). Розрізняють два типи алелей — домінантний (проявляється в гетерозиготному стані) і рецесивний (не проявляється в гетерозиготному стані). У генетичних дослідженнях використовують такі методи: гібридологічний, генеалогічний, цитогенетичний, біохімічний та інші.

### Перевірте свої знання

1. Що таке генотип і фенотип? 2. Що таке алель? 3. Які існують типи алелів? 4. На конкретному прикладі поясніть, як фенотип організму може змінюватися у процесі його розвитку. 5. Чим відрізняються між собою поняття «геном» і «генотип»? 6\*. У рослині алель одного з генів забезпечує синтез ферменту, що каталізує реакцію пігменту, який забарвлює оцвітину квітки в пурпурний колір. Інший алель цього гена забезпечує синтез молекули, яка має відмінну просторову будову й не може здійснювати каталіз. Який із цих алелів і чому буде домінантним?

# 29

## Закони Менделя



*Ви вже знаєте, що таке ген. Де в клітині розташовані гени? Пригадайте, яку будову має ген. Що таке алелі гена? Які бувають алелі? Чим генотип відрізняється від фенотипу? Які хромосоми називають гомологічними?*

### Схрещування організмів

Для проведення дослідів з генетики й селекції вчені здійснюють схрещування організмів і досліджують батьківські організми та організми першого, другого й наступних поколінь. Залежно від кількості генів, які аналізуються, розрізняють моногібридне (один ген), дигібридне (два гени) і полігібридне (багато генів) схрещування. Результати дослідів записують у вигляді схем схрещування. Для цього використовують спеціальні символи (див. с. 118).

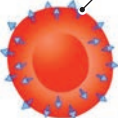
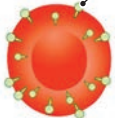
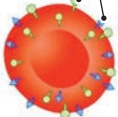
Нащадки, які утворюються в результаті схрещування, можуть відрізнитися між собою як за фенотипом, так і за генотипом. У такому випадку кажуть, що відбулося **розщеплення** ознаки у нащадків за генотипом і фенотипом (див. с. 118).

### Домінування алелів

Як ви вже знаєте, домінантний алель — це алель, який проявляється у фенотипі гетерозиготного організму. Але ступінь домінування може бути різним.

#### Види домінування

| Назва та особливості виду домінування                                                                                                       | Схема взаємодії алелів                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Повне домінування</b><br>У гетерозиготи проявляється тільки дія домінантного алеля, й ознака виглядає так, як і в домінантній гомозиготі | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>AA<br/>червоний</p> </div> <div>+</div> <div style="text-align: center;"> <p>aa<br/>білий</p> </div> <div>=</div> <div style="text-align: center;"> <p>Aa<br/>червоний</p> </div> </div> |
| <b>Неповне домінування</b><br>Гетерозигота має проміжний прояв ознаки порівняно з проявом цієї ознаки у домінантної і рецесивної гомозигот  | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>AA<br/>червоний</p> </div> <div>+</div> <div style="text-align: center;"> <p>aa<br/>білий</p> </div> <div>=</div> <div style="text-align: center;"> <p>Aa<br/>рожевий</p> </div> </div>  |

| Назва та особливості виду домінування                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Схема взаємодії алелів                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Кодомінування</b><br>Обидва варіанти ознаки проявляються одночасно. Наприклад, гетерозигота за групою крові містить на мембранах еритроцитів і антиген А, і антиген В, які є наслідком роботи відповідних алелів, одночасно (алелі А і В є кодомінантними). Алель О цього гена є рецесивним по відношенню до інших алелів і антиген не утворює. Гетерозиготи, які містять цей алель, мають на мембранах або антиген А, або антиген В | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>антиген А</p>  <p>група крові А</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>антиген В</p>  <p>група крові В</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>антигени А і В</p>  <p>група крові АВ</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>антигени відсутні</p>  <p>група крові О</p> </div> </div> |

### Дослідження Г. Менделя

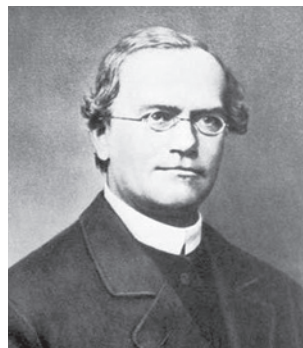
Грегор Мендель (мал. 29.1) був чеським священиком, але захоплювався ботанікою. Досліджуючи наслідування різних ознак гороху, він створив основи сучасного гібридологічного методу, який використовують генетики.

У своїх дослідях Г. Мендель упевнився, що кожен із батьків обов'язково передає один із алелів кожного свого гена нащадкам. Він порахував кількість різних варіантів ознак у нащадків, таких як колір і форма насінин, колір квіток, висота рослин тощо, зміг установити закономірності успадкування ознак і сформулював свої закони.

Закони одноманітності гібридів першого покоління та розщеплення спадкових ознак у нащадків гібрида були сформульовані за результатами моногібридних схрещувань. А закон незалежного комбінування спадкових ознак — за результатами ди- та полігібридних схрещувань.

### Закон однотипності гібридів першого покоління

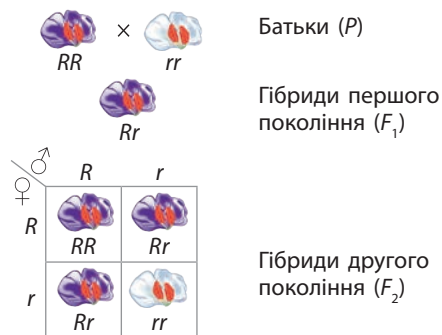
Нащадки першого покоління від схрещування стійких форм (організмів, у яких певна ознака проявлялася незмінно протягом багатьох поколінь), які відрізняються за однією ознакою, мають однаковий генотип і фенотип за цією ознакою (мал. 29.2, с. 116).



Мал. 29.1. Грегор Мендель (1822–1884)



Мал. 29.2. Прояв закону однотипності гібридів під час схрещування собак

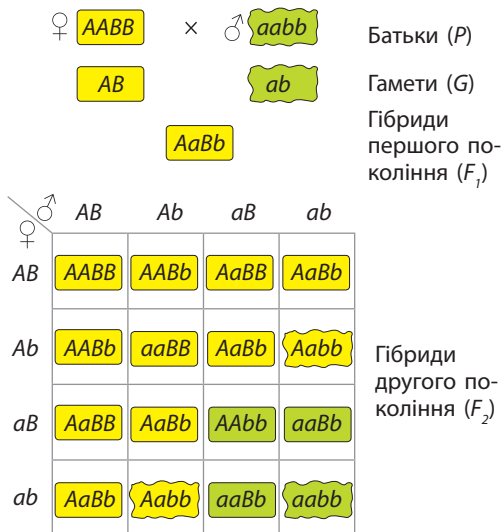


Мал. 29.3. Прояв закону розщеплення спадкових ознак під час схрещування рослин

### Закон розщеплення спадкових ознак у нащадків гібрида

Під час схрещування гібридів першого покоління між собою серед гібридів другого покоління у певних співвідношеннях з'являться особини з фенотипами вихідних батьківських форм і гібридів першого покоління (мал. 29.3).

У цьому випадку ми спостерігаємо у другому поколінні розщеплення за генотипом 1 (RR) : 2 (Rr) : 1 (rr), а за фенотипом — 3 (фіолетові) : 1 (білі).



Мал. 29.4. Прояв закону розщеплення спадкових ознак під час схрещування гороху з насінням різного кольору й форми

### Закон незалежного комбінування спадкових ознак

Гени, які визначають різні ознаки й перебувають у різних групах хромосом, спадкуються незалежно один від одного, унаслідок чого серед нащадків другого покоління після схрещування гомозигот у певних співвідношеннях з'являються особини з новими (відносно батьківських) комбінаціями ознак (мал. 29.4).

У цьому випадку ми спостерігаємо у другому поколінні розщеплення за генотипом:

$$\begin{aligned}
 &1 (AABB) : 4 (AaBb) : \\
 &2 (AABb) : 2 (AaBB) : \\
 &1 (aaBB) : 2 (aaBb) : 1 (AAbb) : \\
 &2 (Aabb) : 1 (aabb),
 \end{aligned}$$

а за фенотипом:

9 (жовті, гладенькі) : 3 (зелені гладенькі) : 3 (жовті зморшкуваті) : 1 (зелені зморшкуваті).

Генотипи  $AABB$ ,  $AaBb$ ,  $AABb$  і  $AaBB$  мають однаковий фенотип, тому що в них міститься хоча б по одному домінантному алелю обох генів. Який алель буде міститися в іншій хромосомі, у цьому випадку немає значення. У такому випадку запис розщеплення за генотипом буде мати вигляд:

9 ( $A-B-$ ) : 3 ( $aaBB$ ) : 3 ( $AAbb$ ) : 1 ( $aabb$ ).



Закони успадкування ознак названо на честь Г. Менделя, який сформулював їх у середині XIX ст. До них належать закон однотипності гібридів першого покоління, закон розщеплення спадкових ознак у нащадків гібридів й закон незалежного комбінування спадкових ознак. Для позначення генів та їх алелів у схемах схрещувань використовують літери латинського алфавіту. Великими літерами позначають домінантні алелі, а малими — рецесивні.

### Перевірте свої знання

1. Які позначення використовують під час запису схем схрещувань? 2. Назвіть закони Г. Менделя та складіть схеми схрещування, які їх ілюструють. 3. Розв'яжіть генетичну задачу. У томатів ген  $R$  визначає забарвлення плодів. Домінантний алель  $R$  забезпечує червоне забарвлення, а рецесивний алель  $r$  — жовте. Які ознаки будуть мати гібриди першого й другого поколінь від схрещування домінантної й рецесивної гомозиготних особин? 4. Розв'яжіть генетичну задачу. У пшениці червоне забарвлення колоса зумовлює домінантний алель  $B$ , а біле — рецесивний алель  $b$ . Які генотипи й фенотипи нащадків буде отримано в результаті схрещування двох гетерозиготних за цим геном особин. 5. Розв'яжіть генетичну задачу. У томатів ген  $R$  визначає забарвлення плодів. Домінантний алель  $R$  забезпечує червоне забарвлення, а рецесивний алель  $r$  — жовте. Інший їхній ген відповідає за ріст рослин. Домінантний алель  $H$  забезпечує високорослість рослин, а рецесивний алель  $h$  — карликовість. Які нащадки та в якому співвідношенні буде отримано в разі схрещування дигетерозиготної особини з особиною з генотипом  $rrhh$ ?

## Схеми схрещування

### Основні позначення

|                                                                                            |                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Батьківський організм                                                                      | $P$                    |
| Гібриди першого покоління                                                                  | $F_1$                  |
| Гібриди другого покоління                                                                  | $F_2$                  |
| Гамети                                                                                     | $G$                    |
| Знак схрещування                                                                           | $\times$               |
| Материнська особина                                                                        | $\text{♀}$             |
| Батьківська особина                                                                        | $\text{♂}$             |
| Алель певного гена — латинські букви                                                       | $A, B, a, b$           |
| Алелі одного гена — однакові букви                                                         | $Aa, AA, Bb$           |
| Домінантні алелі — великі букви                                                            | $A, B, R$              |
| Рецесивні алелі — маленькі букви                                                           | $a, b, r$              |
| Генотипова формула особини                                                                 | $Ab, aa, AaBb, AArr$   |
| Будь-який алель (домінантний чи рецесивний, якщо це не має значення) у генотиповій формулі | – (наприклад, $A-B-$ ) |

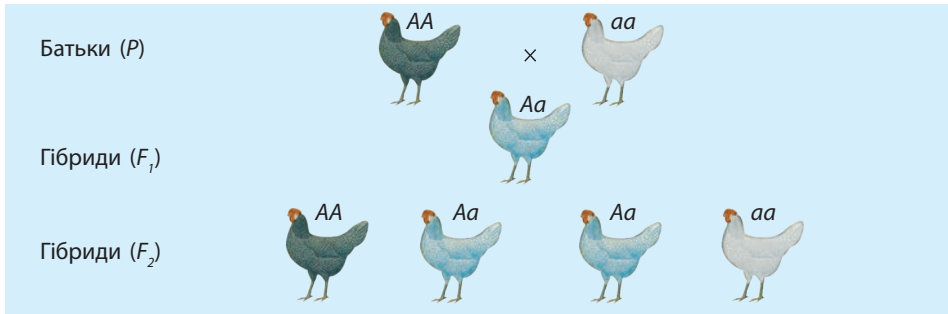
Якщо генів кілька, то вони в запису розташовуються в алфавітному порядку. Домінантний алель завжди пишуть перед рецесивним алелем того ж гена.

### Приклад запису схеми схрещування

|                   |                    |                              |
|-------------------|--------------------|------------------------------|
| Батьки ( $P$ )    | $AAbb \times aaBB$ | — генотипові формули батьків |
| Гамети ( $G$ )    | $Ab \quad aB$      | — типи їхніх гамет           |
| Гібриди ( $F_1$ ) | $AaBb$             | — генотипи першого покоління |

## Розщеплення за генотипом

Генотип  $AA$  — чорне,  $Aa$  — сіре,  $aa$  — біле забарвлення



**Запис розщеплення за генотипом:**

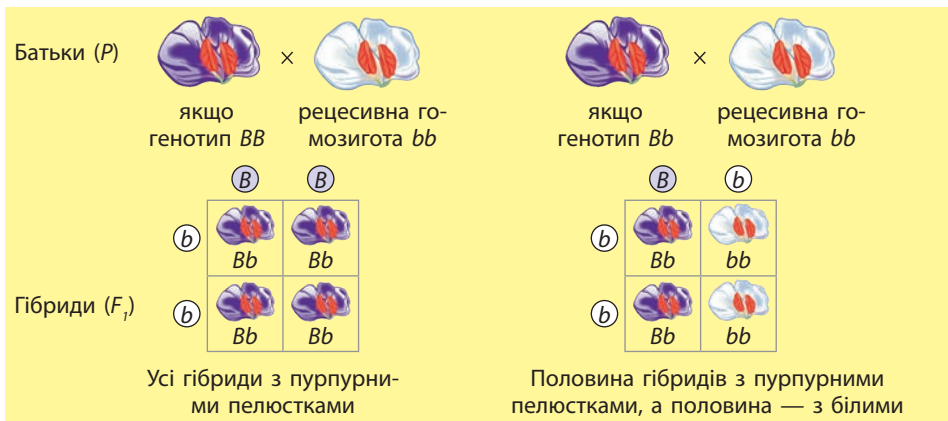
$1 (AA) : 2 (Aa) : 1 (aa)$ .

Цей запис означає, що всіх нащадків можна поділити на 4 частини. З них одна частина буде мати генотип  $AA$ , дві — генотип  $Aa$  і ще одна — генотип  $aa$ .

## Аналізуюче схрещування

**Аналізуюче схрещування** — це схрещування особини з невідомим генотипом з особою, гомозиготною за рецесивними алелями всіх досліджуваних генів.

Пурпурні пелюстки — ознака, яка визначається домінантним алелем  $P$ . Білі пелюстки — ознака, яка визначається рецесивним алелем  $p$ .



# 30 Ознака як результат взаємодії генів



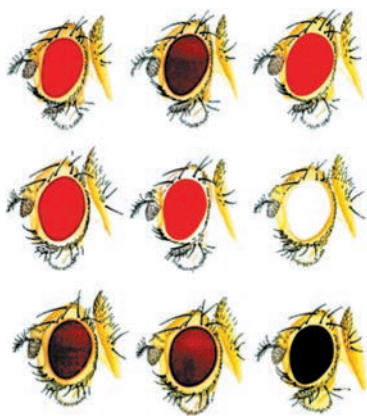
*Ви вже знаєте, що таке ген, і знайомі з поняттями генотипу й фенотипу. Пригадайте, яку будову має ген. Що таке алелі гена? Як відбувається успадкування ознак згідно із законами Менделя?*

## Утворення ознак

Для того щоб в організмі з'явилася певна ознака, частіше за все повинно відбутися кілька різних процесів. Наприклад, у мухи дрозофіли (класичного об'єкта досліджень учених-генетиків) забарвлення очей обумовлене наявністю в них двох пігментів — яскраво-червоного й коричневого. Для вироблення кожного з них має відбутися декілька біохімічних реакцій. Кожну з цих реакцій каталізує окремий фермент, який кодується окремим геном. І порушення будь-якого з них позначається на забарвленні очей дрозофіли (мал. 30.1).

## Взаємодія генів

Ознаки, які визначаються одним геном, називають **моногенними**. Але навіть вони можуть утворюватися внаслідок взаємодії. Ви вже ознайомилися з цим явищем, коли розглядали поняття неповного домінування алелів.



Відомо багато випадків, коли ознака або властивості організму визначаються двома або більше різними генами, які взаємодіють між собою. Але слід пам'ятати, що взаємодіють не самі гени, а молекули білків або РНК, утворення яких вони забезпечують. Під час взаємодії неалельних генів відбувається відхилення від менделівських закономірностей розщеплення за фенотипом у нащадків.

Розрізняють такі основні типи взаємодії генів: комплементарність,

**Мал. 30.1.** Різноманітність забарвлення очей у дрозофіл

епістаз і полімерія. Крім того, окремо розглядають модифікуючу дію гена (плейотропію), яка проявляється у визначенні одним геном різних ознак.

### Комплементарність

Під час комплементарної взаємодії генів розвиток ознаки відбувається лише у випадку, коли кожний із неалельних генів має хоча б по одному домінантному алелю.

Наприклад, у визначенні форми плода у гарбуза беруть участь два гени —  $A$  і  $B$ . Якщо певна рослина має в кожному з цих генів хоча б один домінантний алель, то форма її плодів буде дископодібною. А утвориться така форма внаслідок взаємодії домінантних алелів двох генів. Тобто дископодібні плоди мають будь-які особини з генотипом  $A-B-$ .

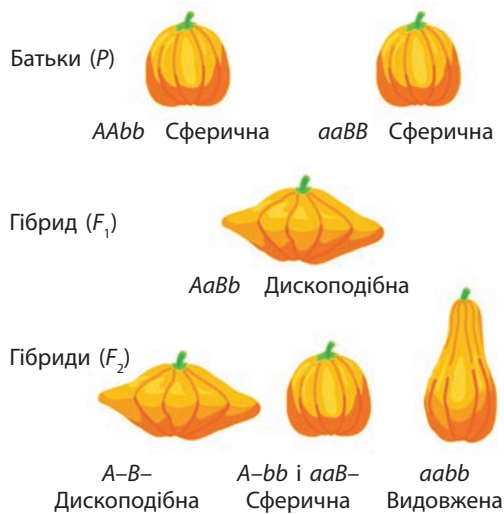
Якщо один із генів буде представлений рецесивною гомозиготою, а другий матиме хоча б один домінантний алель (особини з генотипами  $aaB-$  і  $A-bb$ ), то комплементарна взаємодія не відбудеться і плоди матимуть сферичну форму. Особина з обома генами у стані рецесивної гомозиготи матиме видовжені плоди (мал. 30.2).

### Епістаз

У разі епістатичної взаємодії генів домінантний або рецесивний алель одного гена пригнічує прояв домінантного алеля іншого гена. Відповідно, розрізняють домінантний і рецесивний епістаз.

Наприклад, у собак домінантний алель гена  $A$  забезпечує чорне забарвлення, а рецесивний — коричневе. А домінантний алель гена  $I$  взагалі блокує синтез відповідних ферментів і спричиняє появу палевого забарвлення.

Тому особини з генотипами  $A-ii$  будуть мати чорну шерсть, з генотипами  $A-I-$  або  $aaI-$  — палеву, а з генотипом  $aa ii$  — коричневу (мал. 30.3, с. 122).



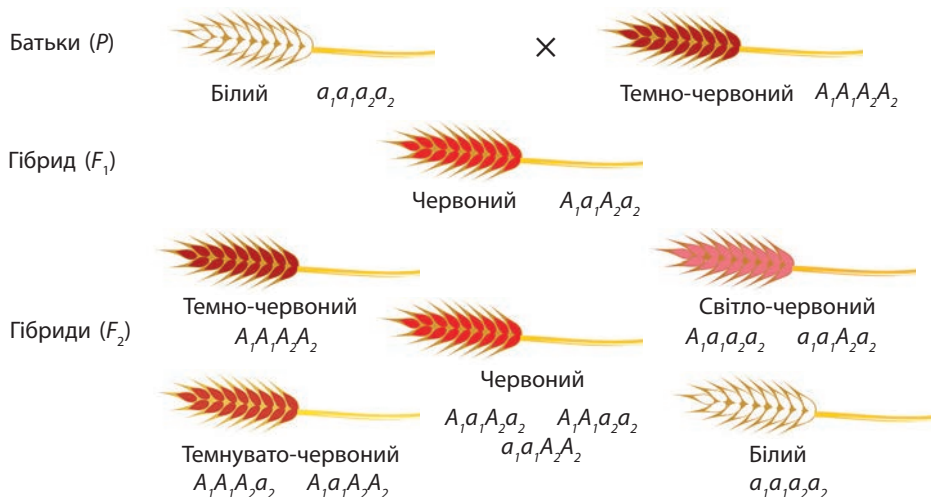
Мал. 30.2. Комплементарна взаємодія генів



Мал. 30.3. Епістатична взаємодія генів

## Полімерія

У разі полімерної взаємодії генів для прояву ознаки необхідна наявність хоча б одного домінантного алеля в будь-якого з кількох генів. Ці гени виконують одну функцію (наприклад, забезпечують синтез одного пігменту), але можуть розташовуватися в різних хромосомах. Їх називають *полімерними генами*.



Мал. 30.4. Полімерна взаємодія генів

Полімерні гени зазвичай визначають кількісні ознаки (розмір, забарвлення тощо). Діють вони, доповнюючи один одного, тому їх зазвичай позначають однаковими літерами латинського алфавіту, додаючи нижній числовий індекс для того, щоб розрізнити гени між собою. Наприклад,  $A_1A_1a_2a_2$  або  $A_1a_1A_2A_2$ .

За цим механізмом відбувається успадкування кольору насіння у пшениці та кольору шкіри у людини. Так, у разі успадкування кольору насіння пшениці взаємодіють два полімерні гени, кожен з яких має по два алелі. А забарвлення насіння обумовлене кількістю домінантних алелів цих генів. Чим більше домінантних алелів, тим більша інтенсивність червоного забарвлення. У рецесивних гомозигот насіння біле, а в особин із генотипом  $A_1A_1A_2A_2$  воно темно-червоне (мал. 30.4).



Колір шкіри у людини визначається кількома генами. Але головну роль у цьому процесі відіграють чотири полімерні гени. Чим більше в них домінантних алелів, тим більше виробляється пігменту меланіну, який надає шкірі відповідного забарвлення. Найтемнішу шкіру мають люди з генотипом  $A_1A_1A_2A_2A_3A_3A_4A_4$ , а найсвітлішу — з генотипом  $a_1a_1a_2a_2a_3a_3a_4a_4$ .



Ознаки живих організмів у більшості випадків визначаються не одним геном, а кількома. Навіть взаємодія алелів одного гена може спричинити формування нової ознаки, наприклад, за неповного домінування алеля.

Взаємодія неалельних генів також може зумовити формування ознак. Прикладами таких взаємодій є явища комплементарності, епістазу й полімерії.

### Перевірте свої знання

1. Чому в природі є багато варіантів забарвлення очей у дроздофілі? 2. У якому випадку нова ознака може сформуватися під час взаємодії алелів одного гена? 3. Як відбувається взаємодія генів у випадку: а) комплементарності; б) епістазу; в) полімерії? 4. Чому більшість ознак організмів контролюється не одним геном, а кількома? 5. Розв'яжіть генетичну задачу. У рослини ген  $A$  визначає забарвлення оцвіттини. Домінантний алель  $A$  забезпечує червоне забарвлення, а рецесивний алель  $a$  — біле. Домінування є неповним, і гетерозиготи мають рожеве забарвлення оцвіттини квіток. Які генотипи й фенотипи будуть мати гібриди від схрещування двох гетерозиготних особин? 6\*. Чому під час взаємодії різних генів відбувається відхилення від менделівських закономірностей розщеплення?

## 31

## Зчеплене успадкування і кросинговер



У попередніх параграфах ви вже ознайомилися з хромосомами й розглянули їхню будову. Яку будову мають хромосоми? Де вони розташовані в клітині? Чим відрізняються між собою диплоїдний і гаплоїдний набори хромосом? Пригадайте, що таке кросинговер і коли він відбувається.

## Хромосоми і групи зчеплення

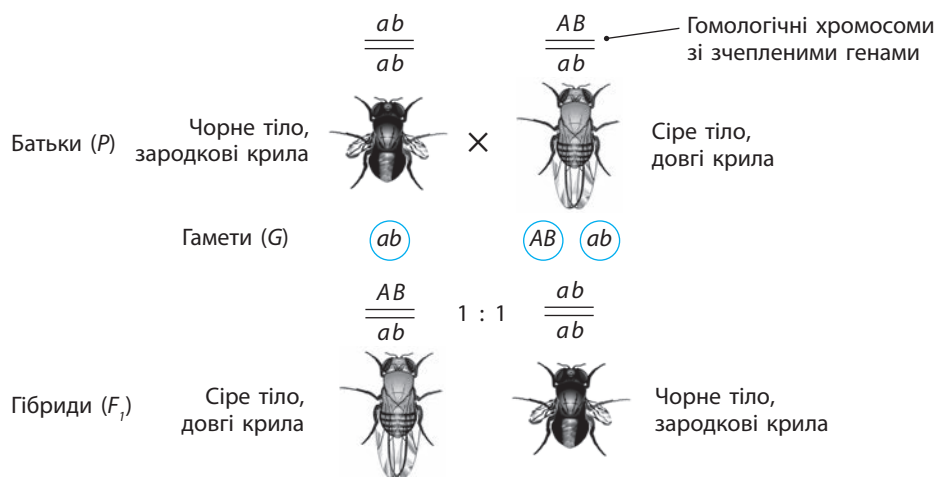
Після відкриття законів Г. Менделя в науці поступово почали накопичуватися факти про те, що в деяких випадках розщеплення ознак відбувається не так, як це передбачали. Виявилося, що гени, які розташовані в одній хромосомі, успадковуються разом (зчеплено). Такі гени називали **зчепленими генами**. А разом усі гени, які розташовані в одній хромосомі, утворюють **групу зчеплення**.

Кількість груп зчеплення в організмів певного виду дорівнює кількості хромосом в одинарному (гаплоїдному) наборі, який міститься у статевих клітинах. Наприклад, у дрозофіли їх 4, у кішки — 19, а в людини — 23.

## Утворення гамет у разі зчепленого успадкування

Прикладом зчепленого успадкування генів може бути успадкування двох ознак у мушки дрозофіли — кольору тіла й форми крил. Чорний колір (*a*) і зачаткові крила (*b*) визначаються рецесивними алелями, а сіре тіло (*A*) і довгі крила (*B*) — домінантними. Гени, які визначають ці ознаки, розташовані поряд в одній хромосомі.

Що буде у випадку, якщо ми схрестимо самку дрозофіли, яка є рецесивною гомозиготою за цими ознаками (генотип *aabb*), із самцем, у якого в одній хромосомі розташовані два домінантні алелі, в іншій — два рецесивні (генотип *AaBb*)? Якби ці ознаки успадковувалися незалежно, то у гетерозиготної мухи мали б утворитися чотири типи гамет: *Ab*, *aB*, *AB* і *ab*. Але ознаки успадковуються зчеплено, і тому утворюється тільки два типи гамет: *AB* і *ab* (у самців кросинговер не відбувається). Відповідно, нащадки від цього схрещування будуть мати тільки два фенотипи: сіре тіло з довгими крилами й чорне тіло із зачатковими крилами (мал. 31.1).



Мал. 31.1. Зчеплене успадкування генів у дрозофіли

## Хромосомна теорія спадковості

Як саме успадковуються ознаки, якщо гени, які їх контролюють, розміщені в одній хромосомі? Відповідь на це питання дала хромосомна теорія спадковості. Сформульована вона була на початку XX ст. в Європі. Але обґрунтував і сформулював її в сучасному вигляді американський генетик Т. Х. Морган (мал. 31.2) зі своїми учнями.

В основу хромосомної теорії спадковості було покладено факт існування груп зчеплення, якими й були хромосоми. Ця теорія пояснила відхилення від законів Менделя під час розщеплення у нащадків тих ознак, які успадковуються зчеплено.

Слід зазначити, що Т. Х. Морган вдало обрав об'єкт для своїх досліджень. Він вибрав муху-дрозофілу, яка згодом стала класичним об'єктом для генетичних експериментів. Дрозофіл легко утримувати в лабораторіях, вони відзначаються надзвичайною плодючістю, швидкою зміною поколінь (за оптимальних умов утримання кожні півтора-два тижні виникає нове покоління) та невеликою кількістю хромосом, що спрощує спостереження.

Дослідники визначали, як успадковується довжина крил та колір тіла у дрозофіли.



Мал. 31.2. Томас Хант Морган (1866–1945)

Вони схрестили дрозифіл з генотипами  $AaBb$  і  $aabb$ , у результаті чого отримали мух із двома варіантами фенотипів, утворених від гамет  $AB$  і  $ab$ , замість чотирьох спрогнозованих. Це було можливо тільки в тому випадку, якщо ці два гени розташовувалися поряд на одній хромосомі. Такі досліді й дозволили обґрунтувати хромосомну теорію спадковості.

### Основні положення хромосомної теорії спадковості

- Матеріальною основою спадковості є хромосоми.
- Гени розташовані в хромосомах у лінійній послідовності.
- Гени, які локалізовані в одній хромосомі, утворюють одну групу зчеплення і передаються нащадкам разом.
- Кількість груп зчеплення дорівнює гаплоїдному числу хромосом.
- Гаплоїдне число хромосом є постійним для кожного виду.
- Ознаки, які визначаються зчепленими генами, також успадковуються зчеплено.
- Між гомологічними хромосомами можуть відбуватися кросинговери й обмін ділянками.
- Частота кросинговеру прямо пропорційна відстані між генами.

### Механізм кросинговеру

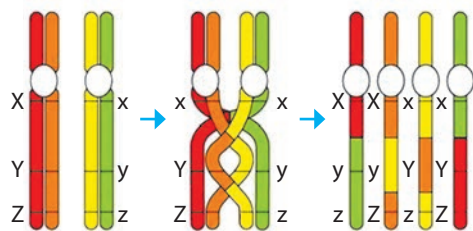
В експериментах Моргана та його співробітників під час вивчення успадкування зчеплених ознак було виявлено, що серед гібридів дрозифіл є певна частина мух з перекомбінацією цих ознак і має місце порушення зчепленого успадкування. Це було наслідком кросинговеру.

Ви вже знаєте, що кросинговер — це обмін ділянками гомологічних хромосом у процесі мейозу. Саме через кросинговер немає абсолютно повного зчеплення генів, за якого вони передавалися б завжди разом. Чим далі один від одного вони розташовані на хромосомі, тим частіше відбувається явище кросинговеру.

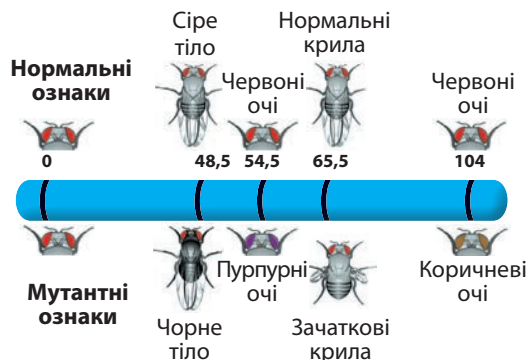
Перехрещення між хроматидами гомологічних хромосом може відбуватися одночасно в кількох точках. Кросинговер, що відбувається лише в одному місці, називають *поодиноким*, у двох точках одночасно — *подвійним*, у трьох — *потрійним*. Насправді в живих клітинах кросинговер завжди є *множинним* (мал. 31.3), а всі інші варіанти стосуються конкретних генів, які досліджують у певній групі зчеплення. Гамети, у яких відбувся кросинговер, називають **кросоверними**.

### Карти хромосом

Спираючись на положення хромосомної теорії спадковості та використовуючи механізми кросинговеру, вчені створили генетич-



Мал. 31.3. Множинний кросинговер



Мал. 31.4. Карта однієї з хромосом дрозофіли

ні карти хромосом. Генетичною картою хромосоми називають її графічне зображення з позначеним на ньому розташуванням генів. На карті позначаються назви генів, відстані між генами та іноді місце розташування центромери. На картах можуть показувати не тільки звичайні алелі відповідних генів, але і їхні мутантні форми (мал. 31.4).

Генетичні карти хромосом особливо докладно складені для хромосом дрозофіли і кукурудзи, з якими генетики працюють уже багато років. Складені вони для хромосом людини та багатьох домашніх тварин і культурних рослин. Ці карти мають велике значення для селекційної роботи й діагностики важких спадкових захворювань людини.



Особливості розташування генів у хромосомах та механізми їх зчепленого успадкування описує хромосомна теорія спадковості. Гени, що містяться в одній хромосомі, утворюють так звану групу зчеплення й успадковуються разом. Зазвичай зчеплення не є повним. Порушення зчеплення пояснюється явищем кросинговеру.

### Перевірте свої знання

1. Що таке група зчеплення? 2. Які основні положення хромосомної теорії спадковості? 3. Що таке кросинговер? 4. Чому дрозофіла виявилася дуже зручним об'єктом для генетичних досліджень? 5\*. Деякі гени гороху містяться в одній хромосомі, але їх успадкування відбувається згідно із законами Г. Менделя, тобто незалежно. Поясніть, яким чином це можливо.

# 32 Генетика статі й успадкування, зчеплене зі статтю



Ви вже вивчали особливості будови й утворення статевих клітин. Представники якої статі утворюють сперматозоїди, а якої — яйцеклітини? Пригадайте, які переваги надає наявність у живих організмів різних за будовою статевих клітин і, відповідно, двох статей.

## Способи визначення статі

У живих організмів існує кілька способів визначення того, якої статі особина розв'ється із зиготи. Майбутню стать можуть визначати зовнішні умови (якщо личинка черв'яка бонелії перебуває на дні океану, то з неї розвивається самка, а якщо на хоботку самки — то самець), плоідність організму (у бджіл і мурах гаплоїдні особини — самці, а диплоїдні — самки) чи спеціальні статеві хромосоми, як у дрозоділ (інші хромосоми в цьому випадку називають аутосомами) (мал. 32.1).

## Статеві хромосоми

Якщо організм визначає свою стать за допомогою статевих хромосом, то він має одну або дві такі хромосоми. Якщо статевих хромосом дві, то вони зазвичай відрізняються за розміром (одна велика, а друга маленька). А особини різної статі мають або дві великі хромосоми (*гомогаметна стать*), або одну велику й одну маленьку (*гетерогаметна стать*). Позначають такі хромосоми латинськими літерами. Наприклад, велику хромосому можуть позначати літерою X, а малу — літерою Y.



Бонелія — зовнішні умови

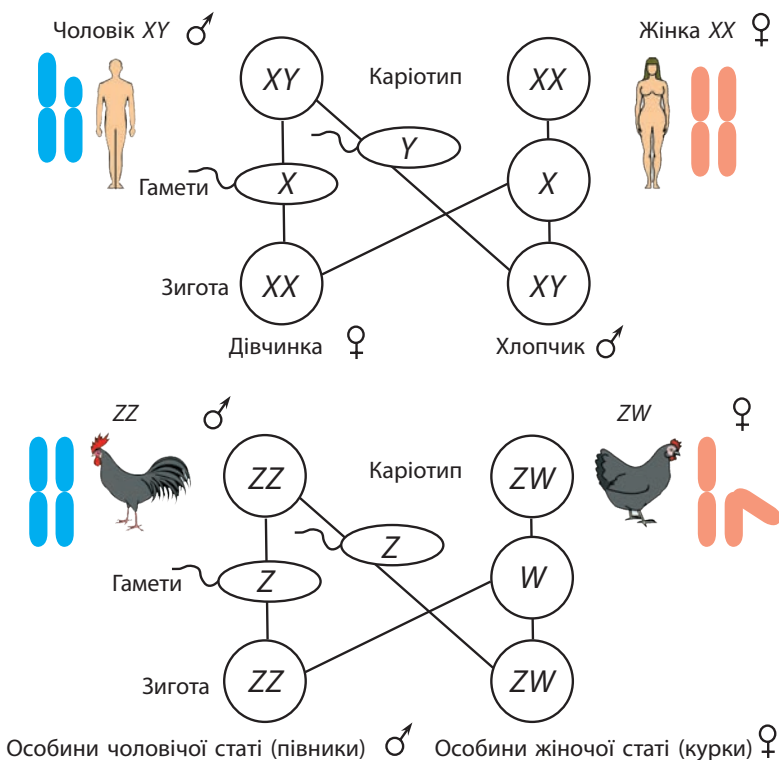


Бджола — плоідність



Дрозоділа — спеціальні статеві хромосоми

**Мал. 32.1.** Фактори, що визначають стать майбутньої особини



**Мал. 32.2.** Утворення гамет різними варіантами гомо- і гетерогаметної статі

У різних організмів гомогаметною може бути як жіноча, так і чоловіча стать. Наприклад, у ссавців і мух гомогаметною є жіноча стать (її представники мають по дві X-хромосоми, генотип — XX), а гетерогаметною — чоловіча (її представники мають одну X- і одну Y-хромосоми, генотип — XY). У більшості птахів і метеликів, навпаки, гомогаметною статтю є чоловіча (її представники мають по дві однакові хромосоми, але позначаються вони вже іншою латинською літерою — Z, генотип — ZZ), а гетерогаметною — жіноча (генотип — ZW) (мал. 32.2).

### Гени, зчеплені зі статтю

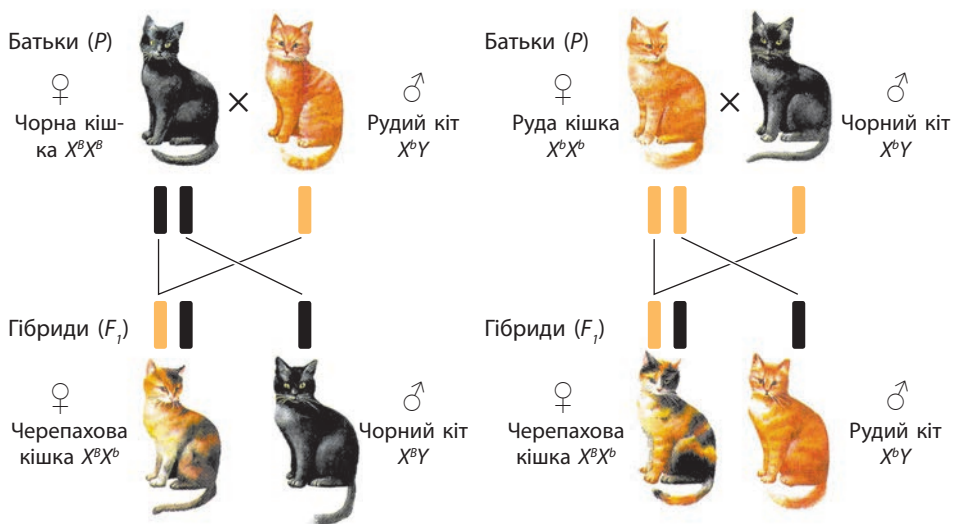
Гени, які розташовані у статевих хромосомах, називаються генами, **зчепленими зі статтю**. Прикладами таких генів є гени забарвлення очей у X-хромосомі дрізофіли, гени дальтонізму й гемофілії в X-хромосомі людини та гени гіпертрихозу й іхтіозу в Y-хромосомі людини.

Особливістю генів, які зчеплені зі статтю, є те, що вони можуть перебувати у стані гемізиготи. **Гемізигота** — це диплоїдна особина, яка має лише один алель певного гена. Цей стан виникає внаслідок того, що особини однієї зі статей мають дві різні статеві хромосоми. Наприклад, у котів у  $X$ -хромосомі генів багато, а в  $Y$ -хромосомі мало. Через це навіть рецесивні алелі генів  $X$ -хромосоми будуть проявлятися у фенотипі, бо немає другої хромосоми з домінантним алелем.

### Успадкування генів статевих хромосом

Розглянемо особливості успадкування генів, зчеплених зі статтю, на прикладі ссавців. З генами, які розташовані в  $Y$ -хромосомі самців, усе просто. Вони передаються напряму від самця до самця і в самок проявлятися не можуть. Вони завжди перебувають у стані гемізиготи, бо в нормі ця хромосома в ядрі клітини тільки одна.

Успадкування генів, які розташовані на  $X$ -хромосомах, більш складне. В організмі самок вони поведуться як звичайні гени аутосом (нестатевих хромосом), бо  $X$ -хромосом тут дві. В організмі самців ці гени проявляють себе у стані гемізиготи. Тому ознаки, які визначаються рецесивними алелями таких генів, проявляються у самців завжди. А отримують вони їх від своїх матерів (мал. 32.3).



$B$  — чорне забарвлення,  $b$  — руде забарвлення

**Мал. 32.3.** Схема успадкування ознаки, ген якої розташований у  $X$ -хромосомі



У деяких тварин статеві хромосоми одного типу, й одна стать має лише одну статеву хромосому, а друга — дві однакові. Так, серед клопів, ящірок і деяких птахів трапляються види з генотипами чоловічої та жіночої статей ZZ і Z0 та X0 і XX відповідно (цифра 0 у запису означає відсутність другої пари хромосоми).

Качкодзьоб має п'ять пар статевих хромосом. У його гаметах міститься або п'ять X-хромосом, або п'ять Y-хромосом. Ці хромосоми утворюють один комплекс і під час поділу клітини розходяться завжди разом.

У спільного предка однопрохідних та інших ссавців, який жив приблизно 165 млн років тому, статевих хромосом ще не було.



У живих організмів існує кілька способів визначення майбутньої статі організму. Один із найбільш поширених — за допомогою статевих хромосом. У ссавців самці мають статеві хромосоми XY, а самки — XX.

Гени, які розташовані у статевих хромосомах, називаються генами, зчепленими зі статтю. Ознаки, які визначаються рецесивними алелями генів X-хромосоми, проявляються у самців, але передаються через самок. Гени, які розташовані в Y-хромосомі, передаються напряму по лінії самців.

### Перевірте свої знання

1. Якими способами визначається майбутня стать живих організмів? 2. Що таке гомогаметна стать? Наведіть приклади. 3. Що таке гетерогаметна стать? Наведіть приклади. 4. У яких випадках організм може бути гемізиготою? 5. Порівняйте механізм визначення статі у метеликів і ссавців. 6. *Розв'яжіть задачу.* Ген, який визначає забарвлення шерсті у котів, розташований у X-хромосомі. Один із його алелів визначає чорне забарвлення, а другий — руде. У випадку, якщо організм є гетерозиготою за цим геном, то його забарвлення є черепаховим (частина волосинок має чорне забарвлення, а частина — руде). Який колір шерсті матимуть нащадки від схрещування рудого kota й чорної кішки? 7. *Розв'яжіть задачу.* Ген, який визначає забарвлення шерсті у котів, розташований у X-хромосомі. Один із його алелів визначає чорне забарвлення, а другий — руде. У випадку, якщо організм є гетерозиготою за цим геном, то його забарвлення є черепаховим (частина волосинок має чорне забарвлення, а частина — руде). Який колір шерсті матимуть нащадки від схрещування чорного kota й черепахової кішки? 8\*. Порівняйте успадкування генів, розташованих на X- та Y-хромосомах.

# 33

## Форми мінливості. Модифікаційна (фенотипова) та комбінативна мінливість



*Ви вже ознайомилися з такою наукою, як генетика. Пригадайте, що вивчає генетика. Які закономірності описують закони Г. Менделя? Як між собою взаємодіють гени? До яких наслідків призводить кросинговер?*

### Різноманітність форм мінливості

Ви вже знаєте, що мінливість — це властивість живих організмів змінюватися. Ці зміни можуть відбуватися як із самим організмом упродовж певного часу, так і зі зміною поколінь у кожного з видів живих організмів.

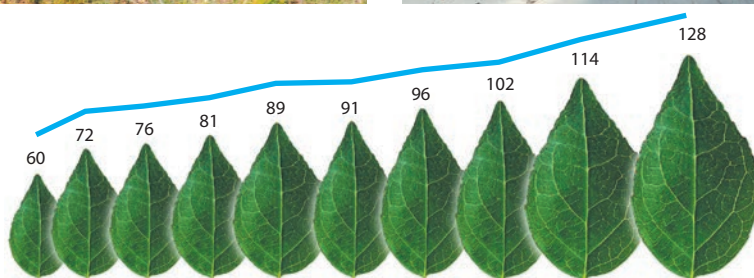
Генетики виділяють дві основні форми мінливості — *спадкову* (генотипову) і *неспадкову* (модифікаційну, або фенотипову). Зміни, які виникають у випадку спадкової мінливості, передаються нащадкам. А зміни, які виникають у випадку неспадкової мінливості, нащадкам не передаються.

Спадкова мінливість поділяється на *комбінативну* й *мутаційну*. За комбінативної мінливості не змінюється структура ДНК. Відбувається лише перекомбінування алелів різних генів. За мутаційної мінливості структура ДНК може змінюватися (про це ви дізнаєтеся з наступного параграфа).

### Модифікаційна (фенотипова) мінливість

Неспадкову мінливість іще називають фенотиповою, або модифікаційною. **Модифікації** — це фенотипові зміни, які виникають під впливом умов середовища. Модифікаційні зміни ознаки не успадковуються, але її діапазон (норма реакції) генетично зумовлений і успадковується. Вони не спричиняють змін генотипу. Модифікаційна мінливість відповідає умовам існування, є пристосувальною.

Унаслідок цієї мінливості під дією на організм факторів навколишнього середовища змінюється інтенсивність ферментативних реакцій або відбувається «включення» чи «виключення» певних генів. Характерною рисою модифікаційної мінливості є *оборотність* — зникнення змін у разі зникнення специфічних умов середовища, що зумовлює виникнення модифікації.



Мал. 33.1. Модифікаційна мінливість у тварин і рослин

Прикладами модифікаційної мінливості є:

- зміна маси тіла тварин у разі зміни кількості їжі;
- зміна забарвлення хутра у зайця біляка після настання зими (мал. 33.1);
- зміна розміру окремих листків на одному дереві (мал. 33.1);
- утворення засмаги на шкірі людини під впливом сонячного проміння.

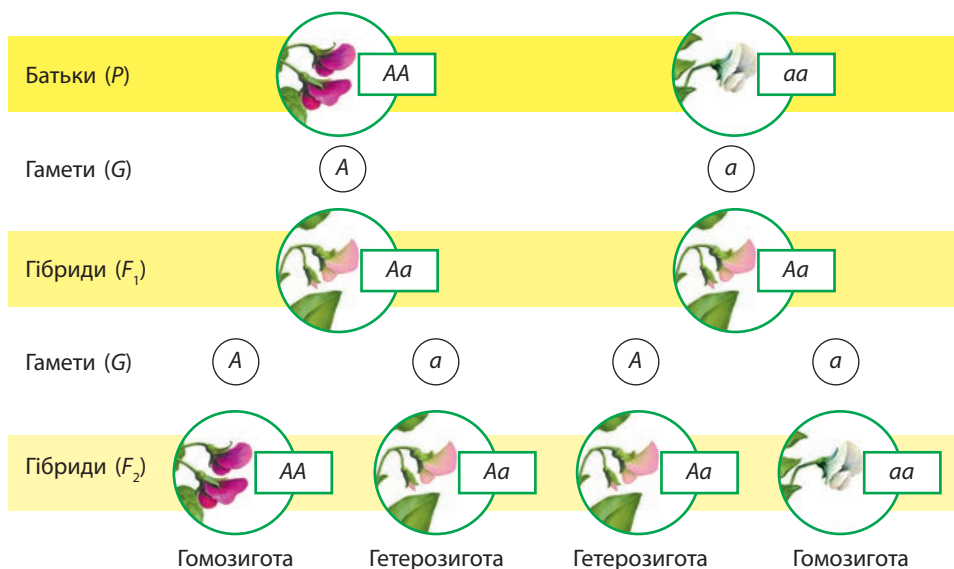
### Комбінативна мінливість

**Комбінативна** мінливість пов'язана з отриманням нових поєднань генів у генотипі. Ви вже добре знайомі з цим типом мінливості на прикладі законів Г. Менделя і взаємодії генів.

В еукаріотів, які розмножуються статевим шляхом, комбінативна мінливість досягається в результаті трьох процесів:

- незалежного розходження хромосом під час мейозу;
- випадкового поєднання гамет під час запліднення;
- рекомбінації генів завдяки кросинговеру.

Самі гени при цьому не змінюються, але виникають нові їх поєднання, що призводить до появи організмів з іншими генотипом і фенотипом.



**Мал. 33.2.** Комбінативна мінливість у рослин гороху

Прикладами комбінативної мінливості є:

— поява рослин із рожевими квітками в разі схрещування рослин з білими й червоними квітками за неповного домінування (мал. 33.2);

— поява рослин гороху із жовтими зморшкуватими насінинами у другому поколінні нащадків від схрещування рослин із зеленими зморшкуватими й жовтими гладенькими насінинами.

### Комбінативна мінливість у прокаріотів

Комбінативна мінливість трапляється не тільки в еукаріотів, які здійснюють її під час статевого розмноження. У мікроорганізмів, які розмножуються нестатевим шляхом, теж виникли спеціальні механізми комбінативної мінливості. Це кон'югація, трансдукція і трансформація.

**Кон'югація** — це безпосередній контакт між двома бактеріальними клітинами за допомогою спеціальних порожнистих трубочок (F-пілі), під час якого генетичний матеріал з однієї клітини переноситься в іншу. Зазвичай кон'югація контролюється генами, які розташовані в плазміді.

**Трансформація** — це перенесення ДНК, яка була ізольована, із одних бактеріальних клітин до інших бактеріальних клітин. Найчастіше вона відбувається після загибелі бактеріальних клітин. Після

того як загиблі клітини руйнуються, окремі фрагменти їхньої ДНК можуть поглинатися іншими бактеріями. Потім бактерії вбудовують ці фрагменти у свою кільцеву молекулу ДНК.

**Трансдукція** — це перенесення бактеріальних генів з однієї клітини в іншу за допомогою бактеріофага. Коли бактеріофаги розмножуються в клітині, то в деякі з вірусних часток потрапляє ДНК не вірусу, а бактерії. Вірусна частка переносить цю ДНК в іншу бактеріальну клітину, де вона вбудовується у бактеріальну хромосому.

За допомогою таких процесів бактерії можуть, наприклад, обмінюватися генами стійкості до антибіотиків.



Часто вчені виділяють як окремий вид мінливості онтогенетичну мінливість. Вона відбувається протягом життя особини під контролем генів. Саме ця мінливість відповідає за те, що одна й та сама людина у віці одного, шести, двадцяти й сімдесяти років виглядає зовсім по-різному.

Наслідком комбінативної мінливості є явище гетерозису. Гетерозис (грец. *heterosis* — видозміни, перетворення), або «гібридна сила», може спостерігатися в першому поколінні в разі гібридизації між представниками різних видів або сортів. Виділяють три основні форми гетерозису: репродуктивний (підвищується врожайність), соматичний (збільшуються лінійні розміри організму) і адаптивний (підвищується стійкість до дії чинників середовища).



Мінливість поділяють на спадкову й неспадкову. Зміни, які виникли внаслідок неспадкової (модифікаційної) мінливості, не передаються нащадкам. Зміни, які виникли внаслідок спадкової мінливості, нащадкам передаються. Спадкова мінливість поділяється на комбінативну й мутаційну. За комбінативної мінливості структура ДНК не змінюється, а за мутаційної може змінюватися.

### Перевірте свої знання

1. Що таке мінливість?
2. Що таке модифікаційна мінливість?
3. Наведіть приклади модифікаційної мінливості у рослин і тварин.
4. Складіть список характерних особливостей комбінативної мінливості.
5. Наведіть приклади комбінативної мінливості у живих організмів.
6. Порівняйте спадкову й неспадкову мінливість.
- 7\*. Складіть список факторів, які можуть впливати на мінливість живих організмів.

# 34 Мутації



Ви вже дізналися, як може порушуватися структура ДНК і як клітини із цим борються. Які типи порушень структури ДНК вам відомі? Які існують механізми репарації ДНК? Чому для клітини важливо зберігати ДНК неушкодженою?

## Мутаційна мінливість



Сергій Іванович Коржинський (1861–1900)

Мутаційна мінливість виникає внаслідок змін структури або кількості чи розташування молекул ДНК. Ви вже ознайомилися з причинами цих порушень і механізмами репарації ДНК, які дозволяють ліквідувати такі порушення. Але, якщо механізми репарації не впораються із завданням, то виникає зміна ДНК, яка буде передаватися нащадкам. Виникне мутація. Слід зазначити, що в багатоклітинних організмах нащадкам буде передано лише ті мутації, які виникли у статевих клітинах.

## Мутації



Гуго де Фриз (1848–1935)

**Мутацією** (латин. *mutatio* — зміна) називають зміну ознаки, що зумовлена зміною спадкових структур, перебудовою генетичного апарату. Мутації змінюють генотип особини. Вони виникають раптово й іноді надають організму значних відмінностей від вихідної форми.

Ученим такі зміни були відомі давно. Мутаційній мінливості присвятили свої роботи С. І. Коржинський і Г. де Фриз (мал. 34.1). Останньому належить термін «мутація». Крім того він сформулював основні положення **теорії мутацій** (1901–1903):

- Мутації виникають раптово як дискретні (перервні) зміни ознак.
- Нові форми є стійкими.
- На відміну від неспадкової мінливості, мутантні ознаки не утворюють неперервних рядів і не

**Мал. 34.1.** Учені, які присвятили свої роботи темі мутаційної мінливості

зосереджуються навколо якогось середнього типу. Мутації є якісними змінами в організмах.

— Мутації проявляються по-різному. Вони можуть бути і шкідливими, і корисними.

— Вірогідність виявлення мутацій залежить від числа досліджуваних особин.

— Одні й ті самі мутації можуть виникати повторно.

### Різноманітність мутацій

Наразі відомі мутації в усіх групах живих організмів. Існує багато мутацій і в людини. Саме мутаціями зумовлена різноманітність (поліморфізм) людських популяцій: різна пігментація шкіри, волосся, колір очей, форма носа, вух, підборіддя тощо.

#### Нормальні й мутантні форми живих організмів

| Живі організми | Нормальна форма                                                                                                         | Мутантна форма                                                                                                        |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Картопля       | Дрібні бульби дикої форми картоплі<br> | Великі бульби культурних сортів<br> |
| Ворона         | Чорно-сіре забарвлення пір'я<br>      | Біле забарвлення пір'я<br>         |
| Дрозофіла      | Нормальні крила<br>                  | Редуковані крила<br>              |
| Людина         | П'ять пальців на руці<br>            | Шість пальців на руці<br>         |

### Класифікації мутацій

Існує кілька варіантів класифікації мутацій. За типом прояву ознаки в гетерозиготі мутації поділяють на *домінантні* (проявляються у гетерозиготі) і *рецесивні* (не проявляються у гетерозиготі). За локалізацією в клітині розрізняють *ядерні* (змінюють гени, розташовані в ядрі клітини) і *цитоплазматичні* (змінюють гени, розташовані в цитоплазмі клітини, наприклад, у мітохондріях або пластидах) мутації. Залежно від причини виникнення виділяють *спонтанні* (причина виникнення не встановлена) та *індуковані* (причиною виникнення є дія встановленого фактора — фізичного, хімічного або біологічного) мутації.

Важливим є також те, у яких саме клітинах виникають мутації. Якщо вони виникають у соматичних клітинах — *соматичні* мутації, то можуть передаватися нащадкам лише за умови вегетативного розмноження. Якщо ж вони виникають у гаметах — *генеративні* мутації, то можуть передаватися нащадкам за звичайного статевого розмноження.

### Генні, хромосомні та геномні мутації

Проте однією з найбільш поширених класифікацій мутацій є їх розподіл за рівнем організації спадкового матеріалу, на якому відбувається мутація. Якщо мутація змінює лише один ген (заміна, втрата чи додавання пари нуклеотидів), це є прикладом *генної* мутації. У разі, коли зачіпається комплекс генів на хромосомі (заміна, втрата, додавання чи зміна місця розміщення ділянки хромосоми), це є прикладом *хромосомної* мутації. А коли зміни відбуваються на рівні геному (зміна кількості окремих хромосом чи всього хромосомного набору), це є прикладом *геномної* мутації.

До геномних мутацій належать поліплоїдія і гетероплоїдія (анеуплоїдія). **Поліплоїдія** — це збільшення кількості хромосом шляхом додавання цілих хромосомних наборів у результаті порушення мейозу.

**Гетероплоїдія** — це зміна кількості хромосом, не кратна гаплоїдному набору. Явище, коли яка-небудь із хромосом у генотипі має не дві, а три гомологічні хромосоми, називаються трисомією. Трапляється і втрата однієї з гомологічних хромосом — моносомія.

### Мутагенні фактори

Фактори, які здатні індукувати мутаційний ефект, називають **мутагенними**. Установлено, що будь-які фактори зовнішнього і внутрішнього середовища, які можуть порушувати гомеостаз, здатні спричиняти мутації. Традиційно їх поділяють на фізичні (рентгеновське та інші випромінювання, ультразвук, температура тощо), хімічні (хімічні сполуки) та біологічні (віруси, токсини) (мал. 34.2).



Фізичні



Хімічні



Біологічні

**Мал. 34.2.** Мутагенні фактори

Значну загрозу як мутагени для людини можуть становити шкідливі звички. І тютюнопаління, і алкоголь, і наркотичні речовини є досить сильними мутагенними факторами. Вони призводять до підвищення ризику виникнення мутацій у нащадків.

Мутагенні фактори широко застосовують у селекційній практиці з метою отримання нових сортів рослин і порід тварин. Так, на рослини діють критичними температурами, іонізуючим випромінюванням, хімічними речовинами (найбільш поширений алкалоїд колхіцин).

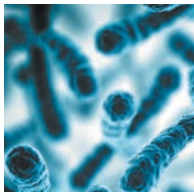


Мутації змінюють генотип особини. Вони виникають раптово й змінюють ДНК організму. Існує кілька варіантів класифікації мутацій. За рівнем організації спадкового матеріалу, який пошкоджується, розрізняють генні, хромосомні й геномні мутації. До появи мутацій призводить вплив мутагенних факторів — фізичних, хімічних чи біологічних. Суттєву загрозу як мутагени для людини становлять тютюнопаління, вживання алкоголю й наркотичних речовин.

### Перевірте свої знання

1. Що таке мутація? 2. Наведіть приклади мутацій. 3. Які існують типи мутацій? 4. Які фактори можуть бути мутагенними? 5. Чому живі організми можуть бути мутагенними факторами? 6\*. У чоловіків гамети утворюються протягом усього життя після періоду статевого дозрівання. У жінок вони формуються під час ембріонального розвитку. Яким чином це може впливати на ризик появи мутацій у нащадків у випадку, коли вік батьків перевищує 40–45 років? 7\*. Поясніть, у чому полягає ризик для нащадків людини, якщо вона вживає наркотичні речовини. 8\*. Запропонуйте та обґрунтуйте заходи захисту від впливу мутагенних факторів.

# 35 Спадкові захворювання людини. Генетичне консультування



*У попередньому параграфі ви ознайомилися з мутаційною мінливістю. Які типи мутацій вам відомі? Які фактори називають мутагенними? Які мутагенні фактори становлять загрозу для людини?*

## Генетика людини і спадкові захворювання

**Генетика людини** вивчає явища спадковості й мінливості в популяціях людей, особливості успадкування нормальних і патологічних ознак, залежність захворювання від генетичної схильності та чинників середовища.

Надзвичайно важливим завданням генетики людини є дослідження механізмів виникнення спадкових захворювань. Це важка праця, але в деяких випадках генетики вже досягли значних успіхів.

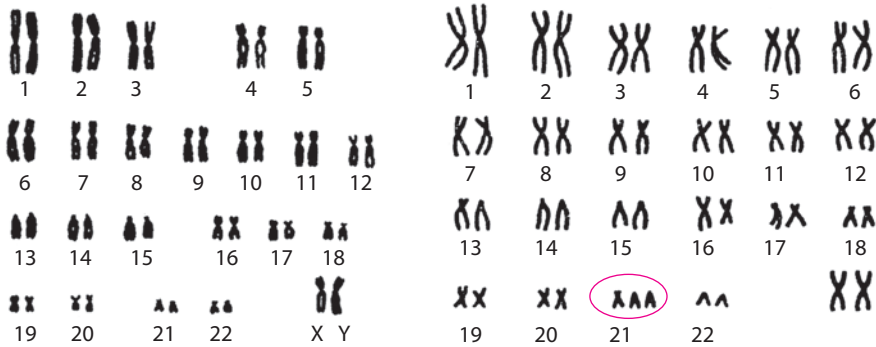
Як і в інших живих організмів, генетичні порушення в людини можуть відбуватися на різних рівнях організації спадкового матеріалу. Відповідно, трапляються геномні, хромосомні та генні захворювання.

## Геномні й хромосомні захворювання людини

Геномні й хромосомні захворювання людини зазвичай є дуже важкими й рідко бувають сумісними із життям. Так, у разі утворення триплоїдної зиготи зародок гине на досить ранніх стадіях розвитку. Зміни кількості хромосом в окремих парах (трисомії та моносомії) теж відомі. Однак у більшості випадків зародки з такими порушеннями теж гинуть.

Є лише кілька винятків. Так, до народження доживають немовлята з трисоміями по 13-й (синдром Патау), 18-й (синдром Едвардса) і 21-й (синдром Дауна) хромосомах. Проте хворі із синдромами Патау й Едвардса мають значні аномалії розвитку різних систем організму й живуть дуже недовго. Хворі із синдромом Дауна (мал. 35.1) живуть довше, але мають проблеми зі здоров'ям.

Прикладом хромосомного захворювання в людини є синдром Лежена, який виникає внаслідок втрати фрагмента хромосоми 5. Його ще називають синдромом котячого крику, бо плач багатьох дітей із цим синдромом нагадує цей звук.



**Мал. 35.1.** Хромосоми здорової людини та людини, хворої на синдром Дауна. Потрійну хромосому 21 виділено червоним

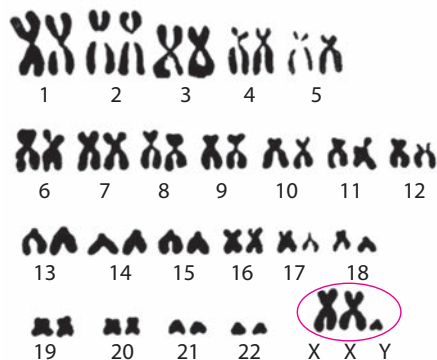
Хромосомними захворюваннями можуть бути й синдроми Патау, Едвардса й Дауна (мал. 35.2). У деяких випадках вони виникають не внаслідок повної трисомії, а внаслідок перенесення короткого плеча певної хромосоми на якусь іншу хромосому.

Частіше, ніж з аутосомами, трапляються порушення кількості статевих хромосом. Генотипи ХУУ і ХХХ якихось особливих зовнішніх фізичних проявів не мають. Але в разі подальшого збільшення кількості статевих хромосом проблеми виникають.

Спадковими захворюваннями є синдром Кляйнфельтера (генотип ХХУ) (мал. 35.2) і синдром Шерешевського — Тернера (у геномі є лише одна Х-хромосома).



**Мал. 35.2.** Людина, хвора на синдром Дауна, може вести цілком нормальне життя



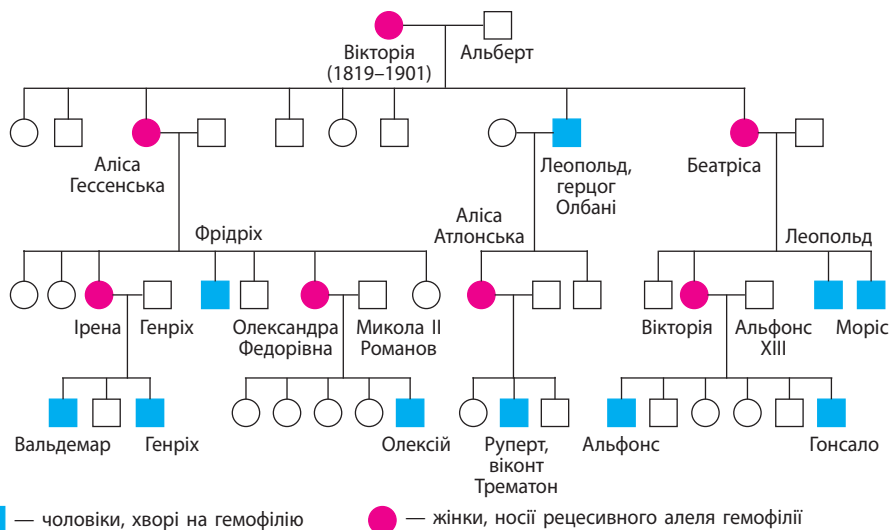
**Мал. 35.3.** Хромосоми людини, хворої на синдром Кляйнфельтера

## Генні захворювання людини

За допомогою сучасних методів досліджень уже відкрито близько 5000 молекулярних захворювань, які є наслідком прояву мутантних генів. Деякі з таких захворювань поки що лікувати не вдається, але для інших знайдено способи лікування.

### Приклади генних захворювань людини

| Захворювання   | Відомості про захворювання                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Муковісцидоз   | Виникає внаслідок пошкодження гена, розташованого на хромосомі 7. Призводить до загущення секретів залоз зовнішньої секреції. Спричиняє значні порушення в роботі травної та дихальної систем                                                                                          |
| Фенілкетонурія | Виникає внаслідок пошкодження гена, розташованого на хромосомі 12. Призводить до неможливості переробки амінокислоти фенілаланіну. За відсутності лікування призводить до ураження нервової системи                                                                                    |
| Дальтонізм     | Виникає внаслідок пошкодження одного з трьох генів, що відповідають за синтез білка опсину, який сприймає відповідний колір. Ген синього опсину розташований на хромосомі 7, а гени червоного й зеленого — на X-хромосомі. Призводить до втрати можливості сприймати відповідний колір |
| Гемофілія      | Виникає внаслідок пошкодження одного з генів, що відповідають за процес зсідання крові. Ці гени розташовані на X-хромосомі. Призводять до порушення процесів зсідання крові                                                                                                            |



Мал. 35.4. Родовід нащадків королеви Вікторії

Гемофілія є прикладом зчепленого зі статтю генного захворювання. Вона стала добре відомою після того, як було встановлено успадкування цієї хвороби у нащадків англійської королеви Вікторії (мал. 35.4). Сама королева на гемофілію не хворіла. Але від одного зі своїх батьків отримала X-хромосому з дефектним варіантом відповідного гена.

### Генетичне консультування

Зараз відомі сотні захворювань, у яких механізми біохімічних порушень вивчено досить докладно. Але спадкові захворювання людини набагато простіше попередити, ніж вилікувати. Тому для їх профілактики створено систему генетичного консультування. У генетичних консультаціях можна проаналізувати родоводи батьків і розрахувати ризик народження дитини зі спадковим захворюванням.

Можна провести аналізи й виявити захворювання зародка ще в тілі матері. Дуже важливим є обстеження новонароджених. За допомогою нескладного тесту можна на ранній стадії виявити захворювання на фенілкетонурію. Це дозволяє попередити розвиток цього захворювання шляхом переведення дитини на особливу дієту. Надзвичайно перспективним є також використання молекулярно-генетичних методів діагностики спадкових захворювань.



У людини трапляються такі спадкові захворювання, як синдроми Патау, Едвардса, Дауна, Кляйнфельтера, які пов'язані зі зміною кількості хромосом. Є й генні захворювання, пов'язані з пошкодженням окремих генів. Це фенілкетонурія, муковісцидоз, дальтонізм, гемофілія тощо. Для попередження спадкових захворювань створено систему генетичного консультування.

### Перевірте свої знання

1. Що вивчає генетика людини? 2. Які геномні й хромосомні захворювання спостерігають у людини? 3. Які генні захворювання спостерігають у людини? 4. Для чого потрібне генетичне консультування? 5. Як можна зменшити ризик виникнення спадкових захворювань у людини? 6\*. Чому порушення кількості статевих хромосом призводить до відносно менш негативних наслідків, ніж порушення числа аутосом? 7\*. Які труднощі можуть виникати під час дослідження генетики людини порівняно зі звичайними модельними об'єктами генетики, як, наприклад, дрозофіла?

# 36 Методи генетичних досліджень. Сучасні методи молекулярної генетики



*Вивчаючи цю тему, ви ознайомилися з основними закономірностями спадковості й мінливості живих організмів. Пригадайте, які речовини і структури є матеріальною основою спадковості. Як працюють механізми захисту ДНК від пошкоджень?*

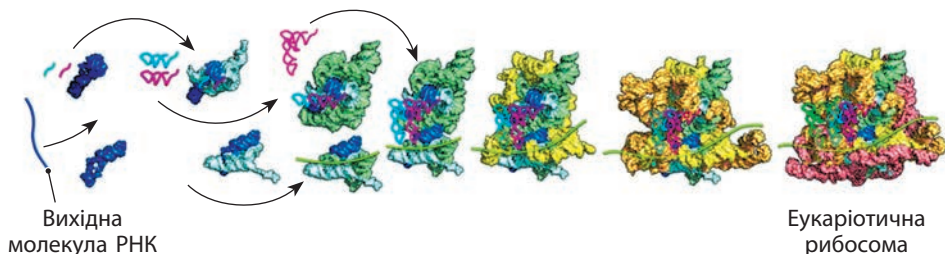
## Переваги сучасних молекулярно-генетичних методів

Молекулярно-генетичні методи працюють переважно з молекулами ДНК і білків. Ці молекули не такі мінливі, як морфологічні ознаки. Крім того, інтерпретація в порівнянні морфологічних ознак може бути значно більшою. Наприклад, можна сперечатися, яка з морфологічних ознак є більш важливою — форма вуха чи довжина рогів. А от із важливістю рибосомальної РНК суперечок не виникає.

Порівнюючи ДНК і білки різних організмів, можна відтворювати їх еволюцію в минулому. Навіть такому далекому, що не залишило для досліджень викопних решток. Ще з епохи доклітинного етапу еволюції життя (мал. 36.1).

## Сучасні молекулярно-генетичні методи

Сучасні молекулярно-генетичні методи можна умовно поділити на кілька груп. Це методи виділення й очищення потрібних молекул, методи ампліфікації (копіювання) ДНК, методи гібридизації та методи обробки даних і моделювання. Зазвичай усі методи досліджень використовують у комплексі.



**Мал. 36.1.** Модель еволюції рибосоми

### Деякі групи методів молекулярно-генетичних досліджень

| Група методів                        | Особливості                                                                                                                                                                                                     | Що дають у результаті                                                                     |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Методи виділення й очищення          | Ґрунтуються на виділенні хоча б невеликої кількості матеріалу, в якому міститься ДНК                                                                                                                            | Дозволяють виділяти ДНК з дуже давніх кісток або невеликих фрагментів організмів          |
| Методи ампліфікації (копіювання) ДНК | Роблять копії цілих молекул ДНК або їхніх фрагментів, використовуючи звичайні механізми реплікації. Основою таких методів зазвичай є полімеразна ланцюгова реакція                                              | Дозволяють із дуже незначної кількості ДНК отримати достатньо матеріалу для аналізу       |
| Методи гібридизації                  | За допомогою спеціальних молекул-зондів упізнають певні молекули ДНК. Використовують властивість ланцюжків ДНК утворювати подвійні ланцюжки з молекулами, які мають відповідні до них послідовності нуклеотидів | Дозволяють розпізнавати наявність у зразках певних молекул нуклеїнових кислот             |
| Методи обробки даних і моделювання   | Створюють бази даних про послідовності молекул ДНК різних видів і аналізують інформацію за допомогою спеціальних комп'ютерних програм                                                                           | Створюють моделі, за якими можна перевіряти гіпотези щодо еволюційних зв'язків організмів |



Сучасні молекулярно-генетичні методи досліджень мають суттєві переваги перед традиційними методами. Вони дають значно більші можливості для проведення досліджень і підвищення надійності їхніх результатів.

До таких методів належать методи виділення потрібних молекул зі зразків, методи ампліфікації ДНК, методи гібридизації, методи обробки інформації тощо.

### Перевірте свої знання

1. Що вивчає генетика? 2. Які методи досліджень використовує генетика? 3. У чому полягає генеалогічний метод досліджень? Що він дозволяє визначити? 4. У чому полягає гібридологічний метод досліджень? Що він дозволяє визначити? 5. Які молекулярно-генетичні методи досліджень існують? 6. Для чого потрібні методи ампліфікації ДНК? 7. Які переваги мають сучасні методи досліджень перед класичними? 8\*. Чому молекулярні методи діагностики є такими важливими для сучасної генетики людини?

## Узагальнюючі завдання до теми «Закономірності успадкування ознак»

Ознайомтеся з умовами задачі 1 і дайте відповіді на запитання 1–3. У кожному завданні лише одна правильна відповідь.

### Задача 1

У рослини колір пелюсток кодується одним геном. Домінантний алель  $A$  забезпечує червоне забарвлення пелюсток, а рецесивний  $a$  — біле. Домінування неповне, і гетерозиготні рослини мають рожеве забарвлення пелюсток. Схрестили рослину з червоними й рослину з білими пелюстками.

- 1) Серед гібридів першого покоління:
  - а) усі матимуть білі пелюстки
  - б) усі матимуть червоні пелюстки
  - в) усі матимуть рожеві пелюстки
  - г) 50 % матимуть білі пелюстки, а 50 % — червоні
- 2) Серед гібридів другого покоління:
  - а) усі матимуть рожеві пелюстки
  - б) 50 % матимуть червоні пелюстки, а 50 % — рожеві
  - в) 25 % матимуть рожеві пелюстки, 50 % — червоні, 25 % — білі
  - г) 25 % матимуть білі пелюстки, 50 % — рожеві, 25 % — червоні
- 3) Якщо гібриди першого покоління від цього схрещування схрестити з особинами з генотипом  $aa$ , то серед їхніх нащадків:
  - а) усі матимуть рожеві пелюстки
  - б) 50 % матимуть червоні пелюстки, а 50 % — рожеві
  - в) 50 % матимуть білі пелюстки, а 50 % — рожеві
  - г) 50 % матимуть червоні пелюстки, а 50 % — білі

Ознайомтеся з умовами задачі 2 і дайте відповіді на запитання 4–6. У кожному завданні лише одна правильна відповідь.

### Задача 2

У рослини один ген визначає висоту рослини (домінантний алель  $A$  — висока рослина, рецесивний алель  $a$  — карликова рослина), а другий ген — забарвлення плодів (домінантний алель  $B$  — червоні плоди, рецесивний алель  $b$  — жовті плоди). В обох випадках домінування повне.

Схрестили дві рослини, одна з яких має генотип  $AAbb$ , а друга — генотип  $aaBB$ .

- 4 Серед гібридів першого покоління всі будуть:
- а) високими з червоними плодами
  - б) карликовими з жовтими плодами
  - в) високими з жовтими плодами
  - г) карликовими з червоними плодами
- 5 Серед гібридів другого покоління карликові рослини з жовтими плодами будуть становити:
- а) 9/16                      б) 8/16                      в) 3/16                      г) 1/16
- 6 Якщо гібриди першого покоління від цього схрещування схрестити з особинами з генотипом  $aabb$ , то серед їхніх нащадків високі рослини з жовтими плодами будуть становити:
- а) 1/2                      б) 1/4                      в) 3/16                      г) 1/16

У завданнях 7–12 оберіть одну правильну відповідь.

- 7 Властивість організму змінювати свою організацію, а також набувати нових ознак у процесі індивідуального розвитку:
- а) фенотип      б) мінливість      в) генотип      г) спадковість
- 8 Г. Мендель сформулював закони спадковості, провівши досліді:
- а) з кукурудзою                      в) з житом
  - б) з дріозофілою                      г) з горохом
- 9 Особина з генотипом  $AaBb$  утворює гамети:
- а) тільки  $AB$                       в)  $AB$ ,  $ab$  і  $Ab$
  - б)  $AB$  і  $ab$                       г)  $AB$ ,  $ab$ ,  $Ab$  і  $aB$
- 10 У дрозофіли в соматичних клітинах є по чотири пари хромосом. Тому число груп зчеплення у дрозофіли дорівнює:
- а) 2                      б) 4                      в) 8                      г) 16
- 11 Найменшу кількість генів серед хромосом людини містить:
- а) Y-хромосома                      в) хромосома 21-ї пари
  - б) X-хромосома                      г) хромосома 22-ї пари
- 12 Поясніть, яке значення мають знання про спадковість і мінливість у життєдіяльності людини.



Перевірте свої знання з теми «Закономірності успадкування ознак».

## Тема 6



# Еволюція органічного світу

## 37 Розвиток еволюційних поглядів. Докази еволюції



У попередніх класах ви ознайомилися з особливостями будови й життєдіяльності багатьох груп живих організмів. Пригадайте основні групи рослин і тварин, які ви вивчали в попередніх класах. Чи існує зв'язок між особливостями будови й життєдіяльності цих організмів? Які з них є найбільшими за кількістю видів?

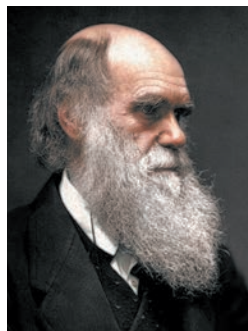
### Розвиток поглядів на походження видів живих істот

Питання походження видів живих організмів завжди цікавило людей. Спочатку його намагалися розв'язати в межах релігійних поглядів. Але з формуванням наукової системи знань було запропоновано кілька теорій, які пояснюють це явище.

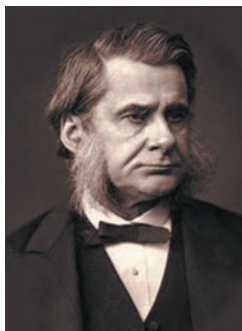
Автором першої наукової теорії, яка пояснювала походження різних видів живих організмів, став Ж.-Б. Ламарк. Але ця теорія мала досить багато недоліків. Теорія Ч. Дарвіна була створена пізніше, і вона була обґрунтована набагато краще.



**Мал. 37.1.** Жан-Батист Ламарк (1744–1829)



**Мал. 37.2.** Чарльз Дарвін (1809–1882)



**Мал. 37.3.** Томас Гекслі (1825–1895)



**Мал. 37.4.** Джей Стівен Гулд (1941–2002)

### Історичні етапи розвитку еволюційних уявлень

| Період                           | Учені, які працювали в цей період                                                                  | Події в науці                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Давні часи — епоха середньовіччя | Демокріт, Геракліт, Лукрецій                                                                       | Поява перших еволюційних поглядів, ідей про можливість еволюційних процесів                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 1500–1800                        | К. Лінней, К. Вольф, П. Паллас, Ж. Бюффон                                                          | Накопичення матеріалів про різноманітність живих організмів. Формування сучасної науки. Створення сучасної систематики                                                                                                                                                                                                        |
| 1800–1858                        | Ж.-Б. Ламарк (мал. 37.1), Ж. Кюв'є, Е. Дарвін, Ж. Сент-Ілер                                        | Створення перших наукових еволюційних теорій. Активні дискусії креаціоністів та еволюціоністів                                                                                                                                                                                                                                |
| 1859–1940                        | Ч. Дарвін (мал. 37.2), А. Воллес, Т. Гекслі (мал. 37.3), Г. Мендель, Г. де Фріз, М. Вавилов        | Період становлення і розвитку класичного дарвінізму. Еволюція, за Дарвіном, полягає в безперервних пристосувальних (адаптаційних) змінах видів. Вона відбувається на основі спадкової мінливості під дією боротьби за існування, результатом якої є природний добір. Відкриття і перевідкриття законів менделівської генетики |
| 1940 — наш час                   | С. Четверіков, Ф. Добжанський, Дж. Холдейн, М. Тимофеев-Ресовський, Р. Фішер, Дж. Гулд (мал. 37.4) | Створення й розвиток синтетичної теорії еволюції, розвиток молекулярної біології, дослідження життєдіяльності організмів на молекулярному й субклітинному рівнях, значна кількість нових палеонтологічних знахідок                                                                                                            |

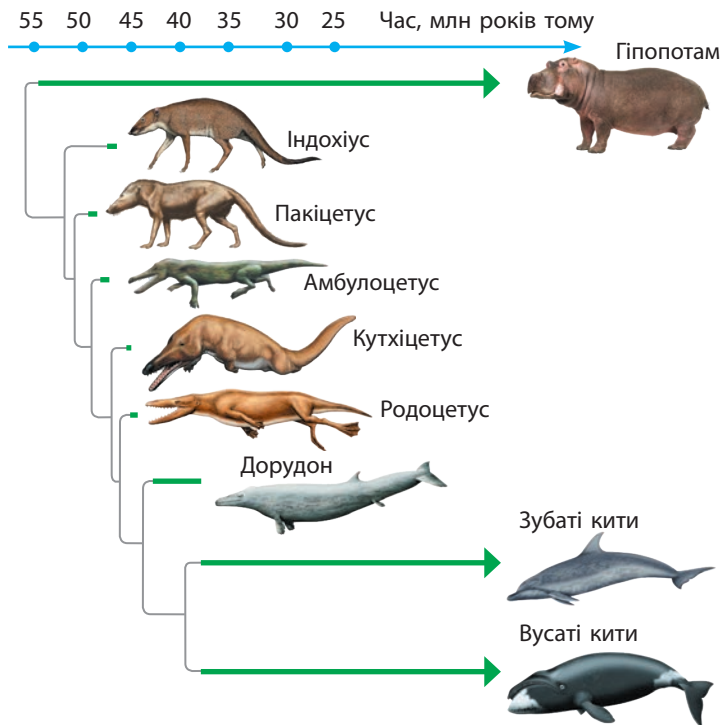
### Процес еволюції та еволюційні теорії

Говорячи про еволюційні теорії, слід пам'ятати один важливий момент. Еволюція й еволюційна теорія не є тотожними поняттями. **Еволюція** — це процес змін живих організмів, який стає причиною появи їх нових форм. І цей процес ми можемо спостерігати й відтворювати в експериментах.

**Еволюційна теорія** — це пояснення механізмів цього процесу. Так, теорія Ж.-Б. Ламарка пояснювала еволюційні зміни внутрішнім прагненням організмів до прогресу. А за теорією Ч. Дарвіна, причиною цих змін був природний добір. Обидві теорії пояснювали реальні факти змін живих організмів, але різними способами.

### Палеонтологічні докази еволюції

**Палеонтологія** — це наука, що вивчає вимерлі організми, які колись жили на нашій планеті. За триста років свого існування вона



**Мал. 37.5.** Еволюція китоподібних за даними палеонтології

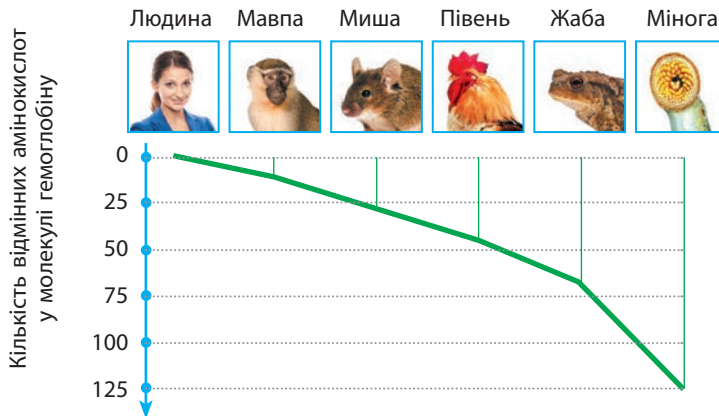
докладно вивчила історію життя попередніх епох. Спочатку вдалося встановити послідовність розвитку життя, а потім і час, коли відбувалися ці події.

Усі дані палеонтології свідчать, що чим давнішими були геологічні породи, тим більш примітивні організми залишали в них свої рештки. Тобто з плином часу живі організми на нашій планеті ускладнювалися. Палеонтологам удалося простежити еволюційний розвиток усіх основних груп живих організмів (мал. 37.5).

### Молекулярно-генетичні докази еволюції

Поява сучасних молекулярно-генетичних методів дозволила відстежувати еволюційні події, які не залишили слідів у палеонтологічному літописі. Органічні молекули не зберігаються у викопному вигляді тривалий час. Але вони відтворюються в живих організмах. Таким чином інформація про минулі події зберігається в живих клітинах.

Для виявлення цієї інформації беруть різні організми та порівнюють молекули, які вони виробляють (нуклеїнові кислоти й білки).



**Мал. 37.6.** Дендрограма родинних зв'язків людини, побудована на основі аналізу молекул гемоглобіну

Оцінивши ступінь відмінності та подібності, можна з'ясувати, який вигляд мали молекули спільного предка цих організмів. Також можна побудувати дендрограму — схему, що відображає родинні зв'язки організмів та час існування їх спільного предка (мал. 37.6).

Крім молекулярно-генетичних та палеонтологічних, існують й інші докази еволюції. Це анатомо-морфологічні та ембріологічні (схожість будови та індивідуального розвитку організмів в межах однієї систематичної групи). А єдність хімічного складу та основних процесів перетворення речовин у клітинах є гарним біохімічним доказом.



Еволюція — це об'єктивний процес, який ми спостерігаємо в природі й можемо відтворити в експерименті. Еволюційні теорії пропонують пояснення механізмів цього процесу. Існує багато палеонтологічних і молекулярно-генетичних доказів еволюції. Результатом еволюційних процесів стала різноманітність сучасних живих організмів.

### Перевірте свої знання

1. Поясніть, як розвивалися погляди на появу живих істот.
2. У чому різниця між еволюцією та еволюційною теорією?
3. Наведіть приклади палеонтологічних доказів еволюції.
4. Наведіть приклади молекулярно-генетичних доказів еволюції.
- 5\*. Знайдіть сліди еволюційних змін у вашому організмі.
- 6\*. Запропонуйте пояснення того, що досі значна частина видів живих організмів не описана вченими.

# 38 Популяції живих організмів та їхні основні характеристики. Популяція як одиниця еволюції



*Пригадайте, з якими групами живих організмів ви ознайомилися в курсі біології. Чим вони між собою відрізняються? У яких середовищах живуть ці організми? Яким чином вони живляться?*

## Популяції та їхні характеристики

**Популяція** — це сукупність особин одного виду, які відтворюють себе протягом великої кількості поколінь і тривалий час займають певну територію, функціонуючи й розвиваючись в одному або кількох угрупованнях живих організмів.

Кожній популяції властиві певні характеристики, за допомогою яких можна визначати її стан. Це щільність, розподіл особин за віком і статтю, характер розміщення в межах проживання, тип росту та інші.

## Чисельність і щільність популяції

**Чисельність популяції** — це загальна кількість особин на певній території, які належать до однієї популяції. Для популяцій дрібних організмів (особливо водяних) чисельність розраховують на певний об'єм (води, ґрунту, повітря). Чисельність популяції із часом може змінюватися.

Якщо рахувати не загальну кількість особин, а середню кількість на одиницю площі чи об'єму, то можна визначити **щільність популяції**. Наприклад, якщо чисельність популяції ящірок на острові площею 12,8 гектара становить 256 особин, то щільність цієї популяції — 20 особин на гектар.

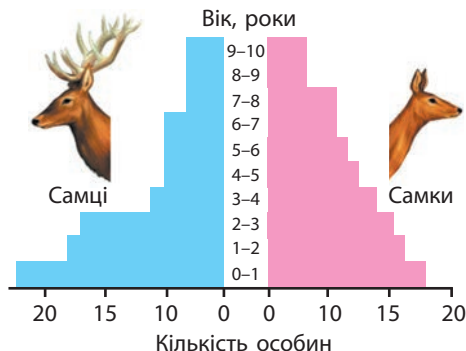
## Статева і вікова структура популяцій

Співвідношення чоловічої і жіночої статей у популяції має важливе екологічне значення. Воно безпосередньо пов'язане з потенціалом її розмноження. Визначається співвідношення статей як відношення кількості самців до кількості самок або кількості самців до загальної кількості самців і самок.

Дуже важливим показником для популяції є її вікова структура. Це співвідношення чисельності особин різних вікових класів і поко-

лінь. Не обов'язково популяція має складатися з особин різного віку. Наприклад, усі особини в популяціях однорічних рослин мають однаковий вік.

Статева і вікова структури популяції відображають її здатність до розмноження (мал. 38.1). Наприклад, якщо в популяції переважають старі особини або дуже мало самок, швидко чисельність популяції зростати не буде.



Мал. 38.1. Вікова і статеві структури однієї з популяцій оленів

### Популяція як одиниця еволюції

Популяції є тими компонентами, з яких складаються види живих організмів. Сукупність генів усіх особин популяції становить її **генофонд**. Коли якийсь фактор знищує частину особин популяції, він змінює співвідношення різних варіантів генів у генофонді популяції. А зміна генофонду із часом може спричинити й еволюційні зміни. Тому саме популяції, а не окремі організми є учасниками еволюційного процесу й елементарними одиницями еволюції.



Популяція — це сукупність особин одного виду, які відтворюють себе протягом великої кількості поколінь і тривалий час займають певну територію. Популяції мають певні характеристики, за якими можна оцінювати їхній стан: щільність, розподіл особин за віком і статтю, характер розміщення в межах проживання тощо.

### Перевірте свої знання

1. Що таке популяція? 2. За допомогою яких характеристик можна оцінити стан популяції? 3. У чому різниця між чисельністю й щільністю популяції? 4. Що таке: а) статеві структура популяції; б) вікова структура популяції? 5. Чи завжди тварини з популяції, яка проживає на певній території, буде розподілятися по цій території рівномірно? Поясніть на конкретних прикладах. 6\*. Чому популяцію можна вважати елементарною одиницею еволюції? Поясніть на конкретному прикладі.

# 39 Еволюційні фактори. Механізми первинних еволюційних змін. Природний добір



*У попередньому параграфі ви дізналися про популяції та їхню структуру. Чому популяцію вважають елементарною одиницею еволюції? Що таке генофонд популяції? Чи може він змінюватися?*

## Еволюційні фактори

**Еволюційні фактори** — це явища та процеси, які змінюють генофонд популяції. Зміни в генофонді популяцій із часом можуть накопичуватися, й особини в популяції починають дедалі більше відрізнятися від своїх предків. Так і відбувається еволюція.

Існує кілька факторів еволюції.

### Еволюційні фактори

| Фактор                          | Опис фактора                                                                                                                                                                             | Приклад дії                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мутації (мутаційний процес)     | Природний процес постійних змін спадкової інформації внаслідок дії мутагенних факторів                                                                                                   | У предків людини внаслідок мутації дві хромосоми об'єдналися в одну. Тому в людини 23 пари хромосом, а у шимпанзе, як і у нашого спільного предка, — 24 пари                                                                                 |
| Популяційні хвилі (хвилі життя) | Коливання чисельності природних популяцій, яке відбувається постійно внаслідок кліматичних, біологічних або інших факторів                                                               | Періодично виникають спалахи інтенсивного розмноження комах (наприклад, сарани). При цьому тварини можуть поширюватися за межі території свого звичного проживання                                                                           |
| Дрейф генів                     | Зміна частоти алелів певних генів через випадкові процеси, наприклад, виверження вулкана, повінь або потрапляння невеликої групи особин на нову територію (ефект засновника) (мал. 39.1) | Коли люди потрапили на американський континент, серед першовідкривачів випадково не виявилось людей з алелем, який відповідає за формування III і IV груп крові. Тому до прибуття європейців жителі Америки мали тільки I або II групу крові |
| Ізоляція                        | Розділення популяцій одного виду через виникнення між ними якихось бар'єрів (фізичних або екологічних)                                                                                   | Популяції, які потрапляли на острови, часто не могли контактувати з популяціями материка й утворювали нові види, як в'юрки на Галапагоських островах                                                                                         |

Закінчення таблиці

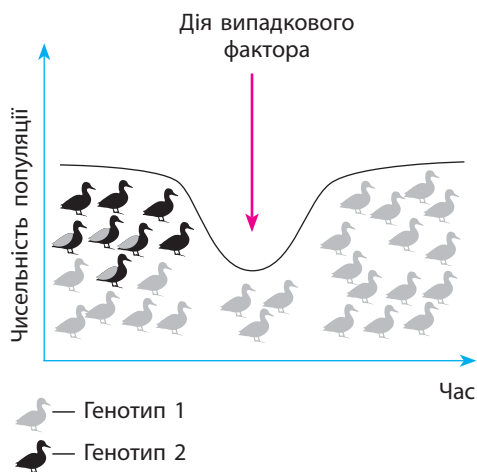
| Фактор          | Опис фактора                                                                              | Приклад дії                                                                                                           |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Міграція        | Переміщення особин з однієї популяції в іншу або на нові території                        | Риба-голка із Чорного моря мігрувала в р. Дніпро, а звідти по каналу Дніпро — Донбас потрапила в р. Сіверський Донець |
| Природний добір | Диференційоване виживання більш пристосованих до певних умов існування особин у популяції | Коли хворі використовують антибіотики, виживають тільки ті бактерії, які мають до них стійкість                       |

### Види природного добору. Стабілізуючий добір

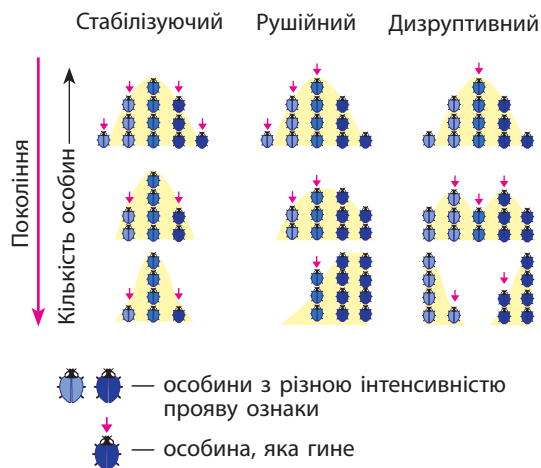
Виділяють три основні форми природного добору: дизруптивний (розривний), рушійний (спрямований) і стабілізуючий (мал. 39.2).

Стабілізуючий добір підтримує ознаки в незмінному стані. Він діє тоді, коли найбільш вигідним є середнє значення якоїсь ознаки. Він зазвичай відбувається в умовах, коли середовище існування мало змінюється й організми до нього добре пристосовані.

Так, представники ракоподібних щитні залишилися незмінними ще з часів мезозою. Їхні особини мають короткий термін життя і живуть у калюжах. Умови життя в калюжах і зараз, і за часів динозаврів однакові. А період пересихання калюж щитні переживають на стадії яйця, яке в них є дуже стійким до будь-яких зовнішніх впливів.



Мал. 39.1. Ілюстрація дії дрейфу генів (ефекту засновника) на генотип популяції



Мал. 39.2. Види природного добору

### Рушійний добір

**Рушійний** (спрямований) добір сприяє зміні ознаки в певному напрямку. Так, комахи, ящірки й низка інших видів, які ховаються між листками рослин, мають зелений або бурий колір, мешканці пустель — колір піску. А у метеликів, які жили в Англії в XIX столітті, рушійний відбір призвів до кращого виживання особин з темним забарвленням. Це трапилося тому, що розвиток промисловості призвів до забруднення стовбурів вугільним пилом і кіптявою. Внаслідок цього стовбури потемніли, і на їхньому фоні хижакі менше помічали темних метеликів.

У хижаків захисне забарвлення закріпилося завдяки тому, що його власник непомітно міг підкрастися до здобичі, а у жертви воно є наслідком того, що тварина залишалася менш помітною для хижаків. Ті з них, хто не мав захисного забарвлення під час пристосування до життя в таких умовах, гинув і не залишав нащадків.

### Дизруптивний добір

**Дизруптивний** (розривний) добір спостерігається тоді, коли переваги мають тварини з ознакою, що відрізняється від середньої в той або інший бік. Наприклад, серед комах, які живуть на невеличких острівцях в океані, більшість видів або дуже добре літають, або взагалі не мають крил. Така ситуація склалася через сильні вітри, які можуть виносити комах з острова в океан. Для того щоб цього не сталося, слід або дуже добре літати, або не літати взагалі.

Яскравим прикладом дизруптивного добору є ситуація з розходженням предків людини і шимпанзе. Спільний предок цих видів мешкав у Африці приблизно 8 млн років тому. Він чудово лазив по деревах, але міг пересуватися і на поверхні землі. Тому зміг заселити і невеликі лісові масиви, розташовані на межі савани. Жив він там на деревах, а між масивами пересувався пішки.

Після настання чергового циклу похолодання на нашій планеті площа лісів зменшилася, розміри лісових масивів на межі савани теж стали меншими, а відстані між ними більшими. Тому ходити пішки треба було вже набагато більше. У цих умовах перевагу отримували особини, які або ходили краще і жили більше в савані, або жили в глибині лісу й пересувалися по деревах.

Дизруптивний добір призвів до того, що ті особини, які залишилися в лісі, стали предками шимпанзе, а ті особини, які жили в савані, стали предками людини.



Мал. 39.3. Приклади статевого диморфізму

### Статевий добір

Як одну з форм добору розглядають також **статевий** добір, який впливає на ознаки лише однієї статі. До такого добору призводить суперництво між особинами однієї статі за право вступити в розмноження з особинами іншої статі.

Ця форма добору сприяє появі статевого диморфізму, коли особини одного виду, але різної статі суттєво відрізняються між собою за зовнішнім виглядом. Статевий диморфізм чудово видно на прикладі таких видів, як олені, кури та деякі комахи (мал. 39.3).



Елементарними факторами еволюції є мутації (мутаційний процес), популяційні хвилі (хвилі життя), дрейф генів, ізоляція, міграція та природний добір.

Виділяють такі види природного добору, як стабілізуючий, рушійний, дизруптивний, статевий. Тільки природний добір є направленим. Усі інші фактори еволюції є ненаправленими.

### Перевірте свої знання

1. Що таке фактори еволюції? 2. На конкретному прикладі поясніть, що таке популяційні хвилі. 3. На конкретному прикладі поясніть, що таке мутаційний процес. 4. На конкретному прикладі поясніть, що таке міграція. 5. Чому дрейф генів є ненаправленим фактором еволюції? 6. Які існують форми природного добору? 7. На конкретних прикладах поясніть дію статевого добору. 8. За яких умов відбувається стабілізуючий добір? 9. За яких умов відбувається дизруптивний добір? 10\*. Чому твердження, що під час природного добору виживає найсильніший, є грубою помилкою?

# 40 Вид. Критерії виду. Механізми видоутворення



*Пригадайте фактори еволюції, з якими ви ознайомилися. Назвіть їх. Чому ці фактори діють саме на популяції? Що таке природний добір і чим він відрізняється від інших еволюційних факторів?*

## Вид

Еволюційні процеси, які відбуваються на рівні популяцій і зумовлюють утворення нового виду, називають **мікроеволюцією**.

Кінцевим результатом процесів мікроеволюції є формування нового виду. **Вид** — це сукупність популяцій особин, подібних між собою за будовою, функціями, місцем в угрупованнях організмів, що населяють певний ареал і вільно схрещуються між собою у природі.

У природі трапляються види-двійники, які дуже подібні між собою за зовнішньою будовою. Тому, щоб не помилитися, для визначення виду використовують не якусь одну ознаку, а цілий комплекс критеріїв виду.

## Критерії виду

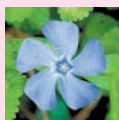
| Критерій      | Що характеризує                                                                                         |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Морфологічний | Схожість зовнішньої і внутрішньої будови організмів одного виду                                         |
| Генетичний    | Кількість і структуру хромосом виду, тобто його каріотип. Кожен вид має чітко визначений набір хромосом |
| Фізіологічний | Схожість процесів життєдіяльності й можливість схрещування                                              |
| Біохімічний   | Можливість розрізняти види за біохімічними параметрами (будовою білків і нуклеїнових кислот)            |
| Географічний  | Зону поширення виду (ареал). Існують види з розірваним ареалом і види з дуже великим ареалом поширення  |
| Екологічний   | Умови існування виду, його місце в біоценозі, взаємовідносини з іншими видами                           |

## Способи видоутворення

Існує кілька можливих способів утворення нового виду. Найважливішою умовою утворення виду є ізоляція його окремих популяцій. Класифікацію способів видоутворення побудовано саме на різниці у способах створення ізоляції між різними популяціями виду.

### Способи й механізми видоутворення

| Спосіб видоутворення      | Механізми видоутворення                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Географічне (алопатричне) | Нові форми організмів виникають як результат розриву ареалу й ізоляції окремих популяцій. У кожній ізольованій популяції внаслідок дрейфу генів і добору змінюється генофонд. Далі настає репродуктивна ізоляція (неможливість схрещування особин), що веде до утворення нових видів. Причинами розриву ареалу можуть бути гірські процеси, льодовики, утворення річок та інші геологічні процеси |
| Екологічне (симпатричне)  | Нові форми організмів займають різні екологічні ніші в межах одного ареалу. Ізоляція відбувається внаслідок невідповідності часу й місця схрещування, поведінки тварин, споживання різної їжі, пристосування до різних способів запилення в рослин тощо                                                                                                                                           |
| Гібридизація              | Нова форма організмів утворюється внаслідок схрещування двох видів. Прикладом такого видоутворення є слива (гібрид терну й аличі)                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Шляхом поліплоїдії        | Нова форма організмів утворюється зі старої шляхом поліплоїдизації (кратного збільшення числа хромосом). Цей спосіб видоутворення поширений у рослин                                                                                                                                                                                                                                              |



Різні види організмів розрізняють між собою за допомогою спеціальних критеріїв виду. Нові види організмів можуть утворюватися різними способами: географічним, екологічним, шляхом гібридизації, поліплоїдизації або рушійного добору.

## Перевірте свої знання

1. Які існують способи видоутворення? 2. Що відбувається в разі симпатричного видоутворення? 3. Що відбувається в разі алопатричного видоутворення? 4. Чи можуть утворюватися нові види шляхом схрещування? 5. За якими критеріями можна розпізнати види-двійники? 6\*. Різновидом якого видоутворення — симпатричного чи алопатричного — можна вважати видоутворення шляхом поліплоїдизації?

# 41 Адаптації — результат еволюційного процесу. Основні положення сучасної теорії еволюції



*У попередніх класах ви ознайомилися з особливостями будови й життєдіяльності багатьох груп живих організмів. Пригадайте, чи існує зв'язок між особливостями будови й життєдіяльності рослин і тварин.*

## Адаптація організмів до умов середовища

**Адаптація** — це пристосування живих організмів до певних умов середовища існування. Усі адаптації є результатом еволюційного процесу на основі природного добору. Адаптації можуть виникати до різних факторів як живої, так і неживої природи. Але всі вони спрямовані на підвищення стійкості живих організмів.

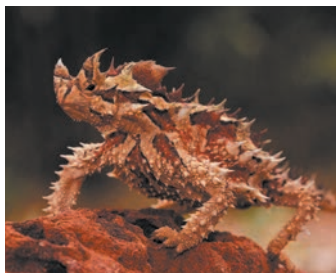
Способи адаптацій можуть бути різними:

— морфологічні адаптації (захисне забарвлення, колючки, товста кутикула, волосяний покрив, жировий шар тощо) (мал. 41.1);

— фізіологічні адаптації (стійкість фізіологічних параметрів: стала температура тіла, вміст кисню, вуглекислого газу, вміст цукру в крові тощо);

— біохімічні адаптації (сталість біохімічних процесів, вироблення певних ферментів);

— етологічні адаптації (поведінкові реакції для уникнення небезпечних ситуацій, наприклад страх змій та уникання контактів з ними через побоювання отруйних укусів).



Ящірка молох (будова шкіри дозволяє збирати і споживати росу)



Саксаул (листки перетворені на луски)



Верблюд (жир у горбах — запас поживних речовин і води)

**Мал. 41.1.** Морфологічні адаптації до життя в пустелі



Кашалот



Бегемот



Лось

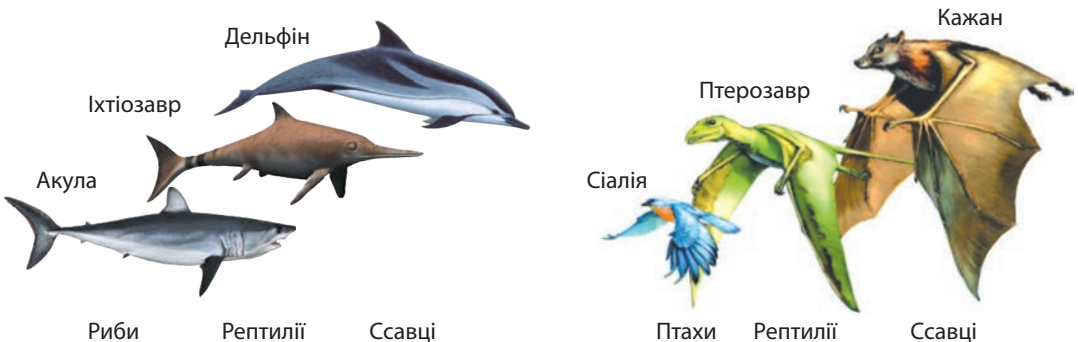
**Мал. 41.2.** Дивергенція. Тварини, які походять від спільного предка

### Конвергенція, дивергенція, паралелізм

Наслідком адаптацій організмів до умов середовища стали процеси конвергенції, дивергенції та паралелізму.

За умов, коли споріднені види потрапляють у різні умови існування, виникає явище **дивергенції**. Це процес, унаслідок якого однакові органи у різних організмів зовні починають відрізнятися, хоча й зберігають схожі риси внутрішньої будови (так звані гомологічні органи). У разі дивергенції споріднені види стають несхожими (як кити, бегемоти й лосі, які походять від спільного предка) (мал. 41.2).

В умовах, коли далекі одна від одної систематичні групи організмів починають пристосовуватися до однакових умов, виникає явище **конвергенції**. Це процес формування схожих ознак у далеких за рівнем спорідненості груп організмів. У такий спосіб виникають так звані аналогічні органи. У разі конвергенції види стають схожими (мал. 41.3).



**Мал. 41.3.** Конвергенція у плаваючих та літаючих організмів



Морж



Справжній тюлень



Вухатий тюлень

**Мал. 41.4.** Тварини, які незалежно пристосувалися до життя у воді

**Паралелізм** виникає тоді, коли до схожих умов пристосовуються досить близькі за походженням види. У разі зовнішньої і внутрішньої подібності органи таких організмів можуть відрізнятися відмінними способами адаптації до умов життя. Прикладом паралелізму є моржі, справжні й вухаті тюлені. Ці три групи пристосовувалися до життя у воді незалежно й дещо відмінними способами (мал. 41.4). Але всі вони є представниками одного ряду.

Відмінність у пристосуванні до життя у воді добре видно на прикладі справжніх та вухатих тюленів. Обидві ці групи під час переходу до життя у воді стали використовувати для плавання кінцівки, які перетворилися на ласті. Але у вухатих тюленів рух у воді здійснюється переважно за рахунок передніх кінцівок, тому вони в них дуже великі. А задні кінцівки переважно виконують функцію рулів. Крім того, задні кінцівки активно використовуються під час руху по землі. У справжніх тюленів, навпаки, рух у воді головним чином забезпечують задні кінцівки разом із задньою частиною тіла. Ці кінцівки не згинаються й участі в пересуванні по землі не беруть.

### *Сучасна еволюційна теорія*

Найбільш поширеною в наш час є синтетична теорія еволюції. Хоча існують і інші теорії, які пояснюють механізми процесів еволюції. Синтетична теорія еволюції сформувалася у 20–50-х роках ХХ століття під час об'єднання положень класичного дарвінізму та генетики. Найбільш важливими для формування теорії розділами генетики були теорія мутацій та популяційна генетика.

Значний внесок у розробку синтетичної теорії еволюції зробили вчені Дж. Холдейн, Р. Фішер, Ф. Добжанський, М. Вавілов, С. Четвериков (мал. 41.5), О. Северцов, І. Шмальгаузен, Дж. Сімпсон та інші.



Джон Бердон Сандерсон  
Холдейн (1892–1964)



Феодосій Григорович  
Добжанський (1900–1975)

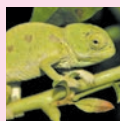


Сергій Сергійович Четвері-  
ков (1880–1959)

**Мал. 41.5.** Деякі із засновників синтетичної теорії еволюції

### Основні положення синтетичної теорії еволюції:

- Матеріалом для еволюції є спадкові зміни — мутації (як правило, генні) та їхні комбінації.
- Основним рушійним фактором еволюції є природний добір, що виникає на основі боротьби за існування.
- Найменшою одиницею еволюції є популяція.
- Еволюція має поступовий і тривалий характер. Видоутворення як етап еволюційного процесу є послідовною зміною однієї популяції низкою наступних популяцій.
- Еволюція має ненаправлений характер, тобто не йде в напрямку будь-якої кінцевої мети.
- Еволюція є необоротним процесом.



Адаптація — це пристосування живих організмів до певних умов середовища існування. Наслідком адаптацій організмів до умов середовища стали процеси конвергенції, дивергенції та паралелізму. У сучасній біології найбільш розробленою є синтетична теорія еволюції, що об'єднує основні ідеї класичної теорії еволюції, запропоновані Чарльзом Дарвіном, і досягнення сучасної генетики.

### Перевірте свої знання

1. Що таке адаптація? 2. Які бувають адаптації? 3. Як виникають явища: а) конвергенції; б) дивергенції? 4. Які існують основні положення синтетичної теорії еволюції? 5. На конкретному прикладі поясніть утворення гомологічних органів. 6. Якими органами — гомологічними чи аналогічними — є крила метеликів і птахів? Обґрунтуйте свою точку зору.

# 42 Еволюція людини.

## Етапи еволюції людини



Вивчаючи біологію тварин, ви дізналися, що людина належить до хребетних тварин і є представником ссавців. Які характерні ознаки притаманні цій групі? Хто із ссавців є найближчим родичем людини?

### Людина – представник приматів. Найближчі родичі

Людина належить до ряду Примати класу Ссавці. Примати з'явилися в Північній Америці ще за часів динозаврів і поширилися на інших континентах. А от у Північній Америці вони вимерли. Із сучасних приматів найближчими родичами людини є представники людиноподібних мавп шимпанзе й горили. Їхній останній спільний предок *накалінітек* жив у Африці 9,9–9,8 млн років тому. Із предками шимпанзе предки людини розійшлися ще пізніше — від 8 до 5 млн років тому. Інші людиноподібні мавпи орангутани живуть в Азії та є більш віддаленими родичами людини. До цієї еволюційної лінії належать такі вимерлі види, як *раманітек* і *гігантопітек*.

### Ранні представники родини Люди

Сучасна людина (*Homo sapiens L.*) є представником окремої родини Люди (*Hominidae*). Еволюція цієї родини наразі вивчена дуже добре. До неї відносять 7 родів і близько 30 видів. Крім сучасної людини, всі вони є вимерлими.



Мал. 42.1. Ардіпітек

Найдавнішим представником родини є *сахельантрон*, який жив приблизно 6–7 млн років тому. Не надто від нього відрізнялися *орорин* і *ардінітек* (мал. 42.1), які жили 4–6 млн років тому. Усі ранні представники родини жили тільки на території Африки — переважно на межі лісу й савани, хоча більшу частину часу проводили в лісі й добре лазили по деревах. Проте в них уже існували певні адаптації до прямоходіння. Їх можна вважати першим етапом еволюції людини.

### Австралопітеки та їхні нащадки

Австралопітеки є наступним етапом еволюції людини. Вони вже добре пристосовані до життя в савані й прямоходіння (мал. 42.2), але на деревах бувають іще досить часто. Жили вони 4–2,5 млн років тому в Африці.

Від австралопітеків відділяються дві еволюційні лінії. Представники першої спеціалізувалися на споживанні рослинної їжі та збільшенні розмірів тіла. У результаті виникли *парантропи* (жили 2,5–0,9 млн років тому) (мал. 42.3). Однак перехід на вегетаріанське харчування призвів до конкуренції парантропів із представниками копитних. Витримати цю конкуренцію вони не змогли, через що й вимерли.

Представники другої еволюційної лінії залишилися всеїдними і збільшили споживання м'яса. Ця лінія зумовила появу перших представників роду Людина (*Номо*).

### Рід Людина

Рід Людина сформувався приблизно 2,4 млн років тому в Африці. До його ранніх представників належать, наприклад, *Людина вміла* (*Номо habilis*) (мал. 42.4) і *Людина працююча* (*Номо ergaster*) (мал. 42.5). Людина вміла першою почала виготовляти кам'яні знаряддя. Нащадок перших людей — *Людина прямоходяча* (*Номо erectus*)



Мал. 42.2. Австралопітек



Мал. 42.3. Парантроп



Мал. 42.4. Людина вміла (*Homo habilis*)



Мал. 42.5. Людина працююча (*Homo ergaster*)



Мал. 42.6. Людина прямоходяча (*Homo erectus*)



Мал. 42.7. Неандерталка

(мал. 42.6) — уже жив не тільки в Африці, але й в Азії та на півдні Європи.

Гейдельберзька людина (*Homo heidelbergensis*), яка змінила Людину прямоходячу, теж мешкала в Африці, Європі та Азії. А от далі шляхи її різних популяцій розійшлися. Європейські популяції стали предками неандертальців (мал. 42.7), азіатські — денісівців, а африканські еволюціонували до Людини розумної (*Homo sapiens*).

Приблизно 70–80 тис. років тому наші предки вийшли з Африки й поступово заселили всі континенти. Інші види цього роду вимерли. Але наші предки як мінімум кілька разів з ними схрещувалися, і невелика кількість їхніх генів залишилася у нас.

### Вплив природних факторів на еволюцію людини

Природні фактори надзвичайно впливали на еволюцію людини. Ще під час життя в лісі в наших предків удосконалився колірний зір, оскільки завдяки йому легше було знаходити стиглі фрукти. Тому в структурі наших очей зараз є три типи колбочок (сприймають синій, червоний і зелений кольори), а в більшості мавп їх два (сприймають синій і червоний).

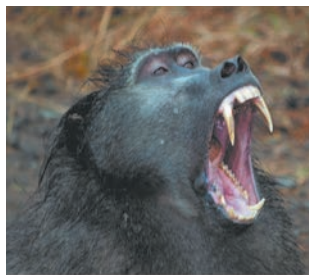
Сам вихід наших предків у савану був вимушеним: через настання зледеніння площі лісів у світі значно зменшилися, бо волога з атмосфери витрачалася на формування льодовиків.

Існування в умовах савани зумовило вдосконалення прямоходіння, втрати волосся на тілі для запобігання перегріванню і закріплення всеїдності.

### Вплив соціальних факторів на еволюцію людини

Але дуже важливими для еволюції людини стали соціальні фактори. Одинокий примат у савані — це жертва. А от група приматів має непогані шанси на виживання. Тому всі примати, які перейшли до життя в савані, живуть тільки у відносно великих групах. Їхня соціальність посилилася.

Але форми соціальності в різних приматів відрізняються. У павіанів згряя — дуже жорстка структура із чіткою ієрархією. А от наші предки такої строгої системи не мали. Відносини в них були більш



Павіан



Шимпанзе



Людина

**Мал. 42.8.** Добре розвинені ікла — ознака більшої агресивності у приматів

мирними, а ієрархія не такою жорсткою. Це добре видно з розвитку їхніх ікол. У всіх приматів з високою агресивністю ікла розвинені дуже добре (мал. 42.8). У людини вони найменші. Основою еволюційного успіху нашого виду явно була не агресія.

Після виходу з території Африки значення соціальних факторів зросло ще більше. Успіх виду визначали вміння передавати досвід, навчати й навчатися, взаємодіяти в складних ситуаціях, розвиток мовлення. Саме вони й дозволили нашому виду вижити.



До виду Людина прямоходяча (*Homo erectus*) відносять залишки, які першовідкривачі назвали *пітекантропом* і *синантропом*. Ці давні люди жили на території Азії.

Традиційно представників *Homo erectus* називають *архантропами*, неандертальців — *палеоантропами*, а ранніх представників нашого виду — *неоантропами*.



Людина є представником ряду Примати. Родина Люди виникла на території Африки приблизно 7 млн років тому. Близько 2,5 млн років тому сформувався рід Людина, представники якого почали виготовляти складні знаряддя праці. На еволюцію людини суттєво впливали як природні, так і соціальні фактори.

### Перевірте свої знання

1. Які із сучасних видів мавп є найближчими родичами людини? 2. Коли й де жили перші представники родини Люди? 3. Які особливості притаманні австралопітекам? 4. Де сформувався вид Людина розумна? 5. Порівняйте представників роду Людина й австралопітеків. 6\*. Чи триває еволюція людини зараз? Обґрунтуйте свою точку зору.

# 43 Світоглядні та наукові погляди на походження життя



*Ви розглядали особливості будови й функції органічних речовин живих організмів. Які з них є біополімерами? Які мономери утворюють ці біополімери? Чи можуть клітини обходитися без якихось із цих біополімерів?*

## Теорії виникнення життя на Землі

Існують чотири групи теорій, які пояснюють появу життя на Землі. Це креаціонізм, теорія стаціонарного стану, теорія панспермії та теорія біогенезу (хімічної еволюції). Основним положенням будь-якої **креаціоністичної теорії** є поява життя внаслідок надзвичайної божественної події.

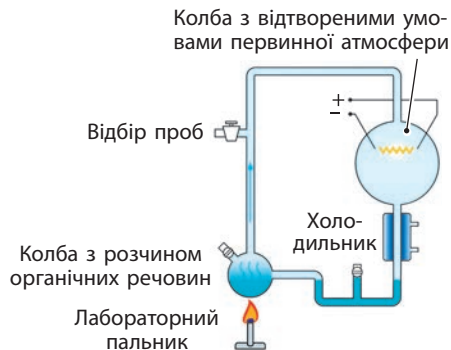
Прихильники **теорії стаціонарного стану** вважають, що Земля є вічною. Вона існувала завжди, і так само завжди на ній існувало життя. Ця теорія допускає вимирання видів, але вважає, що нові види не утворюються. А відсутність решток видів, що існують зараз, в осадових породах давніх епох пояснюється незначною чисельністю цих видів у ті епохи.

**Теорія панспермії** стверджує, що життя у Всесвіті виникало один або кілька разів (як варіант — існувало вічно). Але на Землі воно не виникало, а було занесене за допомогою метеоритів чи інших космічних об'єктів або ж штучно.

## Біогенні теорії виникнення життя

Найбільш обґрунтованими в наш час є теорії, які пояснюють виникнення життя шляхом хімічної еволюції з неорганічних речовин, — **теорії абіогенезу**. Однією з найдавніших серед них є теорія Опаріна — Холдейна, висунута ще на початку ХХ століття. У цій гіпотезі основна увага приділялася утворенню білків із простих органічних сполук. І дуже важливу роль відігравали коацервати (коацерватні краплі) — пухирці з ліпідів, які утворюються у воді. А про роль нуклеїнових кислот тоді ще не знали.

Значну роль у розвитку теорій біогенезу відіграв експеримент, який провели американські вчені С. Міллер та Г. Юрі (мал. 43.1). У герметичному скляному приладі вони відтворили умови, які були



Мал. 43.1. Схема експерименту С. Міллера та Г. Юрі

характерні для початкових часів існування планети (атмосфера з метаном, амоніаком і воднем, електричні розряди тощо). І через кілька днів отримали амінокислоти, які виникли шляхом абіогенного синтезу.

### Теорія РНК-світу

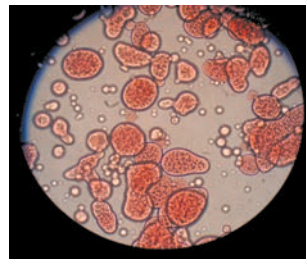
Тривалий час серед прибічників теорій абіогенезу тривала суперечка відносно того, що з'явилося раніше — ДНК чи білок. ДНК зберігає спадкову інформацію, а білки є каталізаторами, без яких обмін речовин неможливий. Лише після відкриття рибозимів (молекул РНК, що працюють як каталізатори реакцій) була сформована теорія РНК-світу.

Згідно з цією теорією, спочатку сформувалася система самовідтворення молекул РНК, які могли бути й носіями спадкової інформації, і каталізаторами. А вже потім ця система утворила симбіоз із біохімічними циклами синтезу білкових молекул, які виникли незалежно і в інших умовах. Це відбулося тому, що білки є кращими каталізаторами, а нуклеїнові кислоти краще зберігають спадкову інформацію. А вже потім до цієї системи долучилася ДНК, яка зберігає спадкову інформацію більш надійно, ніж РНК.

Не обходиться сучасна теорія абіогенезу і без коацерватів (мал. 43.2). Згідно з теорією, саме вони стали основою для формування клітинних мембран.

### Час і місце зародження життя

Більшість теорій абіогенезу вважають найвірогіднішим періодом зародження життя час від 4,1 до 3,7 млрд років тому. Щодо можливого місця,



Мал. 43.2. Коацервати — основа для формування клітинних мембран



**Мал. 43.3.** Гарячі прісні водойми



**Мал. 43.4.** Гідротермальні джерела на дні океану

де зародилося життя, гіпотез існує чимало. Зрозуміло тільки, що життя зароджувалося в розчині. Але в якому? Відкритий океан чи море майже не мають шансів на це: достатньої концентрації необхідних речовин досягти в таких водоймах неможливо. Із запропонованих сучасними теоріями найбільш популярні варіанти такі:

- гарячі прісні водойми (мал. 43.3);
- гідротермальні джерела на дні океану (мал. 43.4);
- поверхня і порожнини кристалів піриту;
- глини.

У цих місцях органічні речовини абіогенного походження могли накопичуватися й утворювати розчини високих концентрацій.

### *Етапи виникнення життя*

Основні етапи виникнення життя в теорії Опаріна — Холдейна й сучасних теоріях відрізняються. У теорії Опаріна — Холдейна вони такі:

- виникнення вуглеводних сполук та їхніх похідних;
- виникнення білків;
- формування білкових тіл усередині коацерватів.

Сучасні теорії, розглядаючи етапи виникнення життя, уже враховують потребу формування нуклеїнових кислот. Тому виділяється більша кількість етапів, хоча деякі з них могли проходити паралельно:

- виникнення вуглеводних сполук та їхніх похідних;
- утворення поліароматичних вуглеводів;
- формування циклів реакцій, які здатні існувати тривалий час

і які ґрунтуються на перетвореннях сполук, утворених нуклеотидами або амінокислотами;

- формування «РНК-світу»;

— використання білків як кращих каталізаторів реакцій у процесах відтворення РНК;

— поява ДНК як форми більш надійного збереження інформації з РНК;

- об'єднання на базі коацерватів біохімічних циклів за участі РНК і білків;
- формування клітинних форм життя.

### Останній універсальний спільний предок

У кінці XX століття вчені дійшли висновку про можливість існування одного спільного предка всіх нині існуючих клітинних організмів. Його запропонували називати останнім універсальним спільним предком (англійською мовою last universal common ancestor, або, скорочено, LUCA).

Така гіпотеза виникла через те, що всі нині існуючі домени організмів (бактерії, архебактерії та еукаріоти) мають цілу низку спільних властивостей. Це зберігання спадкової інформації в молекулах ДНК, наявність клітинної мембрани, синтез білка на рибосомах, існування процесів транскрипції, трансляції та реплікації, схожість основних біохімічних процесів тощо.

Вважають, що такий організм міг жити 3,6–4,1 млрд років тому. Але він точно не був єдиним організмом у ті часи. І до свого виникнення пройшов тривалий шлях еволюції з більш простих структур. До того ж, може бути, що такого організму як окремого виду не існувало. А сучасні живі організми отримали свій генетичний спадок від усієї спільноти давніх організмів, які обмінювалися між собою спадковою інформацією шляхом горизонтального переносу генів.



Найдавніші рештки живих організмів (строматолітів) мають вік 3,7 млрд років.



Існує кілька теорій походження життя на Землі. Найбільш обґрунтованою наразі є теорія абіогенезу, яка вважає, що первісні умови на нашій планеті забезпечили виникнення життя з неорганічних речовин шляхом хімічної еволюції.

### Перевірте свої знання

1. Які існують теорії походження життя на Землі? 2. У чому полягає сутність теорії панспермії? 3. Який шлях походження життя пропонує теорія абіогенезу? 4. Як виникло життя згідно з теорією Опаріна — Холдейна? 5. У яких місцях могло виникнути життя? 6. Чому в теорії Опаріна — Холдейна не приділяли значної уваги проблемі виникнення нуклеїнових кислот? 7\*. Складіть перелік переваг і недоліків теорії РНК-світу.

## Узагальнюючі завдання до теми «Еволюція органічного світу»

У завданнях 1–12 оберіть одну правильну відповідь.

- 1 Загальна кількість особин на певній території, які належать до однієї популяції, — це:  
а) структура   б) ареал   в) щільність   г) чисельність
- 2 Середня кількість особин на одиницю площі чи об'єму на певній території, які належать до однієї популяції, — це:  
а) структура   б) ареал   в) щільність   г) чисельність
- 3 Коливання чисельності природних популяцій, яке відбувається постійно внаслідок кліматичних, біологічних або інших факторів, — це:  
а) мутації   в) дрейф генів  
б) популяційні хвилі   г) природний добір
- 4 Переміщення особин з однієї популяції в іншу або на нові території — це:  
а) природний добір   в) міграція  
б) ізоляція   г) дрейф генів
- 5 Утворення великого червоного гребінця у самців курей є прикладом добору:  
а) стабілізуючого   в) дизруптивного  
б) статевого   г) рушійного
- 6 Утворення двох видів птахів, які мали спільного предка, на сусідніх островах є прикладом видоутворення:  
а) алопатричного   в) шляхом схрещування  
б) симпатричного   г) шляхом поліплоїдії
- 7 Критерій виду, який характеризує схожість зовнішньої і внутрішньої будови організмів одного виду:  
а) екологічний   в) морфологічний  
б) біохімічний   г) генетичний
- 8 Критерій виду, який характеризує кількість і структуру хромосом виду, його каріотип:  
а) екологічний   в) морфологічний  
б) біохімічний   г) генетичний

**9 Пристосування живих організмів до певних умов середовища існування — це:**

- а) адаптація**                      **в) дивергенція**  
**б) конвергенція**                **г) паралелізм**

**10** 7 млн років тому в Африці жили:

- а) ардіпітеки**                      **в) сахельантропи**  
**б) парантропи**                    **г) неандертальці**

**11 100 тисяч років тому в Європі жили:**

- а) ардіпітеки                      в) сахельантропи  
б) парантропи                      г) неандертальці

**12** Теорія, прихильники якої вважають, що життя було занесене на Землю з космосу:

- а) креаціонізму  
б) панспермії  
в) абіогенезу  
г) стаціонарного стану

**13** Напишіть назви представників родини Люди, які зображені на малюнках:



**a)**

6)

**B)**

Г)

**14** Установіть відповідність між ознаками та умовами життя живих організмів, до яких вони адаптувалися за допомогою цих ознак.

## Ознаки

## УМОВИ ЖИТТЯ

- |                                                     |                          |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|
| 1 листки, перетворені на колючки                    | а) піщана пустеля        |
| 2 щільний шкіряний покрив, укритий роговими щитками | з жарким кліматом        |
| 3 широкі листки з отворами на листовій пластинці    | б) тропічний дощовий ліс |
| 4 волога шкіра багата на залози                     |                          |

**15** Порівняйте екологічне й географічне видоутворення.

**16** Поясніть, яку роль відігравали соціальні фактори в еволюції людини.



Перевірте свої знання з теми «Еволюція органічного світу».



## Біорізноманіття

# 44 Основи еволюційної філогенії та систематики



*Коли ви знайомилися з біологією рослин і тварин, то дізналися про основні принципи систематики організмів, які належать до цих груп. Пригадайте, чи є відмінності в систематиці рослин і тварин. На які групи поділяють царство Рослини й царство Тварини?*

### Біологічна систематика

**Біологічна систематика** — це розділ біології, який формує єдину систему живого світу на основі виділення біологічних таксонів (систематичних одиниць) і відповідних назв, наданих за певними правилами (біологічної номенклатури).

Основні систематичні категорії ввів у науку шведський учений Карл Лінней. Основною систематичною категорією є вид. Видова назва складається з двох латинських слів, перше з яких є назвою роду, а друге — видовим епітетом. Споріднені види об'єднуються в більш високі таксономічні категорії — роди, роди — в родини, а ті — в іще вищі категорії.

#### Основні таксони царства Рослини

Вид → Рід → Родина → Порядок → Клас →  
→ Відділ → Царство Рослини

#### Основні таксони царства Тварини

Вид → Рід → Родина → Ряд → Клас →  
→ Тип → Царство Тварини

### Філогенія

**Філогенія** — це наука, яка вивчає історичний процес розвитку органічного світу (філогенез). Для дослідження філогенезу сучасна



Мал. 44.1. Філогенія хребетних

біологія широко використовує новітні технології. Особливо ефективними є методи з галузі молекулярної біології та генетики й мікроскопічних досліджень. Також широко використовують математичне моделювання й побудову філогенетичних дерев.

**Філогенетичне дерево** — це схема, яка відображає еволюційні зв'язки між таксонами, для яких воно будується (мал. 44.1). Філогенетичні дерева можуть будуватися не тільки для таксонів живих організмів. Їх можна створювати, наприклад, для певних біополімерів — таких, як білки або нуклеїнові кислоти.



Біологічна систематика — це розділ біології, який формує єдину систему живого світу на основі виділення біологічних таксонів. Основні систематичні категорії ввів у науку шведський учений Карл Лінней.

### Перевірте свої знання

1. Що таке систематика? 2. Який учений увів основні систематичні категорії? 3. Чим відрізняються систематичні категорії в царствах Тварини й Рослини? 4. Що таке філогенія? 5\*. Чи можна отримати результати, корисні для боротьби з вірусом грипу, аналізуючи його філогенетичне дерево? 6\*. Використовуючи додаткові матеріали з інтернету та біологічної літератури, складіть філогенетичне дерево для будь-якої групи організмів.

# 45 Основні групи організмів: віруси, бактерії, археї, еукаріоти



Ви вже знайомилися з представниками рослин, тварин, вірусів та бактерій. Пригадайте характерні риси цих груп. Яких представників цих груп ви знаєте? Яка із цих груп є найбільшою за кількістю видів?

## Система трьох доменів

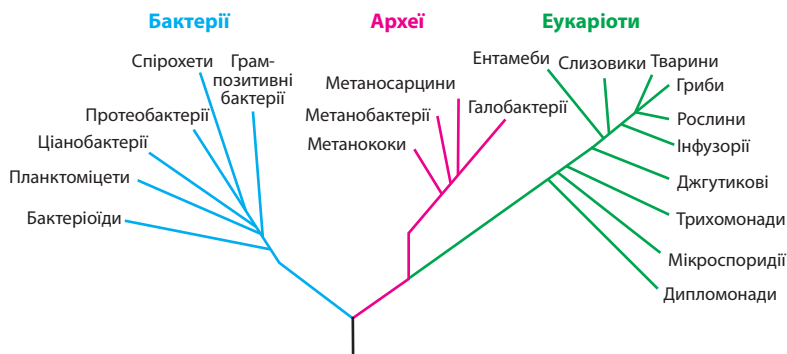
1990 року Карл Воуз, спираючись на аналіз послідовності нуклеотидів рРНК та деякі інші молекулярні характеристики, запропонував новий варіант систематики живих організмів. Згідно з ним, організми поділялися на великі систематичні групи — домени. **Домен** — це таксон найвищого рангу, який включає кілька царств живих організмів.

Клітинні форми життя поділили на три домени — Бактерії, Археї та Еукаріоти. Віруси виділили як окремий таксон *Vira*, який об'єднує неклітинні форми життя й за рангом відповідає домену.

Така класифікація найбільш точно відбиває сучасні уявлення про виникнення й еволюцію основних груп живих організмів (мал. 45.1).

## Особливості основних груп живих організмів

Для порівняння основних груп живих організмів використовують такі характеристики, як наявність клітинної будови, особливості організації генетичного матеріалу, наявність ядра й мембранних органел у клітині, розвиток цитоскелета.



Мал. 45.1. Філогенія (історичний процес розвитку) живих організмів

## Порівняльна характеристика основних груп живих організмів

| Група              | Які організми включає                                        | Особливості будови й життєдіяльності                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Таксон <i>Vira</i> | Віруси                                                       | Неклітинна форма життя. Можуть розмножуватися тільки в клітинах інших організмів. Містять у своєму складі тільки одну нуклеїнову кислоту — або РНК, або ДНК                                                                                                                                    |
| Домен Бактерії     | Бактерії, ціанобактерії                                      | Клітинні організми. У клітинах немає ядра й мембраних органел. Відрізняються значною різноманітністю біохімічних процесів у клітинах. Генетичний матеріал зазвичай представлений великою кільцевою молекулою ДНК (бактеріальною хромосомою). Можуть мати плазмід. Гени не містять інтронів     |
| Домен Археї        | Архебактерії                                                 | Клітинні організми. Суттєво відрізняються від інших доменів за складом ліпідів та білків. У клітинах немає ядра й мембраних органел. Генетичний матеріал зазвичай представлений великою кільцевою молекулою ДНК (бактеріальною хромосомою). Можуть мати плазмід. Частина генів містять інтрони |
| Домен Еукаріоти    | Рослини, тварини, гриби, одноклітинні еукаріотичні організми | Клітинні організми. У клітинах є ядра та інші мембранні органели й цитоскелет. Генетичний матеріал міститься у хромосомах і має вигляд лінійних молекул ДНК. У мітохондріях і пластидах присутні невеликі молекули кільцевої ДНК. Гени містять інтрони                                         |



Крім системи трьох доменів, інколи використовуються інші системи, хоча їх вважають застарілими. Це система двох імперій, яка поділяє організми на імперії (надцарства) Прокаріоти та Еукаріоти, і система п'яти царств — виділяє царства Прокаріоти, Протисти, Гриби, Рослини і Тварини.



Згідно із сучасною класифікацією, клітинні форми життя поділяють на три домени — Бактерії, Архебактерії та Еукаріоти. Віруси виділяють як окремий таксон *Vira*, який об'єднує неклітинні форми життя й за рангом відповідає домену.

### Перевірте свої знання

1. Що таке домен? 2. Які домени живих організмів виділяють учені? 3. Які особливості притаманні вірусам? 4. Яке значення в житті людини мають представники бактерій і вірусів? 5. Порівняйте домени Бактерії та Археї. 6\*. Використовуючи додаткові матеріали з інтернету та біологічної літератури, підготуйте повідомлення про представників архебактерій.

# 46 Огляд основних еукаріотичних таксонів



У попередніх класах ви вивчали особливості будови й життєдіяльності багатьох груп еукаріотичних організмів. Які з представників еукаріотів є одноклітинними? Чим вони відрізняються від багатоклітинних організмів?

## Система еукаріотів

Еукаріоти є найбільшим за кількістю видів доменом клітинних організмів. Їхня систематика досі є предметом дискусій. Деякі дослідники пропонують виділяти серед еукаріотів до 20 царств. Наприклад, одні вчені об'єднують усіх найпростіших в одну групу. У цьому випадку амеби, інфузорії та евглени вважаються представниками одного царства Протисти. А інші вчені поділяють найпростіших на кілька груп. У цьому випадку амеби, інфузорії та евглени будуть представниками різних царств. Пов'язано це з особливостями походження еукаріотів.

У процесі еволюції вони неодноразово включали у свої клітини внутрішньоклітинних симбіонтів. Ці симбіонти і стали такими органами, як мітохондрії та пластиди. А пластидами могли ставати не тільки різні ціанобактерії, але й різноманітні еукаріотичні водорості. Тому часто досить важко визначитися із систематичною приналежністю деяких груп еукаріотів.

## Особливості основних груп еукаріотів

Для порівняння груп еукаріотів використовують такі характеристики, як наявність і склад клітинної стінки, кількість ядер у клітині, наявність пластид, одно- чи багатоклітинність, тип живлення.

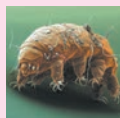
### Порівняльна характеристика деяких груп еукаріотів

| Царство   | Які організми включає                                                                                                      | Особливості будови й життєдіяльності                                                                                                                                                               |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Інфузорії | Інфузорія-туфелька, дидиній, трубач<br> | Не мають клітинної стінки. Є щільний покрив — пелікула, яка підтримує форму клітини. У клітинах по два ядра — маленьке (мікронуклеус) і велике (макронуклеус). Гетеротрофи. Одноклітинні організми |

## Основні групи організмів: віруси, бактерії, археї, еукаріоти

Закінчення таблиці

| Царство | Які організми включає                                                                                                                                           | Особливості будови й життєдіяльності                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Гриби   | Справжні гриби<br>                                                             | Мають клітинну стінку, яка містить хітин та, у деяких випадках, інші речовини. У клітинах ядер зазвичай два, але буває й одне ядро і багато ядер. Гетеротрофи. Необхідні для життя речовини поглинають із навколишнього середовища через поверхню тіла. Переважно багатоклітинні організми, лише деякі групи (наприклад, дріжджі) є одноклітинними |
| Рослини | Водорості, вищі спорові, насінні рослини<br>                                   | Мають клітинну стінку, яка містить целюлозу й лігнін. У клітинах ядро зазвичай одне. Автотрофи. Потрібні для життя речовини поглинають із навколишнього середовища через поверхню тіла. Багатоклітинні, колоніальні або одноклітинні організми                                                                                                     |
| Тварини | Членистоногі, молюски, черви, хребетні та інші тварини<br><br><i>Тихоходка</i> | Не мають клітинної стінки. У клітинах ядро зазвичай одне. Гетеротрофи. Потрібні для життя речовини поглинають із навколишнього середовища шляхом поїдання інших живих організмів, їх частин, залишків або продуктів життєдіяльності. Багатоклітинні організми                                                                                      |



Еукаріоти є найбільшим за кількістю видів доменом клітинних організмів. У процесі еволюції вони неодноразово включали у свої клітини внутрішньоклітинних симбіонтів. Ці симбіонти і стали такими органами, як мітохондрії та пластиди.

### Перевірте свої знання

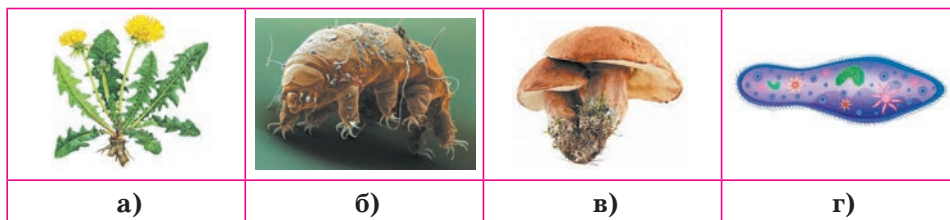
1. Хто такі еукаріоти? 2. Які групи еукаріотів ви знаєте? 3. Які особливості притаманні тваринам? 4. Порівняйте між собою гриби й рослини. 5\*. Яке значення для людини мають представники домену *Еукаріоти*? 6\*. Чому систематика еукаріотів викликає багато суперечок між ученими?

## Узагальнюючі завдання до теми «Біорізноманіття»

У завданнях 1–12 оберіть одну правильну відповідь.

- 1 Основні систематичні категорії запропонував:  
а) Ч. Дарвін б) Ж.-Б. Ламарк в) Г. Мендель г) К. Лінней
- 2 Таксону тварин *ряд* відповідає таксон рослин:  
а) порядок б) клас в) відділ г) родина
- 3 Таксону тварин *тип* відповідає таксон рослин:  
а) порядок б) клас в) відділ г) родина
- 4 Схема, що відображає еволюційні зв'язки між таксонами, для яких вона будується, — це:  
а) генеалогічне дерево в) філогенетичне дерево  
б) схема схрещування г) філогенія
- 5 Систему трьох доменів запропонував:  
а) К. Воуз в) Ч. Дарвін  
б) К. Лінней г) Г. Мендель
- 6 До домену Еукаріоти належить збудник:  
а) грипу б) холери в) чуми г) малярії
- 7 Неклітинною формою життя є:  
а) хламідія в) вірус грипу  
б) гриб пеніцил г) дизентерійна амеба
- 8 Організми, клітини яких містять плазміді:  
а) тільки бактерії  
б) тільки бактерії та архебактерії  
в) тільки архебактерії та еукаріоти  
г) бактерії, архебактерії та еукаріоти
- 9 Організми, гени яких містять інтрони:  
а) тільки бактерії  
б) тільки бактерії та архебактерії  
в) тільки архебактерії й еукаріоти  
г) бактерії, архебактерії й еукаріоти

- 10) Організми, клітини яких містять ядра:
- а) тільки бактерії
  - б) тільки бактерії та архебактерії
  - в) тільки архебактерії й еукаріоти
  - г) бактерії, архебактерії й еукаріоти
- 11) Організми, клітини яких мають два ядра та не мають клітинної стінки:
- а) інфузорії
  - б) гриби
  - в) рослини
  - г) тварини
- 12) Організми, клітини яких мають зазвичай одне ядро й клітинну стінку, що містить целюлозу:
- а) інфузорії
  - б) гриби
  - в) рослини
  - г) тварини
- 13) Напишіть назви груп еукаріотів, до яких належать організми, зображені на малюнках:



- 14) Установіть відповідність між збудниками захворювань та групами, до яких вони належать.

Збудники

Групи

1 туберкульозу

а) Бактерії

2 сказу

б) Віруси

3 аскаридозу

в) Еукаріоти

4 ботулізму

5 віспи

6 сонної хвороби

- 15) Поясніть, чому віруси виділено в окрему групу й не включено в домену бактерій або архебактерій.
- 16) Порівняйте між собою гриби й рослини. Укажіть риси схожості й відмінності.



Перевірте свої знання з теми «Біорізноманіття».



## Надорганізмові біологічні системи

### 47 Екосистема. Різноманітність природних екосистем



*Ви вже знайомі з різними групами живих організмів. Пригадайте, як живі організми отримують потрібні їм органічні речовини. Чим відрізняються автотрофні та гетеротрофні організми?*



Полуниця — автотрофний організм



Кріт — гетеротрофний організм

**Мал. 47.1.** Автотрофні й гетеротрофні організми

#### Екосистеми

**Екосистема** — це сукупність живих організмів, які мешкають у певному середовищі існування й утворюють з ним одне ціле. Будь-яка екосистема містить у своєму складі два головні компоненти — біотичний і абіотичний. **Біотичний** компонент екосистеми — це всі живі організми, які входять до її складу (тварини, рослини, бактерії тощо). А **абіотичний** — це компоненти неживої природи (каміння, вода, повітря тощо). Біотичний компонент екосистеми називають **біоценозом**.

Біотичний компонент екосистем поділяється на автотрофні та гетеротрофні організми (мал. 47.1). Автотрофні організми здатні утворювати органічні речовини з неорганічних або за допомогою фотосинтезу (фотоавтотрофи), або за допомогою енергії хімічних реакцій (хемоавтотрофи). Гетеротрофні організми отримують потрібні їм органічні речовини з інших організмів.

## Різноманітність природних екосистем

Розмір екосистем може бути різним — від розмірів краплі води до розмірів цілої планети. Але в умовах нашої планети виділяють три основні групи природних екосистем. Це наземні, прісноводні й морські (солонowodні) екосистеми. Кожна із цих груп поділяється на більш дрібні екосистеми ландшафтно-географічних зон (для суходолу) або гідрологічних та фізичних особливостей (для водойм).

Серед наземних екосистем виділяють тундру, широколистяні ліси, тайгу, степ, пустелю та інші. Прісноводні екосистеми представлені протічними й стоячими водоймами та болотами. До морських екосистем належать пелагічні (відкритий океан), естуарії (гирла річок) (мал. 47.2), прибережні, рифтові (глибоководні) тощо. Існують і перехідні типи таких екосистем, наприклад лісотундра і лісостеп. У свою чергу, ці екосистеми поділяються на менші за розміром. Наприклад, екосистеми окремих лісових масивів чи озер або басейнів річок.



Тундра



Річка



Океан



Степ

**Наземні**



Болото

**Прісноводні**



Естуарій

**Морські**

Мал. 47.2. Приклади основних груп екосистем

## Біоценози

**Біоценози** — це не просто сукупність мешканців певної екосистеми. Живі організми, які входять до складу біоценозу, активно взаємодіють між собою й абіотичними компонентами екосистеми. Утворюють як внутрішньовидові, так і міжвидові угруповання живих організмів.

Кожному біоценозу притаманний певний видовий склад. Під **видовим складом** біоценозу розуміють комплекс рослин, тварин, мікроорганізмів, який є у певному біоценозі, включаючи всі групи організмів (види всіх доменів). Деякі біоценози надзвичайно багаті за своїм видовим складом (тропічний ліс), а інші — бідні (тундри, пустелі).

## Структура біоценозів

У більшості випадків біоценози мають певну просторову структуру. Тобто живі організми в них розміщені в межах екосистеми не випадково, а за певними закономірностями. Кожний організм угруповання займає тільки йому властиве місце, яке відповідає вимогам організму та його взаємовідносинам з іншими компонентами екосистеми.

Зазвичай організми розміщуються у просторі відповідно до кількості сонячної енергії, яка їм необхідна для життєдіяльності. Гарним прикладом такого розміщення є ярусність лісу (мал. 47.3).

Наприклад, у широколистяному лісі виділяють 5–6 ярусів: перший (верхній) ярус утворюють дерева першого розміру (дуб, липа); другий — дерева другого розміру (горобина, дикі яблуні); третій

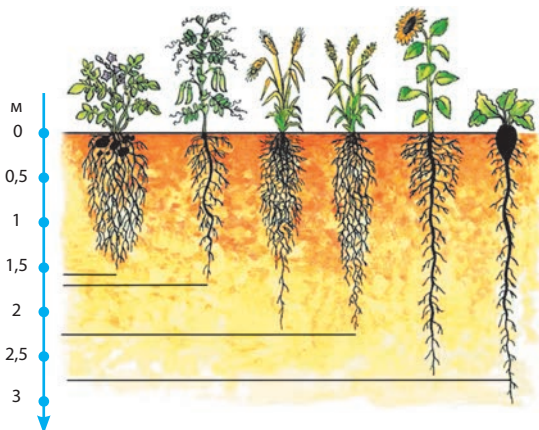


Мал. 47.3. Яруси рослин у лісі відповідно до потреб у сонячній енергії

ярус становить підлісок; четвертий і п'ятий яруси утворені, відповідно, високими й низькими травами і кущами; у шостому ярусі ростуть низькі приземні трав'янисті рослини.

Ярусність можна спостерігати й під землею, оскільки коріння різних рослин також проникає на різну глибину (мал. 47.4). До певних ярусів рослинності пристосовуються і тварини, які входять до складу біоценозу. Так, білки живуть переважно на рослинах верхніх ярусів, а кроти ведуть підземний спосіб життя.

У біоценозі можна виділити і горизонтальну структуру. Пов'язане це з тим, що в будь-якій екосистемі можна знайти окремі ділянки, які будуть відрізнятися від інших. Це, наприклад, солонці, місця виходу джерел на поверхню ґрунту, скельні угруповання тощо.



**Мал. 47.4.** Корені рослин «занурюються» на різну глибину в пошуках вологи та мінеральних речовин



У лісових екосистемах зосереджено 80 % фітомаси Землі. Вони займають 4 млрд га, або 30 % площі суходолу. Щорічно в процесі фотосинтезу ліс утворює 100 млрд тонн органічної речовини.



Екосистема — це сукупність живих організмів, які мешкають у певному середовищі існування й утворюють з ним одне ціле. Будь-яка екосистема містить у своєму складі два головні компоненти — біотичний та абіотичний. Біотичний компонент екосистеми називають біоценозом. В умовах нашої планети виділяють три основні групи екосистем — наземні, прісноводні й морські (солоноводні).

### Перевірте свої знання

1. Що таке екосистема? 2. Які компоненти входять до складу екосистеми? 3. Які існують типи екосистем? 4. Які екосистеми входять до складу наземних екосистем? 5. Чому сосновий ліс, який росте на піщаних ґрунтах, має меншу кількість ярусів, ніж діброва? 6\*. Порівняйте багату на види (тропічний ліс) і бідну (тундра) екосистеми. У чому полягає їхня відмінність, а в чому — подібність?

# 48 Харчові зв'язки, потоки енергії та ко- лообіг речовин в екосистемах



*Ви вже знайомі з особливостями життєдіяльності багатьох груп живих організмів. Пригадайте, чим і як живляться різні організми. Як відрізняються способи живлення автотрофних і гетеротрофних організмів?*

## Екологічні групи живих організмів

Усі живі організми повинні житися, тому що для побудови свого організму їм постійно потрібні органічні речовини й енергія, яку вони отримують з цих речовин. Автотрофні організми синтезують ці речовини самостійно, а гетеротрофні отримують різними способами. Вони можуть поїдати автотрофні чи інші гетеротрофні організми або житися мертвою органікою. Але, що б вони не їли, первинним джерелом усіх органічних речовин і енергії в екосистемах є автотрофи.

Відповідно до способу отримання органічних речовин живі організми в екосистемах поділяють на екологічні групи продуцентів, консументів і редуцентів (мал. 48.1). **Продуценти** — це автотрофні організми, які продукують органічні речовини. До них належать, наприклад, дерева, водорості та інші рослини.

**Консументи** є гетеротрофними організмами екосистем, які отримують органічні речовини, живлячись іншими живими організмами. Вони можуть житися як продуцентами (наприклад, травоядні



Продуцент (ялина)



Консумент (кабан)



Редуцент (гриб пеніцил)

**Мал. 48.1.** Представники екологічних груп організмів

тварини), так і іншими консументами (як хижаки, які поїдають травоядних).

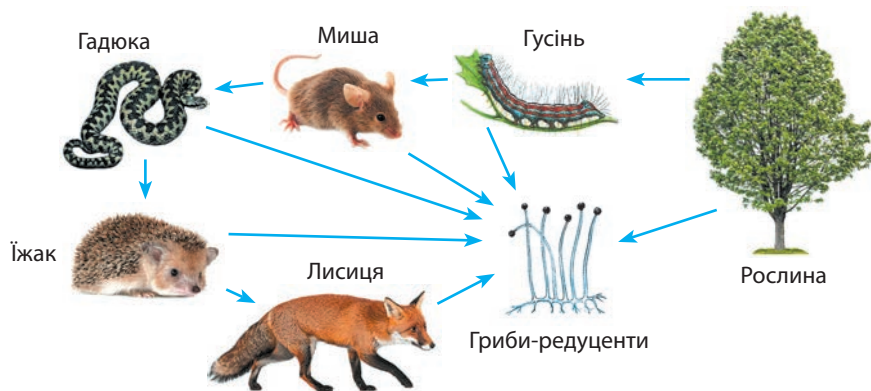
**Редуценти** — це гетеротрофні організми екосистем, які отримують органічні речовини, живлячись рештками живих організмів або продуктів їхньої життєдіяльності. Редуценти перетворюють мертву органіку на прості органічні та неорганічні речовини.

### Харчові зв'язки в екосистемах

Поїдаючи один одного, живі організми стають ланками харчових ланцюгів. **Харчовий ланцюг** — це взаємини між організмами під час перенесення енергії їжі від її джерела (автотрофного організму) через низку організмів, що відбувається шляхом поїдання одних організмів іншими (мал. 48.2).

У ланцюзі харчування кожен вид займає певну ланку. Зв'язки між видами в харчовому ланцюзі називаються **трофічними**, а ланки — **трофічними рівнями**. На початку ланцюгів живлення, як правило, перебувають продуценти, тобто автотрофні організми, які продукують органічні речовини. Наступні ланки ланцюга становлять консументи. Залежно від місця ланки розрізняють консументів різних порядків. Так, травоядні, які споживають продуцентів, є консументами I порядку. Хижаки, які їдять травоядних, — консументами II порядку. А паразити, які живуть в організмі хижаків, — консументами III порядку. Редуценти руйнують мертві залишки й продукти життєдіяльності організмів усіх трофічних рівнів.

В органічних речовинах автотрофні організми запасують енергію, яку й використовують гетеротрофи. Під час перенесення цієї енергії від ланки до ланки харчового ланцюга переважна її частина (80–90 %) губиться у вигляді теплоти.



Мал. 48.2. Харчовий ланцюг

У кінці ланцюга живлення енергія, яка ще зберігається в мертвій органіці, остаточно розсіюється у вигляді тепла, коли її руйнують редуценти.

### Потоки енергії в екосистемі

Енергія в екосистемах може надходити з двох джерел. Перше — від живих організмів — продуцентів. Друге — від мертвої органіки. Відповідно, існують ланцюги живлення двох типів — пасовищний (ланцюг виїдання) і детритний (ланцюг розкладання) (від латин. *детритус* — подрібнений). Останній розпочинається від подрібнених решток мертвих організмів.

У будь-якому біогеоценозі різні ланцюги живлення не існують окремо один від одного, а перетинаються між собою. Це відбувається тому, що організми певного виду можуть бути ланками різних ланцюгів живлення. Наприклад, пугловки жаб живляться водоростями і є консументами I порядку, а дорослі особини цього виду їдять комах і є консументами II порядку. Переплітаючись, різні ланцюги живлення формують трофічну сітку екосистеми.

### Правило екологічної піраміди

Різні біогеоценози відрізняються за своєю продуктивністю. Ви вже знаєте, що є різні ланцюги живлення, але всім їм властиві певні співвідношення продукції, тобто біомаси з енергією, що витрачається



Мал. 48.3. Екологічна піраміда

і запасасться на кожному з трофічних рівнів. Ці закономірності дістали назву **правила екологічної піраміди**: на кожному попередньому трофічному рівні кількість біомаси й енергії, які запасасться організмами за одиницю часу, значно більші, ніж на наступному (у середньому в 5–10 разів).

Графічно це правило можна зобразити у вигляді піраміди (мал. 48.3), складеної з окремих блоків. Кожний блок такої піраміди відповідає продуктивності організмів на кожному з трофічних рівнів. Отже, екологічна піраміда є графічним відображенням трофічної структури ланцюга живлення.

### Колообіг речовин

**Біологічний колообіг** — це багаторазова участь хімічних елементів у процесах, які відбуваються у біосфері. Причина колообігу — обмеженість елементів, з яких будується тіло організмів.

У біосфері відбувається постійний колообіг елементів, які переходять від організму до організму, у неживу природу і знову до організму. Елементи, які вивільняються мікроорганізмами під час гниття, надходять у ґрунт і атмосферу, знову включаються в колообіг речовин біосфери, поглинаючись живими організмами.

Для функціонування екосистем найважливішими є колообіги речовин, які є основними компонентами живих організмів, — Карбону, Нітрогену, Оксигену, Сульфуру, Фосфору.



Відповідно до способу отримання органічних речовин живі організми в екосистемах поділяють на екологічні групи: продуценти, консументи і редуценти. Харчовий ланцюг — це взаємини між організмами під час перенесення енергії їжі від її джерела (автотрофного організму) через низку організмів. Екологічна піраміда є графічним відображенням трофічної структури ланцюга живлення.

### Перевірте свої знання

1. На які екологічні групи поділяють живі організми в екосистемах? 2. Хто такі консументи? 3. Що таке харчовий ланцюг? 4. Які бувають ланцюги живлення? 5. В океанських западинах на глибині кількох кілометрів також існують екосистеми. Звідки вони можуть отримувати органічні речовини для своїх харчових ланцюгів? 6\*. Яке значення має колообіг речовин для нормального функціонування екосистем?

# 49 Біотичні, абіотичні та антропогенні фактори



*Пригадайте живі організми, які живуть у певній екосистемі, наприклад, у пустелі. До дії яких факторів їм доведеться пристосуватися? Наведіть приклади таких адаптацій для живих організмів з різних груп.*

## Екологічні фактори

Організми підвладні впливу різних чинників середовища — **екологічних факторів**, які за своєю природою можуть бути абіотичними, біотичними й антропогенними (мал. 49.1). Для того щоб адаптуватися до відповідного середовища існування, живим організмам треба виробляти пристосування, щоб запобігти негативному впливу таких факторів.

### Екологічні фактори

| Тип факторів | Характеристика факторів                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Абіотичні    | Чинники неживої природи — фізичні та хімічні умови середовища. До них належать температура, вологість, світло, рух повітряних мас (вітер), течія й солоність води, опади, сніговий покрив, магнітне поле Землі                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Біотичні     | Під біотичними чинниками середовища розуміють взаємний вплив живих організмів одне на одного. Умовно біотичні чинники можна поділити на внутрішньовидові та міжвидові. Внутрішньовидові чинники проявляються у впливі особин певного виду одна на одну й конкуренції за різні ресурси. Проявом цих чинників є боротьба за територію, їжу, статевого партнера. Міжвидові чинники дуже різноманітні. У процесі еволюції сформувалося декілька типів міжвидових взаємовідношень (конкуренція, хижацтво, паразитизм, коменсалізм тощо). Усі вони є міжвидовими біотичними чинниками |
| Антропогенні | Це чинники, зумовлені діяльністю людини. До них належать забруднення середовища, необмежене полювання, руйнування середовища існування, занесення нових видів тощо                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

## Вплив екологічних факторів на живі організми

Відносно будь-якого фактору середовища живі організми мають так званий **діапазон сталості (толерантності)**. Якщо інтенсивність



Абіотичний (низькі температури)



Біотичний (хижак)



Антропогенний (забруднення)

Мал. 49.1. Екологічні фактори

якого-небудь чинника виходить за межі толерантності, живі організми гинуть. Так, якщо слон потрапить у місцевість із температурою повітря  $-20^{\circ}\text{C}$ , то він досить швидко загине. Тому організми намагаються жити в умовах, де фактори не виходять за межі толерантності й до яких вони найкраще пристосовані. Такі умови називають **біологічним оптимумом** для певного виду організмів.

Більшість екологічних факторів змінюється незалежно один від одного. І досить важко підібрати місце проживання так, щоб усі фактори були в межах біологічного оптимуму. Тому зазвичай деякі з чинників впливають на живі організми сильніше за інших. Фактор, який найбільше впливає на виживання, називають **обмежувальним (лімітуючим)**. Лімітуючими факторами можуть бути температура, тиск, солоність води, хижаки тощо.



Організми підвладні впливу різних чинників середовища — екологічних факторів, які за своєю природою можуть бути абіотичними, біотичними й антропогенними. Організми намагаються уникати впливу негативних факторів і жити в умовах, до яких вони найкраще пристосовані. Такі умови називають біологічним оптимумом для певного виду організмів.

### Перевірте свої знання

1. Що таке екологічні фактори? 2. На які групи поділяють екологічні фактори? 3. Порівняйте між собою абіотичні й біотичні фактори? 4. На конкретних прикладах поясніть, як на екосистеми впливають антропогенні фактори. 5\*. Які умови будуть біологічним оптимумом для виду організмів? Поясніть на конкретному прикладі. 6\*. На конкретному прикладі поясніть, що таке лімітуючі фактори.

# 50 Стабільність екосистем та причини її порушення



*З попередніх параграфів ви вже дізналися, що існують різні групи екосистем. Які це групи? Які компоненти входять до складу екосистем? Яким чином на екосистеми впливають екологічні фактори?*

## Цілісність і саморегуляція екосистем

Природні екосистеми містять значну кількість видів живих організмів. Ці організми взаємодіють між собою, утворюючи єдину трофічну сітку. Усі організми в екосистемі пов'язані між собою. Хоча часто такий зв'язок є не прямим, а опосередкованим через інші види. Наприклад, дощові черви й непарні шовкопряди між собою напряду не пов'язані, але шовкопряди в разі масового розмноження виїдають листя дерев. Відповідно, листя не падає на ґрунт, що зменшує кормову базу для дощових червів.

Разом усі організми екосистеми утворюють складну цілісну систему, яка перебуває в стані динамічної рівноваги. Тобто через зміну якогось із елементів системи інші елементи компенсують ці зміни й виправляють становище. Так, у разі масового розмноження якогось виду різко зростає чисельність хижаків і паразитів, які ним живляться, і досить швидко чисельність виду зменшується до нормальних величин. Така здатність системи відновлювати свій стан після його порушення називається **саморегуляцією**.

## Взаємозв'язки організмів у екосистемах

Велике значення для підтримки стабільності екосистеми мають різні форми взаємодії живих організмів. У біоценозах спостерігаються різні види симбіозу (форми співіснування двох видів).

Найбільш поширеними формами взаємодії є конкуренція, хижацтво, мутуалізм, паразитизм та коменсалізм. Кожен з видів живих організмів пов'язаний з багатьма іншими видами. Навіть на прикладі людини можна продемонструвати всі можливі варіанти взаємодії. Наприклад, людина конкурує зі шкідниками сільського господарства за харчові ресурси. А міські ластівки по відношенню до людини є коменсалами, бо використовують будинки для розміщення своїх гнізд.

### Форми взаємодії живих організмів у екосистемах

| Форма взаємодії                                                                                    | Опис форми                                                                                                                                                    | Приклади                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мутуалізм<br>     | Взаємовигідне співіснування двох видів                                                                                                                        | Мурахи й попелиці. Відносини термітів та мікроорганізмів їхнього кишечника, які забезпечують розщеплення целюлози в травному тракті |
| Паразитизм<br>    | Співіснування двох видів, за якого один вид використовує інший як середовище існування і джерело харчування                                                   | Гусінь та личинки їздців. Паразити людини, як зовнішні (воші, клопи), так і внутрішні (аскарида, гострик, ціп'яки, ехінокок)        |
| Коменсалізм<br>   | Співіснування двох видів, за якого один вид використовує інший вид або житло іншого виду як середовище існування, але не завдає йому шкоди                    | Кліщі, які харчуються шерстю, що випала, у норах гризунів                                                                           |
| Конкуренція<br> | Співіснування особин одного (внутрішньовидова конкуренція) або різних (міжвидова конкуренція) видів, за якого вони змагаються за ресурси середовища існування | Боротьба самців за самок, конкуренція зебр і антилоп за траву, якою вони харчуються                                                 |
| Хижацтво<br>    | Тип відносин між популяціями двох видів організмів (хижака і жертви), за якого організми-хижаки харчуються організмами-жертвами, нападаючи на живу жертву     | Вовки й зайці, шпаки й комахи, дельфіни й риби                                                                                      |



а



б



в

**Мал. 50.1.** Приклади порушення стабільності екосистем під впливом абіогенного (а), антропогенного (б) та біогенного (в) факторів

### *Причини порушення стабільності екосистем*

Здатність до саморегуляції екосистем теж має певні межі. Якщо вплив якогось фактора є надто сильним, динамічна рівновага в екосистемі порушується. Це може призвести до руйнування екосистеми й вимирання багатьох видів (мал. 50.1).

Причиною таких порушень може бути вплив будь-якого з екологічних факторів — абіотичного, біотичного чи антропогенного. Наприклад, виверження вулкана може просто знищити екосистему окремої території. Так, 1883 року виверження вулкана Кракатау знищило екосистему острова, на якому він розміщується.

Біотичними факторами, які порушують рівновагу в екосистемах, часто ставали нові групи, які виникали в процесі еволюції. Так, виникнення голонасінних рослин призвело до того, що наприкінці палеозойської ери вони заселили значні площі суші, де не могли рости їхні попередники — спорові рослини — через нестачу вологи. Формування рослинного покриву і припинення ерозії призвело до різкого зменшення надходження мінеральних речовин до річок і морів. Це призвело до руйнації водних екосистем і масового вимирання організмів.

Дія антропогенного фактора часто пов'язана із завезенням людини в екосистему нових видів організмів. Наприклад, у давнину моряки часто залишали на островах кіз, щоб потім мати змогу поповнювати запаси м'яса, коли заходили на острів, але без контролю хижаків кози швидко розмножувалися й виїдали всю рослинність островів. У результаті острови перетворювалися на пустелі.

### *Природні й штучні екосистеми*

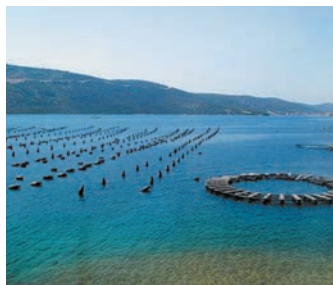
Екосистеми, які розглядалися до цього, є природними. Вони виникли й розвивалися без участі людини. Людина й зараз є складовою



Поле кукурудзи



Пасовище корів



Ферма молюсків

**Мал. 50.2.** Штучні екосистеми

частиною цих екосистем. Але вона також формує і власні екосистеми — штучні.

Штучні екосистеми часто розглядають як окремий тип екосистем (агроценози). Вони створюються людиною й використовуються нею для господарських цілей (мал. 50.2).

Існувати без підтримки людини такі екосистеми не можуть. У них переважають організми одного виду, і вони не здатні до саморегуляції. Регуляцію цих систем здійснює людина. Вона також постійно вилучає із систем речовини (коли споживає вирощену в них продукцію). Тому ці речовини доводиться постійно поновлювати (вносити добрива).



Разом усі організми екосистеми утворюють складну цілісну систему, яка перебуває у стані динамічної рівноваги. Якщо вплив якогось фактора є надто сильним, динамічна рівновага в екосистемі порушується. Штучні екосистеми часто розглядають як окремий тип екосистем (агроценози).

### Перевірте свої знання

1. Чому незначні впливи на екосистему не призводять до її руйнації? 2. Які типи взаємодії існують між організмами в екосистемах? 3. Що таке паразитизм? 4. Порівняйте між собою агроценоз і природний біоценоз на конкретних прикладах. 5\*. На конкретному прикладі поясніть, як дія антропогенного фактора може порушити рівновагу в екосистемі. 6\*. На конкретному прикладі поясніть, чому людина повинна постійно регулювати процеси в штучній екосистемі.

## 51

## Біосфера як цілісна система



*Розглядаючи тему біорізноманіття, ви ознайомилися з доменами живих організмів. Який із цих доменів містить найбільшу кількість видів? Де живуть представники цих доменів? Чи є на нашій планеті місця, де не можна натрапити на живі організми?*

## Біосфера

Поняття «біосфера» (від грец. *біос* — життя) запропонував 1875 року австрійський геолог Е. Зюсс. Учення про біосферу, як особливу частину Землі, населену живими організмами, створив український учений В. І. Вернадський, хоча, на його думку, вперше до цієї ідеї наблизився французький біолог Ж.-Б. Ламарк.

Біосфера не утворює окремої оболонки Землі, а є частиною геологічних оболонок земної кулі, заселених живими організмами. Вона займає верхню частину літосфери, усю гідросферу та нижній шар атмосфери. Це єдина глобальна екосистема вищого порядку.

## Компоненти біосфери

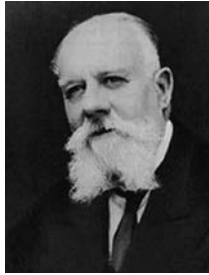
Біосфера складається з чотирьох компонентів, які є важливими для її нормального функціонування.

## Компоненти біосфери

| Речовина | Опис                                                                                                                                       | Приклади                                                                   |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Жива     | Уся сукупність організмів на планеті Земля                                                                                                 | Бактерії, рослини, тварини, гриби                                          |
| Біогенна | Речовина, створена й перероблена живими організмами за всю історію біосфери                                                                | Вугілля, торф, осадові породи (крейда), кисень і вуглекислий газ атмосфери |
| Косна    | Продукти й речовини, утворені без участі живих організмів                                                                                  | Базальт, граніт, нефрит                                                    |
| Біокосна | Створюється одночасно під впливом як неорганічних факторів, так і живих організмів. Живі організми відіграють у цьому процесі головну роль | Ґрунт, мул                                                                 |



**Мал. 51.1.** Володимир Іванович Вернадський (1863–1945)



**Мал. 51.2.** Едуард Леруа (1870–1954)



**Мал. 51.3.** П'єр Теяр де Шарден (1881–1955)

## Ноосфера

В. І. Вернадський (мал. 51.1) ще в першій половині XX століття передбачав, що біосфера розвинеться в ноосферу (термін запропонували 1927 року французькі вчені Е. Леруа (мал. 51.2) та П. Т. де Шарден (мал. 51.3)). Спочатку В. І. Вернадський розглядав ноосферу (від грецького *ноос* — розум) як особливу «розумову» оболонку Землі, яка розвивається поза біосферою. Однак згодом він дійшов висновку, що ноосфера — це певний стан біосфери, за якого розумова діяльність людини стає визначальним фактором її розвитку.

Характерною рисою ноосфери є екологізація всіх сфер людського життя. До вирішення будь-яких проблем людина повинна підходити з позиції екологічного мислення, тобто збереження і поліпшення стану природного середовища.



Біосфера — це сукупність усіх біогеоценозів Землі, єдина глобальна екосистема вищого порядку. Ноосфера — це певний стан біосфери, за якого розумова діяльність людини стає визначальним фактором її розвитку. Основними компонентами біосфери є жива, біогенна, косна та біокосна речовини.

## Перевірте свої знання

1. Що таке біосфера? 2. Що таке ноосфера? 3. Які компоненти входять до складу біосфери? 4\*. На конкретних прикладах поясніть, як компоненти біосфери взаємодіють між собою. 5\*. Спроби створити абсолютно ізольовану від біосфери штучну екосистему поки що закінчувалися невдачею. Такі екосистеми могли функціонувати лише досить короткий час. Які фактори могли призвести до таких невдач?

# 52

## Захист та збереження біосфери



*Пригадайте, як живі організми пов'язані між собою в екосистемах. Які чинники можуть впливати на стабільність екосистем? Чому видам бажано жити в умовах біологічного оптимуму?*

### Біорізноманіття

За визначенням, даним Всесвітнім фондом дикої природи (1989), **біологічне різноманіття** — це «вся різноманітність форм життя на Землі, мільйонів видів рослин, тварин, мікроорганізмів з їхніми наборами генів і складних екосистем, що утворюють живу природу».

Таким чином, біологічне різноманіття слід розглядати на трьох рівнях. Біологічне різноманіття на видовому рівні охоплює всю сукупність видів на Землі. У більш дрібному масштабі біологічне різноманіття включає генетичну різноманітність видів, утворену як географічно віддаленими популяціями, так і особинами всередині однієї й тієї самої популяції. Біологічне різноманіття включає також розмаїття біологічних угруповань та екосистем, сформованих ними, і взаємодії між цими рівнями.

### Значення біологічного різноманіття

Видове різноманіття служить для людини джерелом усіляких природних ресурсів. Наприклад, вологі тропічні ліси з їхнім найбагатшим комплексом видів являють собою чудову різноманітність рослинних і тваринних продуктів, які можуть використовуватися в їжу, у будівництві та медицині.

Генетична різноманітність необхідна будь-якому виду для збереження репродуктивної життєздатності, стійкості до захворювань, здатності до адаптації в умовах, що змінюються. Генетична різноманітність домашніх тварин і культурних рослин є особливо цінною для тих, хто працює над селекційними програмами з підтримки й поліпшення сучасних сільськогосподарських видів.

### Способи захисту та збереження біосфери

Для захисту й збереження біосфери використовують багато технологій. Для цього на різних рівнях (науковому, законодавчому,

господарському тощо) уживають цілу низку заходів зі збереження як окремих видів, так і цілих екосистем. Проводять активну громадську роботу. Створюють так звані Червоні книги. Червона книга — це затверджений перелік рідкісних видів і таких, що зникають, який містить короткі відомості про їхню біологію, поширення та вжиті заходи охорони. А для збереження екосистем виділяють природоохоронні території. В Україні є кілька видів природоохоронних територій.

### Природоохоронні території України

| Тип природоохоронної території    | Характеристика                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Заповідники                       | Території, на яких заборонені будь-які види господарської діяльності й туризм. На території України є 20 заповідників. Заповідники в Україні: Дунайські плавні, Карпатський, Асканія-Нова, Медобори в Тернопільській обл., «Поліський» у Житомирській обл. та інші |
| Заказники                         | Території, на яких охороняють певні види тварин і рослин і допускають обмежену господарську діяльність. Можуть бути постійними або тимчасовими                                                                                                                     |
| Національні парки                 | Території, на яких в обумовлених межах дозволено організований туризм і екскурсії. Національні парки в Україні: Шацький у Волинській обл., Синевир у Закарпатській обл.                                                                                            |
| Заповідно-мисливські господарства | Території, на яких створено умови для розмноження промислових тварин і дозволено полювання на підставі ліцензії                                                                                                                                                    |
| Пам'ятки природи                  | Окремі природні об'єкти із заповідним режимом, що мають наукове, культурне, історичне або естетичне значення                                                                                                                                                       |



Видове різноманіття для людини є джерелом усіляких природних ресурсів.

Для захисту й збереження біосфери проводять активну громадську роботу, створюють Червоні книги, виділяють природоохоронні території. Природоохоронними територіями України є заповідники, заказники, національні парки, заповідно-мисливські господарства, пам'ятки природи.

### Перевірте свої знання

1. Що таке біорізноманіття? 2. Навіщо охороняти біорізноманіття? 3. Які природоохоронні території є в Україні? 4. Складіть список природоохоронних територій вашого регіону. 5\*. Яких заходів можна вжити для збереження біорізноманіття у вашому регіоні?

## Узагальнюючі завдання до теми «Надорганізмові біологічні системи»

У завданнях 1–12 оберіть одну правильну відповідь.

- 1 Сукупність живих організмів, що мешкають у певному середовищі існування й утворюють з ним єдине ціле, — це:  
а) вид                      б) популяція                      в) екосистема                      г) біоценоз
- 2 Морською екосистемою є:  
а) тайга                      б) естуарій                      в) болото                      г) тундра
- 3 Прісноводною екосистемою є:  
а) тайга                      б) естуарій                      в) болото                      г) риф
- 4 Наземною екосистемою є:  
а) риф                      б) естуарій                      в) болото                      г) тундра
- 5 Ярус широколистяного лісу, до якого належать старі дерева дуба:  
а) перший                      б) другий                      в) третій                      г) четвертий
- 6 В екосистемі лісу продуцентом є:  
а) мухомор                      б) миша                      в) липа                      г) лисиця
- 7 Опеньок осінній, який паразитує на деревах сосни, є:  
а) продуцентом                      в) консументом I порядку  
б) редуцентом                      г) консументом II порядку
- 8 Глива звичайна, що руйнує деревину мертвих дерев тополі, є:  
а) продуцентом                      в) консументом I порядку  
б) редуцентом                      г) консументом II порядку
- 9 Абіотичним фактором для миші, що живе в широколистяному лісі, є:  
а) лисиця                      в) інша миша того ж виду  
б) температура повітря                      г) кліщ
- 10 Прикладом хижацтва є взаємодія між:  
а) мишею і кліщем                      в) мишею і совою  
б) мурахами і попелицями                      г) двома мишами одного виду

**11) Прикладом мутуалізму є взаємодія між:**

- а) мишею і кліщем                      в) двома мишами одного виду  
б) мишею і совою                      г) мурахами і попелицями

**12) Прикладом конкуренції є взаємодія між:**

- а) мишею і кліщем  
б) двома мишами одного виду  
в) мишею і совою  
г) мурахами і попелицями

**13) Напишіть назви компонентів біосфери, до яких належать ука-  
зані списки об'єктів.**

|                                             |                    |            |                                                                 |
|---------------------------------------------|--------------------|------------|-----------------------------------------------------------------|
| Бактерії, рос-<br>лини, твари-<br>ни, гриби | Базальт,<br>граніт | Ґрунт, мул | Вугілля, торф, крейда,<br>кисень і вуглекислий<br>газ атмосфери |
| а)                                          | б)                 | в)         | г)                                                              |

**14) Установіть відповідність між екосистемами та групами, до  
яких вони належать.**

**Екосистеми**

- 1 поле пшениці  
2 пустеля  
3 Чорне море  
4 город  
5 тундра  
6 ферма з вирощування мідій

**Групи**

- а) штучні екосистеми  
б) природні екосистеми

**15) Поясніть, чому охорона природних угруповань є важливою  
для збереження біосфери.**

**16) Сформулюйте й обґрунтуйте правила, яких ви будете дотри-  
муватися для збереження навколишнього середовища.**



Перевірте свої знання з теми «Надорганізовмі біологічні сис-  
теми».



# Біологія як основа біотехнології та медицини

## 53 Одомашнення рослин та тварин



*Коли ви знайомилися з різними групами живих організмів, то розглядали їхнє значення для людини. Найбільш важливе значення серед них мали ті види, які були одомашнені людиною. Пригадайте види культурних рослин і домашніх тварин, з якими ви познайомилися, вивчаючи біологію.*

### Одомашнення рослин

**Одомашнення** — це процес змін популяцій рослин або тварин, завдяки якому вони стають пристосованими до утримання в неволі й використання їх людиною. Одомашнення відбувається з метою отримання від рослин і тварин продуктів харчування, промислової продукції (шкіра, волокно тощо) або в інших цілях (транспорт, охорона тощо).



**Мал. 53.1.** Микола Іванович Вавилов (1887–1943)

Одомашнення рослин людиною відбувалося незалежно в різних регіонах нашої планети. Самі регіони, у яких відбувалося одомашнення, мали певні особливості. Крім сприятливих кліматичних умов потрібна була ще наявність певних видів рослин з досить великими плодами й достатня кількість населення та певні соціальні умови для можливості утворення осілих поселень. Тому існувало лише кілька центрів походження рослин. Виявив ці центри видатний учений, генетик і селекціонер М. І. Вавилов (мал. 53.1).

## Основні центри походження культурних рослин

| Назва центру            | Місце розташування                                     | Рослини, які походять із цього центру                            |
|-------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Східноазійський         | Китай                                                  | Просо, соя, мандарин, ліщина, волоський горіх                    |
| Індо-малайський         | Малайський архіпелаг, Філіппіни, Індокитай             | Банан, кокосова пальма, помаранча, чорний перець, рис            |
| Індійський              | Індія, Бірма                                           | Баклажан, лимон, манго, гречка, огірок                           |
| Середньоазіатський      | Частина Пакистану, Афганістан, Таджикистан, Узбекистан | Диня, цибуля городня, часник, конопля                            |
| Передньоазіатський      | Мала Азія, Закавказзя, Іран, частина Туркменістану     | Пшениця, жито, ячмінь, горох, слива, груша, фінікова пальма      |
| Середземноморський      | Балкани, Греція, Італія                                | Оливкове дерево, виноград, гірчиця, капуста, морква, буряк, кріп |
| Ефіопський              | Ефіопія, Судан, Еритрея                                | Сорго, кава, кавун, кола, кунжут                                 |
| Центральноамериканський | Центральна Америка, Антильські острови                 | Кукурудза, какао, батат, соняшник, тютюн                         |
| Південноамериканський   | Гірські райони Колумбії, Еквадору, Перу, Болівії       | Картопля, помідор, арахіс, ананас, гевея                         |

## Одомашнення тварин

Процес одомашнення тварин міг відбуватися двома способами. Перший — класичне утворення мутуалістичних взаємовідносин між двома видами. Такі зв'язки часто виникають у природних екосистемах. Другий — цілеспрямоване приручення людиною тварин для одержання від них певних продуктів (м'яса, шерсті тощо).

Першим способом відбувалося одомашнення собак і котів. Сучасні домашні собаки пройшли процес одомашнювання приблизно 10 тисяч років тому на території Азії.

Коти стали домашніми трохи пізніше. Вони зайняли нішу «мисливців на гризунів», коли в Передньоазіатському центрі походження рослин почали створювати запаси зерна. Ці запаси стали об'єктом нападу гризунів і, відповідно, причиною одомашнення котів.

Інші домашні тварини приручалися людиною цілеспрямовано в період від 8 до 2 тисяч років тому. Більшість домашніх тварин було одомашнено на території Євразії в тих самих місцях, де розміщувалися центри походження культурних рослин. Тільки індики, морські свинки і лами були одомашнені в Америці (мал. 53.2, с. 204).

Кінь



Кроль



Корова



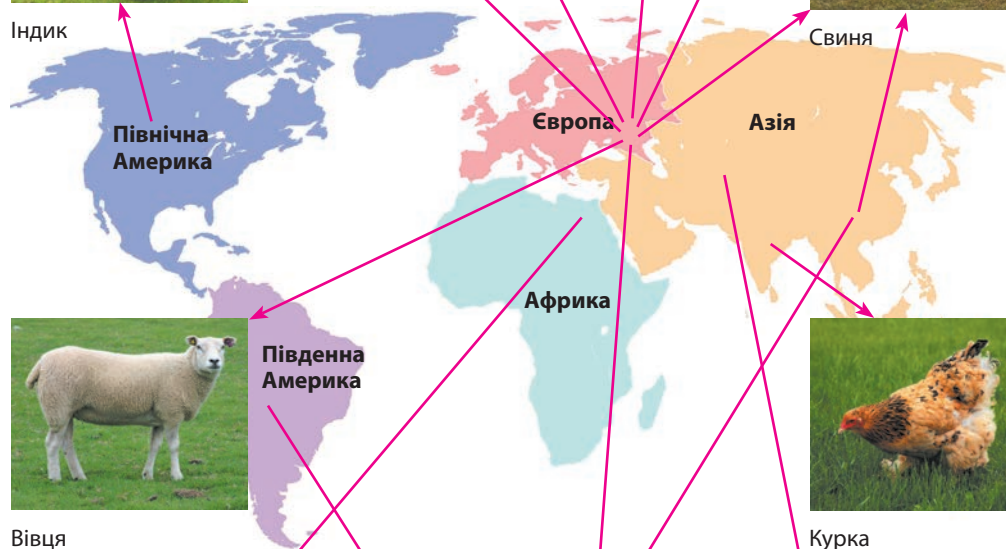
Коза



Індик



Свиня



Північна  
Америка

Європа

Азія

Африка

Південна  
Америка



Вівця



Курка



Кішка



Лама



Собака



Верблюд

Мал. 53.2. Місця одомашнення домашніх тварин

## Закономірності одомашнювання

Якщо подивитися на те, де і які тварини одомашнювалися, то можна помітити дивні розбіжності. Так, 10 тисяч років тому в Євразії жило 72 види ссавців з масою тіла більше ніж 30 кг. З них людина одомашнила 13 видів. В Африці в ці часи був 51 такий вид і не було одомашнено жодного з них. В Америці з 24 підходящих видів одомашнили одну-єдину ламу. В Австралії єдиним претендентом був один з видів кенгуру (всі інші були надто маленькими), який так і не став домашнім.

Справа в тому, що для успішного одомашнювання виду він повинен відповідати певним вимогам. Тварини повинні достатньо швидко рости, бути невибагливими до їжі, утворювати в природних умовах групи з певною соціальною структурою (стада або зграї), не проявляти до людини надмірної агресивності тощо. І якщо хоч одна з вимог не виконується, одомашнювання виду виглядає вкрай сумнівним. Так, одомашнення зебр не відбулося саме через надмірну агресивність цих тварин. А одомашнення слонів було не вигідним через надто тривалий період їх вирощування. Хоча приручення диких слонів не складало надто важкої проблеми й успішно здійснювалося як у давнину, так і в сучасному світі.



Рослини і тварини одомашнювалися людиною в період від 10 до 2 тисяч років тому. Існує кілька центрів походження культурних рослин і домашніх тварин.

Найважливіші види культурних рослин були одомашнені на території Євразії, Центральної та Південної Америки. Більша частина домашніх тварин була одомашнена на території Євразії. Для успішності процесу одомашнювання види тварин повинні були відповідати певним вимогам.

## Перевірте свої знання

1. Які є види культурних рослин і домашніх тварин? 2. Які існують центри походження культурних рослин? 3. Які тварини були одомашнені на території Америки? 4. Де було здійснено одомашнення кішки? 5\*. Складіть список культурних рослин, що їх вирощують у вашій місцевості, і розподіліть їх на групи за місцем походження. 6\*. Зебри надзвичайно важко піддаються процесу одомашнення. Запропонуйте гіпотезу, яка пояснює цей факт.

# 54

## Поняття про селекцію



*Пригадайте закони спадковості, сформульовані Г. Менделем. З якими об'єктами працював Г. Мендель? У яких випадках ознаки живих організмів успадковуються з порушенням законів Г. Менделя?*



Першерон (вагозов)



Шотландський поні (споживає менше корму, витривалий)



Ахалтекінська порода (гарні скакові якості)

**Мал. 54.1.** Породи коней

### Селекція

**Селекція** — це наука про методи створення нових сортів і гібридів рослин, порід тварин і штамів (генетично однакових) мікроорганізмів. Завдяки селекції вдалося отримати велику різноманітність форм одомашнених живих організмів.

Історія селекції починається з процесу одомашнення перших тварин і рослин. Тоді вона була ще стихійною й не мала наукової бази. Сучасна селекція ґрунтується на досягненнях класичної генетики і молекулярної біології.

У процесі селекції живі організми розвивають ознаки, які потрібні людині (мал. 54.1), наприклад, більша врожайність, великий розмір зерна, швидкий ріст, збільшення відкладень жиру під шкірою тощо. Однак досягається це шляхом перерозподілу ресурсів організму, тому одомашнені форми часто мають меншу стійкість до захворювань і несприятливих погодних умов.

### Методи селекції

Методи селекції рослин, тварин і мікроорганізмів досить різноманітні. Але використовуються вони з урахуванням особливостей біології кожної з груп. Тому технології селекційних досліджень для цих груп організмів дещо відрізняються. Методи селекції можна

поділити на класичні й методи з використанням молекулярно-біологічних технологій.

### Класичні методи селекції організмів

| Метод селекції                          | Сутність методу                                                                                                      | Де застосовується                                                                                         |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Масовий добір                           | Відбір багатьох особин з потрібними ознаками без урахування ознак батьків. Найдавніший і найпростіший метод селекції | Переважає в селекції рослин і мікроорганізмів, у селекції тварин дуже рідко через малу кількість нащадків |
| Індивідуальний добір                    | Відбір одиничних особин з потрібними ознаками з урахуванням ознак батьків і складанням родоводів (у селекції тварин) | В усіх галузях селекції                                                                                   |
| Створення чистих ліній                  | Виведення гомозиготних особин з однаковим генотипом по великій кількості генів                                       | У селекції рослин, тварин і мікроорганізмів                                                               |
| Гібридизація:                           | Штучне схрещування особин з різними ознаками                                                                         |                                                                                                           |
| — віддалена гібридизація                | Схрещування особин, які є представниками різних видів                                                                | Переважає в селекції рослин. У тварин більша частина таких гібридів є неплідною                           |
| — споріднене схрещування (інбридинг)    | Схрещування особин однієї породи або навіть з однієї родини                                                          | У селекції тварин                                                                                         |
| — неспоріднене схрещування (аутбридинг) | Схрещування особин різних порід                                                                                      | У селекції тварин і рослин                                                                                |



Селекція — це наука про методи створення нових сортів і гібридів рослин, порід тварин і штамів мікроорганізмів. Методами селекції є масовий та індивідуальний добір, гібридизація, віддалена гібридизація, споріднені й неспоріднені схрещування.

### Перевірте свої знання

1. Що таке селекція? 2. Які існують методи селекції? 3. Що таке віддалена гібридизація і де її застосовують? 4. Навіщо потрібно створювати чисті лінії? 5\*. Які особливості можуть бути притаманними селекції мікроорганізмів? 6\*. На конкретних прикладах поясніть, чому методи селекції рослин і тварин відрізняються.

# 55 Традиційні та сучасні біотехнології



*Пригадайте, як людина використовує домашніх тварин і культурні рослини. Які речі, отримані від цього використання, ви застосовуєте в повсякденному житті? Як людина використовує здатність живих організмів спричиняти процеси бродіння?*

## Біотехнологія

**Біотехнологія** — це сукупність промислових методів, які застосовують для виробництва різних речовин із використанням живих організмів, біологічних процесів чи явищ. Сам термін «біотехнологія» з'явився в 70-х роках XX століття. Він походить від грецьких слів «біос» — життя, «технос» — мистецтво, майстерність, «логос» — слово, вчення.

Але насправді біотехнологічні принципи людина розробила вже давно. Використання мікроорганізмів для випікання хліба, виготовлення сиру та інших молочних продуктів, виноробства, пивоваріння триває вже не одну тисячу років (мал. 55.1). Просто люди тоді ще не знали, що всі ці процеси здійснюють мікроорганізми.

Біотехнологію умовно поділяють на два розділи — традиційна і сучасна.

## Традиційна біотехнологія

Традиційна біотехнологія заснована на явищі ферментації — використанні у виробничих процесах ферментів мікроорганізмів. Саме на цьому явищі ґрунтується виробництво хліба, пива, вина, кисломолочних продуктів, оцту. Продуктами діяльності мікроорганізмів



Мал. 55.1. Продукти, виготовлені методами біотехнології



Хижі комахи



Паразитичні гриби

**Мал. 55.2.** Біологічні методи захисту рослин

є такі вироби, як кефір, ряжанка, йогурти, кумис. Без процесу ферментації неможливо, наприклад, виготовити сир.

У цій галузі використовують мікроскопічні гриби й бактерії. Це пекарські дріжджі (для виготовлення хліба), аспергіли (для виготовлення сирів), термофільні стрептококи та болгарська молочна паличка (для виготовлення йогуртів та інших кисломолочних продуктів), інші мікроорганізми.

### *Сучасне використання традиційних біотехнологій*

Але традиційні галузі застосування мікроорганізмів наразі розширюються. За допомогою мікроорганізмів отримують низку лікарських препаратів (наприклад, препарати з групи стероїдів). Уся лимонна кислота, яка продається в наших магазинах, вироблена мікроорганізмами. Таким самим способом одержують і натрій глютамат, який є підсилювачем смаку й широко застосовується як харчова добавка.

Живі організми використовують і як засоби боротьби зі шкідниками та хворобами рослин (мал. 55.2). Використання природних збудників захворювань шкідників є набагато безпечнішим, ніж обробка отрутохімікатами. Хоча цей метод має свої недоліки — повільну дію, наприклад.

І ще одна новітня галузь — виробництво ферментів для побутової хімії. Щоразу, коли ви купуєте, скажімо, пральний порошок з ферментами, ви користуєтеся продуктами біотехнології.

### *Нові напрями біотехнології*

Нові методи біотехнології включають такі напрямки, як клітинна та генетична інженерія. Вони почали активно розвиватися із 60-х років XX століття, коли було встановлено роль ДНК у спадковості й розкрито механізми реалізації спадкової інформації.

**Клітинна інженерія** — це галузь біотехнології, яка розробляє й використовує технології культивування клітин і тканин поза організмом у штучних умовах. Крім того, в рамках клітинної інженерії розробляють і використовують технології гібридизації клітин.

**Генетична інженерія** — це галузь біотехнології, яка розробляє й використовує технології виділення генів з організмів і окремих клітин, їх видозмінення й введення в інші клітини або організми.

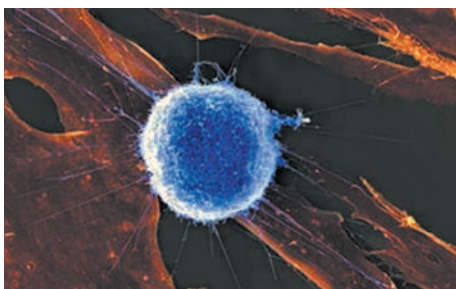
### Клітинна інженерія

Існує кілька напрямків практичного використання розроблених у галузі клітинної інженерії технологій.

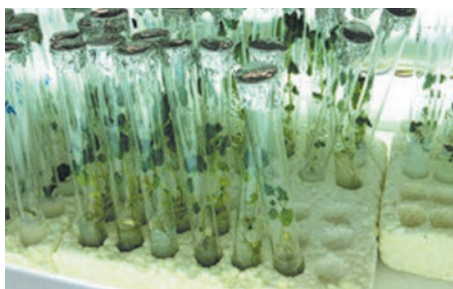
#### Перспективні напрями використання технологій клітинної інженерії

| Напрямок                                                                                                          | Сфера застосування                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Отримання промисловим шляхом цінних біологічно активних речовин рослинного походження                             | Фармація, побутова хімія, харчова промисловість   |
| Використання тканинних і клітинних культур для швидкого клонального мікророзмноження та оздоровлення рослини      | Сільське та лісове господарство                   |
| Отримання гібридом (мал. 55.3) шляхом злиття різних клітин, наприклад, ракової клітини і лімфоцита в одну клітину | Фармація, медицина, біотехнологічна промисловість |

Одним з напрямів клітинної інженерії є клонування тварин і рослин. Клонування рослин, наприклад, дозволяє дуже швидко розмножувати найбільш цінні особини рослин, які відрізняються гарною врожайністю, підвищеною стійкістю до хвороб або іншими якостями. Особливо важливо це для вирощування дерев, бо значно підвищує швидкість їх розмноження (мал. 55.4).



Мал. 55.3. Гібридома



Мал. 55.4. Клонування рослин — одна з поширених сучасних біотехнологій

## Генетична інженерія

Суть генетичної інженерії полягає в штучному створенні генів з потрібними властивостями і введення їх у відповідну клітину. Перенесення гена здійснює **вектор (рекомбінантна ДНК)** — спеціальна молекула ДНК, сконструйована на основі ДНК вірусів або плазмід, яка містить потрібний ген і здатна транспортувати його до клітини та забезпечити його вбудовування в її генетичний апарат.

Для маркування певних клітин організмів у молекулярно-генетичних дослідженнях використовують ген GFP, виділений з медузи. Він забезпечує синтез флуоресцентного білка, який світиться в темряві (мал. 55.5).

Генетична інженерія широко використовується як у наукових дослідженнях, так і в новітніх методах селекції.



Мал. 55.5. Використання маркування клітин організмів за допомогою гена GFP



Біотехнологія — це сукупність промислових методів, які застосовують для виробництва різних речовин з використанням живих організмів, біологічних процесів чи явищ. Традиційна біотехнологія ґрунтується на явищі ферментації — використанні у виробничих процесах ферментів мікроорганізмів.

Клітинна інженерія — це галузь біотехнології, яка розробляє й використовує технології культивування клітин і тканин поза організмом у штучних умовах. Генетична інженерія — це галузь біотехнології, яка розробляє й використовує технології виділення генів з організмів і окремих клітин, їх видозмінення та введення в інші клітини або організми.

## Перевірте свої знання

1. Що таке біотехнологія? 2. Що таке ферментація? Що виготовляють за допомогою цього процесу? 3. Що таке клітинна інженерія? 4. Що таке генетична інженерія? 5. Для чого використовують технології клітинної інженерії? 6. У яких галузях сучасного виробництва використовують традиційну біотехнологію? 7\*. Складіть перелік продуктів і речей, які ви використовували протягом дня і які є продуктом біотехнології. 8\*. Які біологічні та екологічні проблеми можуть виникати під час використання технологій генетичної інженерії?

# 56 Генетично модифіковані організми



Пригадайте, які способи обміну генетичною інформацією характерні для бактерій. У яких структурах клітин зберігається спадкова інформація? Чому бактерії так легко пристосовуються до появи нових антибіотиків? Що таке плазмід?

## Що таке генетично модифіковані організми

**Генетично модифіковані організми (ГМО)** — це організми, генотип яких було змінено за допомогою методів генетичної інженерії з використанням технології рекомбінантних ДНК (мал. 56.1). Інша назва генетично модифікованих організмів — *трансгенні організми*.

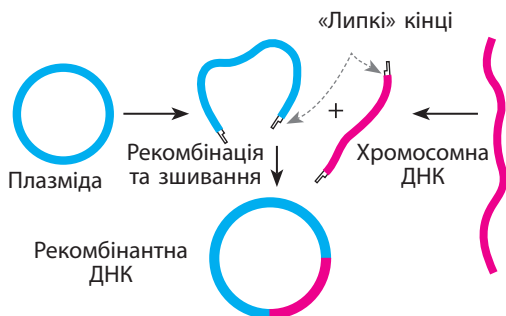
Трансгенні організми можуть мати велике значення для підвищення ефективності сільського господарства та під час досліджень у галузі молекулярної біології. Перші генетично модифіковані організми, одержані за допомогою методів молекулярної біології, з'явилися у світі лише у 80-х роках XX століття.

## Генетична модифікація організмів у природі

Але людина не може вважатися першовідкривачем технології рекомбінантних ДНК. Такі процеси є дуже давніми і поширеними серед живих організмів. Віруси уражають усі групи живих організмів та інколи випадково переносять гени від одних видів до інших. Цей

процес має назву **горизонтального перенесення генів**. Він відіграє важливу роль в еволюції.

Першими перенесення генів почали використовувати бактерії. Цей процес у них відомий як **трансдукція** — перенесення бактеріальних генів іншим бактеріям за допомогою бактеріофагів. Трансдукція є одним з основних механізмів обміну генами в прокаріотів. Існує вона не менш ніж три мільярди років.



Мал. 56.1. Схема отримання рекомбінантної ДНК

Історія еукаріотів теж не обійшлася без цієї технології. Походження цитоскелета, без якого неможлива життєдіяльність усіх еукаріотів (у тому числі людини), теж пов'язують з горизонтальним перенесенням генів від бактерій за допомогою вірусів.

Але процес триває й нині. Нещодавні дослідження виявили обмін геном між рисом та просом, і людина не мала до цього жодного стосунку. Також було виявлено перенесення генів від паразитичної бактерії вольбахії до геному її хазяїв — комах і червів. А в одній з груп коловерток горизонтальне перенесення генів узагалі замінило статевий процес.

В еволюції людини такі перенесення генів також траплялися неодноразово. Докладний аналіз показав, що 1 % геному людини — це гени вірусів. Але в більшості випадків вони є генетичним сміттям, оскільки були знешкоджені системами захисту нашого геному. А деякі з цих «сторонніх» генів стали для нас конче необхідними. Саме гени ретровірусів, убудовані в наш геном, забезпечують роботу плаценти й дозволяють нам (як і іншим ссавцям) виношувати дитину в організмі матері.



Перший трансгенний організм (мишу) було одержано Дж. Гордоном зі співробітниками 1980 року.

На початку 90-х років у Китаї було проведено перше комерційне випробування генетично модифікованих сортів тютюну й томатів, стійких до вірусів.



Генетично модифіковані організми — це організми, генотип яких було змінено за допомогою методів генної інженерії з використанням технології рекомбінантних ДНК.

Процеси, аналогічні технологіям створення генетично модифікованих організмів, часто трапляються в природі та існують уже кілька мільярдів років.

### Перевірте свої знання

1. Що таке генетично модифіковані організми? 2. Чи відбувається генетична модифікація організмів у природних умовах? 3. Чи потрапляли в процесі еволюції гени інших організмів до геному людини? 4\*. Які морально-етичні проблеми може спричинити використання ГМО?

# 57 Роль генетичної інженерії в сучасних біотехнологіях і медицині



*Ви вже знаєте, що таке біотехнології. Як давно люди використовують біотехнології? Які методи відносять до цієї галузі? Яке значення в житті людини відіграють виробництва, що застосовують методи біотехнології?*

## Порівняння технологій

Дуже цікаво провести порівняння технологій створення ГМО і технологій класичної селекції.

### Порівняння класичних і сучасних біотехнологій

| Класична селекція                                                                                      | Створення ГМО                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Ґрунтується на природному процесі, який використовується людиною                                       | Ґрунтується на природному процесі, який використовується людиною         |
| Використовується не менше як 10 тисяч років (із застосуванням штучного мутагену не менше ніж 80 років) | Використовується понад 30 років                                          |
| Працює одразу з кількома тисячами генів                                                                | Працює з одним геном                                                     |
| Створює організми, які генетично значно відрізняються від природних форм                               | Створює організми, які генетично значно відрізняються від природних форм |
| Потребує значного часу для виведення нових форм                                                        | Потребує меншого часу для виведення нових форм                           |

## Проблеми та перспективи використання технології генетичної інженерії

Питання про перспективу використання генної інженерії під час вирощування сільськогосподарської сировини продовжує спричиняти серйозні суперечки серед дослідників і споживачів. Серед позитивних аргументів — підвищена врожайність, екологічні переваги, захист від шкідників. З іншого боку — непевність частини споживачів у безпечності нових технологій.

Теоретично негативний вплив, наприклад, трансгенних рослин на інші організми можливий через наявність у організмі рослин біологічно активних речовин (інсектициди, фунгіциди та ін.). Вплив

цих речовин може бути прямої або опосередкованої дії через трофічні ланцюги. Однак до сьогодні достовірних експериментальних даних про негативний вплив трансгенних рослин, стійких до шкідників, на нецільові організми не отримано. Також за 30 років досліджень не було виявлено достовірних експериментальних даних щодо негативного впливу ГМО на тих, хто споживав їх у їжу.

У Європі модифіковані рослини сої та кукурудзи для виготовлення харчових продуктів дозволено з 1997 року, а харчові ферменти, добавки, одержані в результаті генної інженерії, використовують понад двадцять років. Слід відмітити, що ГМО-продукти є дешевшими, ніж продукти звичайної селекції, і можуть містити корисні для людей сполуки. Так, генетично модифікований сорт рису (золотий рис) містить значну кількість бета-каротину (мал. 57.1).



**Мал. 57.1.** Золотий рис (генетично модифікований сорт, який містить багато бета-каротину) порівняно зі звичайним рисом

### *Застосування в наукових дослідженнях*

Генетична інженерія надзвичайно широко використовується в сучасній біології та медицині. Вона стала одним з головних інструментів як науки, так і виробництва. У наукових дослідженнях генетична інженерія дозволяє цілеспрямовано «вимикати» потрібні гени. Це допомагає досліджувати їхні функції. Також можна вводити в організм ген, якого він не мав раніше, і попередньо тестувати наслідки застосування нових технологій.

Важливі результати з допомогою цієї методики можна отримати в галузі аналізу шляхів реалізації генетичної інформації. Більшість генів еукаріотів можуть синтезувати кілька варіантів білків, і розібратися в роботі цього механізму можна тільки за допомогою генетичної інженерії.

### *Виробництво лікарських препаратів*

Без генетично модифікованих організмів, які виробляють лікарські препарати, наразі важко уявити сучасну медицину. Деякі препарати просто неможливо отримати іншим способом. Використовують такі ліки вже досить давно. З 1982 року розпочалося масове застосування інсуліну, виробленого генетично модифікованою бактерією. Ген людського інсуліну згадуваний бактерії дістався штучно. До цього в лікуванні діабету використовували інсулін свиней, який часто спричиняв ускладнення й алергічні реакції.

Крім інсуліну, за допомогою генетично модифікованих організмів виробляють гормон росту, інтерферон, препарати для лікування інфаркту міокарда, препарати для лікування муковісцидозу, низки форм раку та інших захворювань.

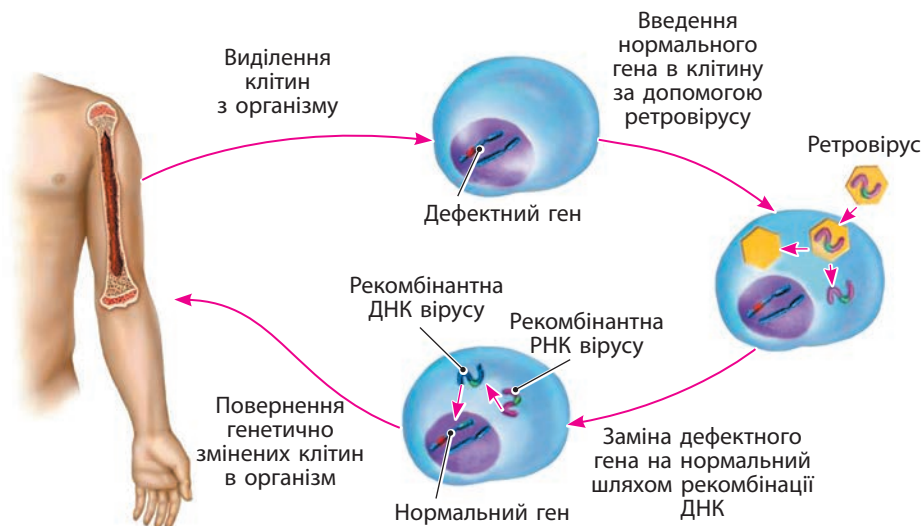
### Діагностика захворювань

Активно використовують технології генетичної інженерії для діагностики захворювань. Діагностувати таким чином можна інфекційні, спадкові захворювання, а також різні форми раку.

Ця діагностика ґрунтується на розпізнаванні специфічних ділянок нуклеїнових кислот — ДНК або РНК. Такий метод має дуже велику чутливість і високу надійність.

### Генна терапія

**Генна терапія** — це сукупність технологій, яка забезпечує внесення змін у генетичний апарат соматичних клітин людини. Головне її призначення — лікування спадкових захворювань. Основна ідея — замінити дефектний ген у клітинах на нормальний. Для цього з організму спочатку виділяють клітини, вводять у них здоровий ген і поміщають клітини назад (мал. 57.2). Таку терапію проводять, наприклад, для гена тимідинкінази у людей з тяжкою формою імунodefіциту.



Мал. 57.2. Схема генної терапії

Генна терапія вже має приклади успішного застосування, але поки що всі ці дослідження проводять як експериментальні. Адже технологія є складною й потребує докладного вивчення можливих ризиків і негативних наслідків.

### Використання в сільському господарстві

У сільському господарстві генетично модифіковані рослини в комерційних масштабах використовують з 1994 року. Основний напрям використання — отримання рослин з підвищеною стійкістю до захворювань, шкідників або природних умов. Важливим напрямом є також отримання плодів з покращеною здатністю до зберігання. А найбільш перспективним напрямом використання у тваринництві є отримання молока від генно модифікованих тварин. Це молоко може містити дорогі або рідкісні білки, які застосовують у медицині, але які неможливо виробити за допомогою бактерій.



Першу успішну генну терапію для людини було проведено 14 вересня 1990 року. Із цього ж року почав виходити журнал «Генна терапія людини».



Найбільш перспективними напрямками використання генетичної інженерії в сучасній біотехнології й медицині є виробництво лікарських препаратів, генна терапія, діагностика захворювань і виробництво сільськогосподарської продукції. Трансгенні організми можуть мати велике значення для підвищення ефективності сільського господарства та під час досліджень у галузі молекулярної біології. За 30 років досліджень не було отримано достовірних даних щодо негативного впливу ГМО на людину та інші види живих організмів.

### Перевірте свої знання

1. Як досягнення генетичної інженерії використовують: а) у наукових дослідженнях; б) у медицині; в) у сільському господарстві? 2. Які переваги порівняно з класичною селекцією має технологія отримання ГМО? 3. Порівняйте технології класичної селекції і технології створення ГМО. 4\*. Які біологічні та екологічні проблеми можуть виникнути через використання ГМО? 5\*. Які морально-етичні проблеми можуть виникнути під час використання технологій генетичної інженерії? 6\*. Чи може людство обійтися без використання технологій генетичної інженерії? Відповідь обґрунтуйте.

## Узагальнюючі завдання до теми «Біологія як основа біотехнології та медицини»

У завданнях 1–12 оберіть одну правильну відповідь.

- 1 Центри походження культурних рослин виявив:  
а) М. Вавілов б) Ч. Дарвін в) Г. Мендель г) Т. Морган
- 2 Центром походження рису є:  
а) Середземноморський в) Центральноамериканський  
б) Ефіопський г) Індо-малайський
- 3 Центром походження картоплі є:  
а) Індійський в) Центральноамериканський  
б) Південноамериканський г) Середньоазіатський
- 4 В Америці було одомашнено:  
а) вівцю б) коня в) індика г) курку
- 5 Раніше за інших тварин було одомашнено:  
а) кішку б) собаку в) коня г) верблюда
- 6 За допомогою мікроорганізмів виробляють:  
а) молоко в) каву  
б) сало г) хліб
- 7 Методи створення нових сортів рослин розробляє наука:  
а) біотехнологія в) генетика  
б) селекція г) цитологія
- 8 Сукупність промислових методів, які застосовують для виробництва різних речовин з використанням живих організмів, біологічних процесів чи явищ, — це:  
а) штучний добір в) селекція  
б) молекулярна біологія г) біотехнологія
- 9 Галузь біотехнології, яка розробляє й використовує технології культивування клітин і тканин поза організмом у штучних умовах, — це:  
а) генетична інженерія в) клітинна інженерія  
б) селекція г) генна терапія

**10** Генетично модифіковані організми — це організми, генотип яких було змінено за допомогою методів:

- а) радіаційного мутагенезу      в) клітинної інженерії  
б) генетичної інженерії      г) класичної селекції

**11** Процес змін популяцій рослин або тварин, завдяки якому вони стають пристосованими до утримання в неволі й використання їх людиною, — це:

- а) конвергенція      в) генна терапія  
б) природний добір      г) одомашнення

**12** Спеціальна молекула ДНК, сконструйована на основі ДНК вірусів або плазмід, яка містить потрібний ген, здатна транспортувати його в клітину й забезпечити його вбудовування в її генетичний апарат, — це:

- а) оперон      б) ген      в) вектор      г) екзон

**13** Напишіть назви центрів походження рослин, у яких було одомашнено перелічені види.

|                                  |                                          |                                                             |                                        |
|----------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Сорго, кава, кавун, кола, кунжут | Кукурудза, какао, батат, соняшник, тютюн | Пшениця, жито, ячмінь, горох, слива, груша, фінікова пальма | Баклажан, лимон, манго, гречка, огірок |
| а)                               | б)                                       | в)                                                          | г)                                     |

**14** Установіть відповідність між процесами та технологіями, до яких вони належать.

#### Процеси

- 1 генна терапія
- 2 виробництво сиру
- 3 виробництво кефіру
- 4 одержання ГМО
- 5 одержання гібридом
- 6 виробництво хліба

#### Технології

- а) технології одержання рекомбінантних ДНК
- б) технології клітинної інженерії
- в) технології з використанням процесів бродіння

**15** Порівняйте класичну селекцію і технології з використанням рекомбінантної ДНК.

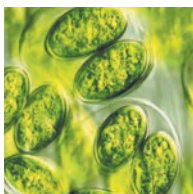
**16** Поясніть, які перспективи має використання ГМО в медицині.



Перевірте свої знання з теми «Біологія як основа біотехнології та медицини».



# 58 Основні загальні властивості живих систем



*Пригадайте рівні живих організмів, які ви вивчали. Які особливості притаманні молекулам живих організмів, їхнім клітинам? Як відбувається передача спадкової інформації? Як живі організми пов'язані між собою в екосистемах?*

## Основні загальні властивості живих систем

Живі системи є досить різноманітними (мал. 58.1). Але всі вони мають спільні властивості. До таких властивостей належать єдність хімічного складу, наявність обміну речовин і енергії, здатність до саморегуляції, самовідтворення, росту й розвитку, мінливість.

## Єдність хімічного складу

Живі системи побудовані на основі органічних молекул. До складу цих молекул входять Карбон, Оксиген, Гідроген, Нітроген, Фосфор і Сульфур. Інші елементи в живих системах трапляються в меншій кількості. Органічні речовини в них представлені нуклеїновими кислотами, білками, ліпідами й вуглеводами.



Клітина



Одноклітинний організм



Багатоклітинний організм



Екосистема

Мал. 58.1. Живі системи

### Наявність обміну речовин

Живі системи є відкритими системами. Тобто вони можуть існувати тільки за умови постійного обміну речовиною, енергією й інформацією з навколишнім середовищем. Крім того, всередині живих систем також відбувається інтенсивний обмін речовин, енергії та інформації між окремими частинами системи (органелами клітин, органами організму, організмами в екосистемі).

### Здатність до саморегуляції, росту й розвитку

Живі системи завдяки безперервному обміну речовин і енергії постійно перебувають у стані динамічної рівноваги. Процеси, які відбуваються в них, урівноважують один одного. Наявність обміну речовин також робить можливим ріст і розвиток живих систем. Завдяки потоку енергії, яка через них проходить, вони можуть рости і збільшувати свою складність (розвиватися).

### Здатність до самовідтворення, мінливість

Унікальною здатністю живих систем є можливість самовідтворення. Навіть неклітинні форми життя (віруси) здатні за допомогою клітин-хазяїв виробляти свої копії. А з процесами відтворення клітин і багатоклітинних організмів ви докладно ознайомилися в попередніх розділах підручника.

Але, якби живі системи тільки самовідтворювалися, їхні розвиток і еволюція були б неможливими. Тому ще одна важлива властивість живих систем — мінливість. Щоразу, коли жива система самовідтворюється, її копія не є абсолютно тотожною. Ці невеликі (а у випадку мутацій і великі) відмінності є матеріалом для еволюції.



До основних загальних властивостей живих систем належать єдність хімічного складу, наявність обміну речовин і енергії, здатність до саморегуляції, здатність до самовідтворення, мінливість, здатність до росту

й розвитку.

### Перевірте свої знання

1. Які об'єкти можна віднести до живих систем?
2. Які загальні властивості мають живі системи? Поясніть на конкретних прикладах.
3. Які переваги надає живим системам здатність до саморегуляції?
4. Які переваги надає живим системам здатність до мінливості?
5. Чому деякі вчені не відносять вірусів до живих організмів?

## Лабораторне дослідження

- Тема.** Властивості ферментів
- Мета:** дослідити властивості ферментів і вплив на них фізичних факторів.
- Обладнання й матеріали:** невеликі кубики сирої та вареної картоплі, пробірки, гідроген пероксид, який має кімнатну температуру, гідроген пероксид з холодильника, підручник.

### Теоретичний мінімум

У цьому дослідженні властивості ферментів розглянуто на прикладі ферменту пероксидази, що міститься в клітинах картоплі. У випадку контакту пероксидази з гідроген пероксидом відбувається розкладання пероксиду на воду й кисень, який виділяється у вигляді невеликих бульбашок газу.

### Хід дослідження

1. Візьміть три пробірки й помістіть у них невеликі кубики картоплі. У перші дві помістіть кубики сирої картоплі, а в третю — вареної.
2. Улийте в першу пробірку розчин гідроген пероксиду, який перед цим було охолоджено в холодильнику.
3. Спостерігайте, чи виділяються бульбашки газу. Відзначте інтенсивність їх виділення.
4. Улийте в другу й третю пробірки розчин гідроген пероксиду, який має кімнатну температуру.
5. Спостерігайте, чи виділяються бульбашки газу. Відзначте інтенсивність їх виділення.
6. Зробіть висновок, у якому вкажіть результати спостережень та поясніть, чи вплинули низька температура й теплова обробка на роботу ферменту пероксидази.

## Практична робота

- Тема.** Розв'язування елементарних вправ зі структури білків та нуклеїнових кислот
- Мета:** удосконалити навички розв'язування елементарних вправ зі структури білків та нуклеїнових кислот.
- Обладнання й матеріали:** підручник, зошит.

### Теоретичний мінімум

#### *Визначення маси й довжини амінокислот*

- Маса нуклеотидів, амінокислот, білків і нуклеїнових кислот вимірюють у дальтонах (Да). Середня молекулярна маса однієї амінокислоти дорівнює 110 Да. Середня молекулярна маса одного нуклеотиду ДНК дорівнює 330 Да, а одного нуклеотиду РНК — 345 Да.
- Лінійний розмір нуклеотидів, амінокислот, білків і нуклеїнових кислот вимірюють у нанометрах (нм). Середня довжина однієї амінокислоти — 0,35 нм. Середня довжина одного нуклеотиду — 0,34 нм.

#### Приклади розв'язання задач

##### *Елементарна вправа зі структури білків*

###### *Задача*

Маса білка — 22 000 Да. Яка довжина цієї молекули в нанометрах?

###### *Розв'язання:*

1. Спочатку визначаємо кількість амінокислот у молекулі:  

$$22\,000 \text{ Да (загальна маса молекули)} / 110 \text{ Да (середня маса амінокислоти)} = 200 \text{ амінокислот}$$
2. Далі визначаємо довжину молекули:  

$$200 \text{ амінокислот} \times 0,35 \text{ нм} = 70 \text{ нм}$$

Відповідь: довжина молекули білка становить 70 нм.

##### *Елементарна вправа зі структури ДНК*

###### *Задача*

До складу фрагмента ДНК входить 300 нуклеотидів (ця кількість включає нуклеотиди з обох ланцюгів подвійної спіралі). Визначте довжину й масу цього фрагмента ДНК. Враховуючи те, що з цих 300 нуклеотидів 50 є гуаніновими, визначте кількість аденінових, тимідилових і цитиділових нуклеотидів у цьому фрагменті.

###### *Розв'язання:*

1. Спочатку визначаємо довжину молекули ДНК. Молекула складається з двох ланцюгів, які з'єднані один з одним. Відповідно, довжина кожного з ланцюгів (і всієї молекули в цілому) становить 150 пар нуклеотидів.

Тоді довжина молекули в нанометрах буде дорівнювати:

$150 \text{ (кількість нуклеотидів в одному ланцюгу)} \times 0,34 \text{ нм (середня довжина одного нуклеотиду)} = 51 \text{ нм}$

2. Далі визначаємо масу молекули.

$$300 \text{ нуклеотидів} \times 330 \text{ Да (середня маса одного нуклеотиду)} = 99\,000 \text{ Да}$$

3. Потім визначаємо кількість нуклеотидів.

У молекулі ДНК кількість аденілових нуклеотидів дорівнює кількості тимідилових, а кількість гуанілових — кількості цитиділових, адже ці нуклеотиди утворюють тільки такі сполучення. Якщо в молекулі 50 гуанілових нуклеотидів, то цитиділових також 50.

Розраховуємо кількість тимідилових і аденілових нуклеотидів.

$$300 \text{ (загальна кількість нуклеотидів)} - 50 \text{ (кількість гуанілових)} - 50 \text{ (кількість цитиділових)} = 200 \text{ (загальна кількість аденілових і тимідилових нуклеотидів)}$$

Кількість аденілових і тимідилових нуклеотидів однакова, тому кількість кожного з них буде дорівнювати:

$$200 / 2 = 100$$

Відповідь: довжина молекули ДНК становить 51 нм, маса — 99 000 Да, вона містить по 50 гуанілових і цитиділових нуклеотидів і по 100 аденілових і тимідилових.

### *Хід роботи*

1. Ознайомтеся з інформацією рубрики «Теоретичний мінімум».
2. Використовуючи цю інформацію, розв'яжіть задачі:
  1. Маса білка — 71 500 Да. Яка довжина цієї молекули в нанометрах?
  2. До складу фрагмента ДНК входить 200 нуклеотидів (ця кількість включає нуклеотиди з обох ланцюгів подвійної спіралі). Визначте довжину й масу цього фрагмента ДНК. Враховуючи те, що з цих 200 нуклеотидів 40 є гуаніловими, визначте кількість аденілових, тимідилових і цитиділових нуклеотидів у цьому фрагменті.
3. Зробіть висновок, указавши в ньому основні особливості ДНК і білків.

## Лабораторна робота

- Тема.** Вивчення структурно-функціональної різноманітності клітин
- Мета:** ознайомитися зі структурно-функціональною різноманітністю клітин на прикладі клітин різних тканин тварин та рослин.
- Обладнання й матеріали:** мікропрепарати, електронні мікрофотографії та малюнки клітин м'язової, епітеліальної й нервової тканин тварин, покривної, провідної, основної тканин рослин.

### Хід роботи

1. Розгляньте на малюнках і мікропрепаратах клітини м'язової тканини тварин. Замалюйте їх у зошиті й запишіть, які функції виконують ці клітини.
2. Розгляньте на малюнках і мікропрепаратах клітини нервової тканини тварин. Замалюйте їх у зошиті й запишіть, які функції виконують ці клітини.
3. Розгляньте на малюнках і мікропрепаратах клітини епітеліальної тканини тварин. Замалюйте їх у зошиті й запишіть, які функції виконують ці клітини.
4. Розгляньте за збільшення мікроскопа 64× препарат корінця цибулі. Знайдіть зону поділу клітин. Розгляньте за збільшення мікроскопа 160× меристематичні (твірні) клітини. Замалюйте їх у зошиті й запишіть, які функції виконують ці клітини.
5. Розгляньте за збільшення мікроскопа 64× препарат стебла липи. Замалюйте побачені провідні тканини. Позначте на малюнку ксилему і флоему. Замалюйте їх у зошиті й запишіть, які функції виконують ці клітини.
6. Розгляньте за збільшення мікроскопа 64× препарат епідерми листка соняшника. Зверніть увагу на продихи. Розгляньте за збільшення мікроскопа 160× клітини продиху та клітини, які його оточують. Замалюйте їх у зошиті й запишіть, які функції виконують ці клітини.
7. Розгляньте за збільшення мікроскопа 64× зріз листка. Знайдіть основну тканину й розгляньте її клітини за збільшення мікроскопа 160×. Замалюйте їх у зошиті й запишіть, які функції виконують ці клітини.
8. На підставі розглянутих мікропрепаратів та електронних мікрофотографій зробіть висновки щодо зв'язку особливостей будови тканин тварин і рослин з функціями, які вони виконують.

## Лабораторне дослідження

**Тема.** Дослідження фаз мітозу (на прикладі клітин кореня цибулі)  
**Мета:** навчитися розрізняти фази мітозу в рослинних клітинах.  
**Обладнання й матеріали:** мікроскоп, мікропрепарат кореня цибулі, фотографії мітотичних клітин.



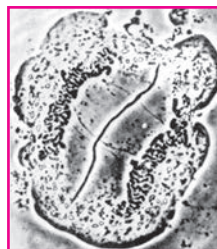
профаза



метафаза



анафаза



телофаза

### Хід дослідження

1. За збільшення мікроскопа 64× розгляньте препарат корінця цибулі та знайдіть на ньому три зони кореня: кореневий чохлак, зону поділу клітин і зону росту.
2. За збільшення мікроскопа 160× розгляньте зону поділу клітин (у разі неможливості використання такого збільшення можна використовувати фотографії мітотичних клітин).
3. Знайдіть клітину на стадії інтерфази. Замалюйте клітину, позначте на малюнку ядро клітини й клітинну оболонку.
4. Знайдіть клітину на стадії профази. Замалюйте клітину, позначте на малюнку хромосоми.
5. Знайдіть клітину на стадії метафази. Замалюйте клітину, позначте на малюнку хромосоми й веретено поділу.
6. Знайдіть клітину на стадії анафази. Замалюйте клітину, позначте на малюнку хромосоми й полюси клітини.
7. Знайдіть клітину на стадії телофази. Замалюйте клітину, позначте на малюнку хромосоми й нову клітинну стінку, яка почала формуватися.
8. Зробіть висновки, у яких укажіть характерні ознаки фаз мітозу.

## Практична робота

- Тема.** Розв'язування елементарних вправ з реплікації, транскрипції та трансляції
- Мета:** удосконалити навички розв'язування елементарних вправ з реплікації, транскрипції та трансляції.
- Обладнання й матеріали:** таблиця генетичного коду, підручник, зошит.

### Алгоритм розв'язання вправ

За правилом комплементарності, в подвійному ланцюгу ДНК кожному гуаніловому нуклеотиду (Г) відповідає цитиділовий (Ц), а тимідиловому (Т) — аденіловий (А). Тому під час встановлення послідовності нуклеотидів у другому ланцюгу за зразком першого ланцюга в процесі реплікації слід дотримуватися правила:  $G \leftrightarrow C$ ,  $A \leftrightarrow T$ .

Наприклад:

ДНК (1-й ланцюг): АТГЦГАГТ

ДНК (2-й ланцюг): ТАЦГЦТЦА

У процесі транскрипції за зразком ланцюга ДНК утворюється ланцюг РНК. У цьому випадку, за правилом комплементарності, нуклеотидам у ланцюгу ДНК будуть відповідати такі нуклеотиди РНК: гуаніловому (Г) відповідає цитиділовий (Ц), цитиділовому (Ц) — гуаніловий (Г), тимідиловому (Т) — аденіловий (А), а аденіловому (А) — уридиловий (У).

Наприклад:

ДНК: АТГЦГАГТ

РНК: УАЦГЦУЦА

### Хід роботи

- Розгляньте послідовність нуклеотидів в одному ланцюгу фрагмента ДНК:
  - АТГТАЦТЦГГЦГАТААЦА
  - ГЦААЦЦГАТТГТЦТТАЦТ
  - ААЦАГТГТТТЦТГТЦАТТ
  - ТАЦТАГЦАГЦГТЦГТАЦТ

Виконайте вправу з реплікації, добудувавши до неї комплементарний ланцюг ДНК.
- Розгляньте послідовність нуклеотидів в одному ланцюгу фрагмента ДНК:
  - ТАЦТЦАЦТАЦАТЦГЦТГ
  - ТАЦЦЦГТЦТЦТТЦЦТАЦТ
  - ТАЦТААЦААЦГАТЦААТТ
  - ТАЦАТГТЦГАЦЦГЦГАТЦ

Використовуючи таблицю генетичного коду, визначте продукти, які утворюються внаслідок транскрипції та подальшої трансляції ділянки ДНК.
- Зробіть висновок, у якому вкажіть основні властивості генетичного коду, і запишіть його в зошит.

## Лабораторне дослідження

- Тема.** Мінливість у рослин і тварин  
**Мета:** ознайомитися з модифікаційною й мутаційною мінливістю у рослин і тварин, навчитися будувати варіаційний ряд, ознайомитися із нормальними та мутантними формами дрозофіл та зробити їх порівняння.
- Обладнання і матеріали:** колекції листків або хвоїнок, колекція комах, лінійка, лупи, фотографії або малюнки нормальних і мутантних (три-чотири лінії) форм дрозофіл, підручник, робочий зошит.

### Хід дослідження

1. Розгляньте колекцію листків або хвоїнок, відберіть 15 листків або хвоїнок.
2. Виміряйте довжину всіх листків (хвоїнок) і запишіть її в зошиті.
3. Побудуйте варіаційну криву, розташувавши по горизонталі виміряні листки в послідовності від найменшого до найбільшого значення, а по вертикалі відклавши їхню довжину.
4. Розгляньте колекцію комах, відберіть комах одного виду.
5. Виміряйте довжину тіла всіх комах і запишіть її в зошиті.
6. Побудуйте варіаційну криву, розташувавши по горизонталі результати вимірювань комах у послідовності від найменшого до найбільшого значення, а по вертикалі відклавши їхню довжину тіла.
7. Розгляньте зображення нормальних екземплярів дрозофіл (дика форма). Визначте й запишіть характерні ознаки: колір тіла, форму крил, колір очей.
8. Розгляньте зображення мутантних екземплярів дрозофіл (усіх наявних форм). Визначте й запишіть характерні ознаки: колір тіла, форму крил, колір очей.
9. Запишіть особливості кожної з мутантних форм, за якими вона відрізняється від нормальних особин.
10. Зробіть висновок, у якому вкажіть, з якими характерними особливостями модифікаційної та мутаційної мінливості ви ознайомилися.

## Практична робота

- Тема.** Складання схем схрещування  
**Мета:** удосконалити навички складання схем схрещування й розв'язування елементарних генетичних задач.
- Обладнання й матеріали:** таблиці із зображенням схем законів Г. Менделя, роздавальні картки із задачами, підручник, зошит.

### Алгоритм складання схеми схрещування

1. Визначення й запис генотипів батьків, виходячи з умов задачі.
2. Визначення гамет, які утворюють генотипи батьків. При цьому слід ураховувати, що кількість типів гамет, які утворює особина, визначають за формулою  $X = 2^n$ , де  $X$  — кількість типів гамет, які утворює особина, а  $n$  — кількість гетерозиготних генів у генотипі цієї особини.
3. Побудова решітки Пеннета. При цьому слід ураховувати, що кількість стовпців і рядків у цій таблиці дорівнює кількості типів гамет, які утворюють материнська й батьківська особини.
4. Визначення генотипів і фенотипів нащадків, які утворюються в результаті схрещування, шляхом аналізу генотипів, що утворилися внаслідок сполучення гамет у відповідних комірках решітки Пеннета.

### Хід роботи

1. **Задача на моногібриде схрещування.**  
Складіть схему схрещування і запишіть розв'язання задачі.  
У квасолі алель чорного забарвлення насінин ( $A$ ) домінує над алелем білого забарвлення ( $a$ ). Визначте генотипи і фенотипи нащадків у схрещуванні  $Aa \times Aa$ .
2. **Задача на дигібридне схрещування.**  
Складіть схему схрещування і запишіть розв'язання задачі.  
У рослини один ген визначає висоту рослини (домінантний алель  $A$  — висока рослина, рецесивний алель  $a$  — карликова рослина), а другий ген — забарвлення плодів (домінантний алель  $B$  — червоні плоди, рецесивний алель  $b$  — жовті плоди). В обох випадках домінування повне. Схрестили рослини з генотипами  $AaBb$  і  $aaBb$ . Визначте генотипи і фенотипи нащадків першого покоління.
3. **Задача на схрещування, зчеплене зі статтю.**  
Складіть схему схрещування і запишіть розв'язання задачі.  
У дрозофіл ген  $B$ , який визначає колір тіла, розташований у  $X$ -хромосомі. Його домінантний алель ( $B$ ) зумовлює сіре забарвлення тіла, а рецесивний алель ( $b$ ) — жовте забарвлення тіла. Схрестили самку, яка має жовтий колір тіла, із самцем, тіло якого має сіре забарвлення. Які генотипи й фенотипи матимуть нащадки від цього схрещування?
4. **Зробіть висновок, указавши особливості складання схем схрещування для кожного з типів задач.**

## Практична робота

- Тема.** Порівняння будови та процесу розмноження клітинних і неклітинних форм життя
- Мета:** порівняти особливості будови та процеси розмноження клітинних і неклітинних форм життя на прикладі вірусів і бактерій.
- Обладнання й матеріали:** схеми будови клітини бактерій та вірусів, схема поділу бактеріальної клітини, схема розмноження вірусів, мікрофотографії клітини бактерій і віріонів вірусів, підручник, зошит.

### *Хід роботи*

1. Розгляньте схему будови бактеріальної клітини на малюнку або фотографії.
2. Замалюйте схему будови клітини в зошиті. Укажіть на ній цитоплазму, бактеріальну хромосому і клітинну стінку.
3. Розгляньте схему будови віріона на малюнку або фотографії.
4. Замалюйте схему будови віріона в зошиті. Укажіть на ній білкову оболонку й нуклеїнову кислоту.
5. Розгляньте схему поділу бактеріальної клітини та схему розмноження вірусу.
6. Укажіть риси подібності й відмінності між поділом бактеріальної клітини та схемою розмноження вірусу.
7. Зробіть висновок, у якому вкажіть, які особливості будови й розмноження притаманні клітинним і неклітинним формам життя.

# Словник\*

## А

**Адаптація** (від латин. *adapto* — пристосовую) — пристосування живих організмів до певних умов середовища існування. Усі адаптації є результатом еволюційного процесу на основі природного добору.

**Алель** (від латин. *allellos* — протилежний) — один із можливих станів (варіантів) гена, що визначає альтернативні варіанти розвитку певної ознаки.

## Б

**Біологічна систематика** (від грец. *sistematicos* — впорядкований, що належить до системи) — розділ біології, який формує єдину систему живого світу на основі виділення біологічних таксонів (систематичних одиниць) і відповідних назв, наданих за певними правилами (біологічної номенклатури).

**Біотехнологія** — сукупність промислових методів, які застосовують для виробництва різних речовин із використанням живих організмів, біологічних процесів чи явищ.

## В

**Вектор** — спеціальна молекула ДНК, сконструйована на основі ДНК вірусів або плазмід, яка містить потрібний ген і здатна транспортувати ген у клітину та забезпечити його вбудовування в її генетичний апарат.

**Вид** — сукупність популяцій особин, подібних між собою за будовою, функціями, місцем в угрупованнях організмів, що населяють певний ареал і вільно схрещуються між собою у природі.

## Г

**Ген** (від давньогрец. *henos* — рід) — окрема ділянка ДНК, яка відповідає за утворення однієї або кількох ознак організму.

**Генетика** (від латин. *genetica* — походження) — наука, яка займається вивченням спадковості й мінливості живих організмів.

**Генетичний код** — відповідність між усіма можливими варіантами триплетів РНК і амінокислотами, які вони кодують.

**Генетично модифіковані організми (ГМО)** — організми, генотип яких було змінено за допомогою методів генетичної інженерії з використанням технології рекомбінантних ДНК.

**Геном** (від нім. *genom* — рід) — сукупність усієї спадкової інформації організму, що включає як гени, так і некодуючі ділянки ДНК.

**Генотип** — сукупність усіх генів організму, розміщених у ядрах клітин (у хромосомах) або в інших структурах цитоплазми (пластидах, мітохондріях, плазмідах). Генотип є спадковою основою організму. Він є носієм генетичної інформації, який контролює формування всіх ознак організму, тобто його фенотипу.

**Гідрофобність** (від грец. *hydro* — вода і *phobos* — страх) — властивість деяких речовин погано взаємодіяти з водою.

**Гідрофільність** (від грец. *hydro* — вода і *philia* — любов, дружба) — здатність деяких речовин добре взаємодіяти з водою.

\* На сайті [interactive.ranok.com.ua](http://interactive.ranok.com.ua) розміщено розширений варіант словника.

## Д

**Дозрівання білка** — процес, у ході якого деякі ділянки синтезованих білків можуть вирізатися спеціальними ферментами, а сам білок може змінювати свою форму, об'єднуватися з іншими білками чи приєднувати до себе небілкову частину.

**Домен** — таксон найвищого рангу, який включає кілька царств живих організмів.

## Е

**Еволюція** (від латин. *evolutio* — розгортання) — процес змін живих організмів, який призводить до появи їх нових форм.

**Еволюційна теорія** — це наукове пояснення механізмів процесу еволюції.

**Екосистема** — сукупність живих організмів, які мешкають у певному середовищі існування й утворюють з ним одне ціле.

**Еволюційні фактори** — явища та процеси, які змінюють генофонд популяції.

## К

**Консументи** — гетеротрофні організми екосистем, які отримують органічні речовини, живлячись іншими живими організмами.

## Л

**Локус** (від латин. *locus* — місце) — місце розташування алелів певного гена на хромосомі.

## М

**Метаболізм** (від грец. *metabole* — зміна, перетворення) — закономірний порядок перетворення речовин і енергії в клітині, спрямований на її ріст, збереження та самовідтворення.

**Мінливість** — властивість живих організмів змінюватися.

**Модифікації** — фенотипові зміни, які виникають під впливом умов середовища. Модифікаційні зміни ознаки не успадковуються, але її діапазон (норма реакції) генетично зумовлений і успадковується.

**Мутуалізм** (від латин. *mutuus* — взаємний) — взаємовигідне співіснування двох видів (найпростіші, здатні перегравлювати клітковину, і рослиноїдні тварини, у кишечнику яких вони живуть).

## Н

**Ноосфера** (від грец. *noos* — розум, *sphera* — сфера) — певний стан біосфери, за якого розумова діяльність людини стає визначальним фактором її розвитку.

## О

**Одомашнення** — процес змін популяцій рослин або тварин, завдяки якому вони стають пристосованими до утримання в неволі й використання їх людиною. Одомашнення відбувається з метою отримання від рослин і тварин продуктів харчування, промислової продукції (шкіра, волокно тощо) або в інших цілях (транспорт, охорона тощо).

**Органела** (від слова «орган» й давньогрец. *elos* — вигляд) — відносно постійна структура у складі клітин живих організмів, яка має характерну будову й виконує певні функції.

## П

**Паразитизм** — співіснування двох видів, за якого один вид використовує інший як середовище існування і джерело харчування.

**Популяція** (від латин. *populus* — на-  
род, населення) — це сукупність  
особин одного виду, які відтворю-  
ють себе протягом великої кіль-  
кості поколінь і тривалий час за-  
ймають певну територію, функці-  
онуючи й розвиваючись в одному  
або кількох угрупованнях живих  
організмів.

**Природний добір** — це диференційо-  
ване виживання більш пристосо-  
ваних до певних умов існування  
особин у популяції.

**Продуценти** — автотрофні організми  
екосистем, які продукують орга-  
нічні речовини.

Р

**Редуценти** — гетеротрофні організ-  
ми екосистем, які отримують  
органічні речовини, живлячись  
залишками живих організмами  
або продуктів їхньої життєдіяль-  
ності. Редуценти перетворюють  
мертву органіку на прості орга-  
нічні та неорганічні речовини.

**Рекомбінація** — процес, коли лан-  
цюжки ДНК розриваються на  
окремі фрагменти, які потім  
об'єднуються в іншому порядку.  
Найчастіше рекомбінація від-  
бувається в клітинах еукаріотів  
під час мейозу. Проходить вона  
в профазі першого поділу й відо-  
ма під назвою «кросинговер» (пе-  
рехресчування хромосом).

**Реплікація** (від латин. *replicatio* —  
відбивати) — процес подвоєння  
ДНК перед поділом клітин.

С

**Селекція** (від латин. *selectio* — ви-  
бір, добір) — це наука про методи  
створення нових сортів і гібридів  
рослин, порід тварин і штамів мі-  
кроорганізмів.

**Спадковість** — здатність живих ор-  
ганізмів передавати особинам на-  
ступного покоління морфо-ана-  
томічні, фізіологічні, біохімічні  
особливості своєї організації,  
а також характерні риси станов-  
лення цих особливостей у процесі  
онтогенезу.

Т

**Транскрипція** (від латин. *transcrip-  
tio* — переписування) — процес  
синтезу ланцюга іРНК за зраз-  
ком одного з ланцюгів ДНК.

**Трансляція** (від латин. *translatio* —  
перенесення) — процес синтезу  
білкової молекули з амінокислот  
згідно з інформацією молекули  
РНК.

Ф

**Фенотип** (від грец. *phaino* — вияв-  
ляю, *typos* — відбиток, образ) —  
сукупність властивостей і ознак  
організму, що склалися на основі  
взаємодії генотипу з умовами зо-  
внішнього середовища.

**Філогенетичне дерево** — схема, яка  
відображає еволюційні зв'язки  
між таксонами, для яких воно  
будується.

Х

**Хемосинтез** (від латин. *chemo* — хі-  
мія, *synthesis* — поєднання) —  
процес утворення органічних  
речовин з неорганічних, який  
відбувається за рахунок енергії  
хімічних реакцій.

Ц

**Центри походження культурних рос-  
лин** — райони, у яких відбувався  
процес одомашнення культурних  
рослин.

## Учені-біологи України\*

### Алексєєва Олена Семенівна (1926–2006)

Видатний український учений-селекціонер. Працювала в галузі селекції гречки. Доктор сільськогосподарських наук, професор. Заслужений діяч науки і техніки України. Нагороджена орденом Трудового Червоного Прапора та медалями.

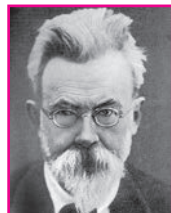
О. С. Алексєєва опублікувала понад 350 наукових праць, підготувала 27 кандидатів наук та чотирьох докторів наук. Створила світову колекцію генофонду гречки в Україні. Є засновником наукової школи вчених із селекції, насінництва та технології вирощування гречки.

За участі О. С. Алексєєвої засновано Тернопільську науково-виробничу систему «Гречка», виведено й передано на сортовипробування 30 сортів гречки, 12 з яких районовано.



### Вернадський Володимир Іванович (1863–1945)

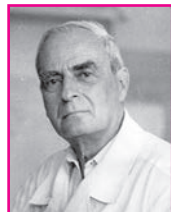
Український природознавець, засновник геохімії, біогеохімії та радіогеології, учення про біосферу. Професор Московського університету, один із засновників та перший президент Української академії наук. Організатор Комісії з вивчення вічної мерзлоти, ініціатор створення Міжнародної комісії з визначення абсолютного віку гірських порід радіоактивним методом. У своїх дослідженнях висунув проблеми ролі організмів у геохімічних процесах.



### Гершензон Сергій Михайлович (1906–1998)

Відомий учений, доктор біологічних наук, професор, академік НАН України, Герой Соціалістичної Праці. Працював у галузі генетики.

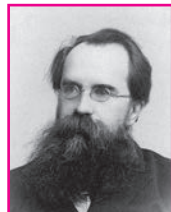
Проводив дослідження хімічного мутагенезу, мобільних генетичних елементів, зворотної транскрипції. Активно працював у галузі популяційної та молекулярної генетики. Досліджував механізми спадкової мінливості у природних популяціях.



### Ковалевський Олександр Онуфрійович (1840–1901)

Видатний біолог та ембріолог. Один із засновників еволюційної ембріології та фізіології. Був професором університетів у Казані, Києві, Одесі й Санкт-Петербурзі. Засновник (разом з І. І. Мечниковим) теорії зародкових листків.

Один із засновників Севастопольської морської біологічної станції. Тривалий час (з 1892 по 1901 рік) був її директором.



\* На сайті [interactive.ranok.com.ua](http://interactive.ranok.com.ua) розміщено розширений довідник про вчених-біологів України та світу.

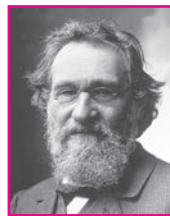
### **Липський Володимир Іполитович (1863–1937)**

Видатний український учений-флорист, систематик рослин, ботаніко-географ, член Київського товариства природодослідників. Вивчав флору Бессарабії, Кавказу. Одним з перших описав флору Індонезії, Тунісу, Алжиру та Середньої Азії. Відкрив і описав чотири нові для науки роди й понад 220 видів рослин, зібрав величезні колекції для природничих музеїв, написав понад 100 наукових праць.



### **Мечников Ілля Ілліч (1845–1916)**

Усесвітньо відомий біолог і патолог, зоолог і ембріолог, бактеріолог та імунолог, засновник еволюційної ембріології та геронтології, автор теорії імунітету й запалення. 1882 року учений здійснив відкриття в галузі фагоцитозу, за що 1908 року одержав Нобелівську премію.



### **Навашин Сергій Гаврилович (1857–1930)**

Ботанік, цитолог та ембріолог рослин, який працював у Київському університеті. Він заклав основи морфології хромосом і каріосистематики, відкрив 1898 року подвійне запліднення у покритонасінних рослин, створив вітчизняну школу цитології та ембріології рослин.



### **Палладін Олександр Володимирович (1885–1972)**

Відомий учений, професор, академік АН України та АН СРСР. Працював у галузі біохімії. Засновник української школи біохіміків. У 1946–1962 роках — президент АН України.

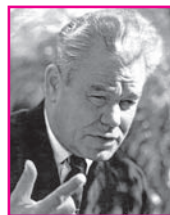
Першим розпочав вивчення біохімії нервової системи. Вперше в СРСР розпочав біохімічні дослідження вітамінів. Є засновником низки наукових напрямів. Серед них нейрохімія, біохімія харчування, порівняльна й еволюційна біохімія, біохімія спорту тощо.



### **Ремесло Василь Миколайович (1907–1983)**

Видатний український учений-селекціонер. Працював у галузі селекції пшениці. Лауреат Ленінської і Державних премій. Двічі Герой Соціалістичної Праці.

Великою заслугою вченого є розробка та впровадження в селекційну практику методу отримання високоврожайних сортів озимої пшениці з підвищеною стійкістю до екстремальних умов. Створив і районував 20 сортів озимої пшениці, у тому числі відомий сорт «Миронівська-808». Автор понад 200 наукових праць, у тому числі 5 монографій.



**Симиренко Левко Платонович (1855–1920)**

Видатний український учений, який працював у галузі помології. Член-кореспондент Бельгійського товариства садівників, почесний член Французького національного помологічного товариства. Автор видання «Помологія» у трьох томах.

Акліматизував і вивів нові сорти плодових дерев. Автор відомого сорту яблуні «Ренет Симиренко». Створив один з найбільших у Європі помологічних розсадників, який включав 900 сортів яблунь, 889 сортів груш, 350 сортів вишні й черешні та інші види плодових дерев.

**Черненко Семен Федорович (1877–1974)**

Видатний український учений-селекціонер. Герой Соціалістичної праці. Автор близько 50 наукових статей і 2 книг. Вивів понад 60 сортів яблунь і 10 сортів груш.

Селекцією займався з 1902 року. Працював у Воздвиженському сільськогосподарському училищі. На території України вивів 16 сортів яблунь і 1 сорт груш. Потім працював в Інституті плодово-ягідних культур (місто Козлов, нині м. Мічуринськ).

**Шмальгаузен Іван Іванович (1884–1963)**

Один з найвидатніших учених ХХ століття, професор Петербурзького та Київського університетів. Написав понад 200 наукових праць з еволюційної морфології, ембріології, експериментальної біології, екології, генетики і теорії еволюції, займався розробкою математичних методів біологічних досліджень, теоретик еволюційного вчення. Праці І. І. Шмальгаузена увійшли до золотого фонду вітчизняної і світової науки.

**Юр'єв Василь Якович (1879–1962)**

Видатний український учений-селекціонер. Автор майже 100 наукових публікацій. Займався питаннями методики й організації селекції, сортовипробування і наслідництва сільськогосподарських культур. Вивів багато сортів озимої і ярої пшениці, проса, кукурудзи та інших культур.



# Зміст

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Знайомство з підручником..... | 3 |
|-------------------------------|---|

## Вступ

|                                                                 |   |
|-----------------------------------------------------------------|---|
| 1 Біологія як наука. Рівні організації біологічних систем ..... | 4 |
|-----------------------------------------------------------------|---|

## Тема 1. Хімічний склад клітини та біологічні молекули

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 2 Речовини живих організмів. Неорганічні сполуки..... | 8  |
| 3 Органічні молекули. Біополімери.....                | 12 |
| 4 Білки. Структурна організація білків.....           | 16 |
| 5 Функції білків. Ферменти .....                      | 20 |
| 6 Вуглеводи .....                                     | 24 |
| 7 Ліпіди .....                                        | 28 |
| 8 Нуклеїнові кислоти. АТФ.....                        | 32 |

## Тема 2. Структура клітини

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 9 Цитологія — наука про клітини.<br>Методи дослідження клітин..... | 40 |
| 10 Структура клітини. Клітинні мембрани.....                       | 44 |
| 11 Цитоплазма, цитоскелет та немембранні органели.....             | 48 |
| 12 Мембранні органели.....                                         | 52 |
| 13 Різноманітність клітин.....                                     | 56 |

## Тема 3. Принципи функціонування клітини

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 14 Обмін речовин та енергії.....                                                  | 62 |
| 15 Клітинне дихання.....                                                          | 66 |
| 16 Фотосинтез. Значення фотосинтезу й дихання .....                               | 68 |
| 17 Хемосинтез .....                                                               | 72 |
| 18 Синтетичні процеси у клітинах та організмах.<br>Порушення обміну речовин ..... | 74 |

## Тема 4. Збереження та реалізація спадкової інформації

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 19 Гени та геноми.....                  | 78 |
| 20 Будова генів про- та еукаріотів..... | 82 |

|    |                                                    |     |
|----|----------------------------------------------------|-----|
| 21 | Геноми. РНК. Реалізація спадкової інформації ..... | 84  |
| 22 | Реплікація, транскрипція та дозрівання РНК .....   | 88  |
| 23 | Трансляція.....                                    | 92  |
| 24 | Репарація ДНК.....                                 | 96  |
| 25 | Клітинний цикл. Мітоз .....                        | 98  |
| 26 | Мейоз. Статеві клітини та запліднення .....        | 102 |
| 27 | Закономірності індивідуального розвитку .....      | 106 |

### *Тема 5. Закономірності успадкування ознак*

|    |                                                                                  |     |
|----|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 28 | Генотип та фенотип. Алелі.<br>Методи генетичних досліджень .....                 | 110 |
| 29 | Закони Менделя .....                                                             | 114 |
| 30 | Ознака як результат взаємодії генів.....                                         | 120 |
| 31 | Зчеплене успадкування і кросинговер .....                                        | 124 |
| 32 | Генетика статі й успадкування, зчеплене зі статтю .....                          | 128 |
| 33 | Форми мінливості. Модифікаційна (фенотипова)<br>та комбінативна мінливість ..... | 132 |
| 34 | Мутації.....                                                                     | 136 |
| 35 | Спадкові захворювання людини.<br>Генетичне консультування.....                   | 140 |
| 36 | Методи генетичних досліджень.<br>Сучасні методи молекулярної генетики .....      | 144 |

### *Тема 6. Еволюція органічного світу*

|    |                                                                                                   |     |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 37 | Розвиток еволюційних поглядів. Докази еволюції .....                                              | 148 |
| 38 | Популяції живих організмів та їхні основні<br>характеристики. Популяція як одиниця еволюції ..... | 152 |
| 39 | Еволюційні фактори. Механізми первинних<br>еволюційних змін. Природний добір .....                | 154 |
| 40 | Вид. Критерії виду. Механізми видоутворення.....                                                  | 158 |
| 41 | Адаптації — результат еволюційного процесу.<br>Основні положення сучасної теорії еволюції .....   | 160 |
| 42 | Еволюція людини. Етапи еволюції людини.....                                                       | 164 |
| 43 | Світоглядні та наукові погляди на походження життя .....                                          | 168 |

## *Тема 7. Біорізноманіття*

|    |                                                                       |     |
|----|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 44 | Основи еволюційної філогенії та систематики .....                     | 174 |
| 45 | Основні групи організмів:<br>віруси, бактерії, археї, еукаріоти ..... | 176 |
| 46 | Огляд основних еукаріотичних таксонів .....                           | 178 |

## *Тема 8. Надорганізмові біологічні системи*

|    |                                                                            |     |
|----|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 47 | Екосистема. Різноманітність природних екосистем .....                      | 182 |
| 48 | Харчові зв'язки, потоки енергії<br>та колообіг речовин в екосистемах ..... | 186 |
| 49 | Біотичні, абіотичні та антропогенні фактори .....                          | 190 |
| 50 | Стабільність екосистем та причини її порушення .....                       | 192 |
| 51 | Біосфера як цілісна система .....                                          | 196 |
| 52 | Захист та збереження біосфери .....                                        | 198 |

## *Тема 9. Біологія як основа біотехнології та медицини*

|    |                                                                         |     |
|----|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 53 | Одомашнення рослин та тварин .....                                      | 202 |
| 54 | Поняття про селекцію .....                                              | 206 |
| 55 | Традиційні та сучасні біотехнології .....                               | 208 |
| 56 | Генетично модифіковані організми .....                                  | 212 |
| 57 | Роль генетичної інженерії в сучасних<br>біотехнологіях і медицині ..... | 214 |

## *Узагальнення*

|    |                                                 |     |
|----|-------------------------------------------------|-----|
| 58 | Основні загальні властивості живих систем ..... | 220 |
|----|-------------------------------------------------|-----|

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| Практикум .....             | 222 |
| Словник .....               | 231 |
| Учені-біологи України ..... | 234 |

## Відомості про користування підручником

| №<br>з/п | Прізвище та ім'я<br>учня / учениці | Навчаль-<br>ний рік | Стан підручника    |                 |
|----------|------------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------|
|          |                                    |                     | на початку<br>року | в кінці<br>року |
| 1        |                                    |                     |                    |                 |
| 2        |                                    |                     |                    |                 |
| 3        |                                    |                     |                    |                 |
| 4        |                                    |                     |                    |                 |
| 5        |                                    |                     |                    |                 |

### Навчальне видання

*ЗАДОРЖНИЙ Костянтин Миколайович*

### «БІОЛОГІЯ»

**підручник для 9 класу загальноосвітніх навчальних закладів**

**Рекомендовано Міністерством освіти і науки України**

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Редактор *І. Г. Шахова*. Технічний редактор *А. В. Плisko*.  
Комп'ютерна верстка *А. О. Цибань*. Коректор *Н. В. Красна*.  
Художник *О. С. Юхтман*. Художнє оформлення *В. І. Труфен*.

В оформленні підручника використані зображення,  
розміщені в мережі Інтернет для вільного використання

Підписано до друку 30.06.2017. Формат 70×90/16.

Папір офсетний. Гарнітура Шкільна. Друк офсетний.

Ум. друк. арк. 17,55. Обл.-вид. арк. 22,82. Тираж 85478. прим. Зам. № 54-07.

ТОВ Видавництво «Ранок»,

вул. Кібальчича, 27, к. 135, Харків, 61071.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5215 від 22.09.2016.

Адреса редакції: вул. Космічна, 21а, Харків, 61145.

E-mail: office@ranok.com.ua. Тел. (057) 701-11-22, тел./факс (057) 719-58-67.

Надруковано у друкарні ТОВ «ТРИАДА-ПАК»,

пров. Сімферопольський, 6, Харків, 61052.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5340 від 15.05.2017.

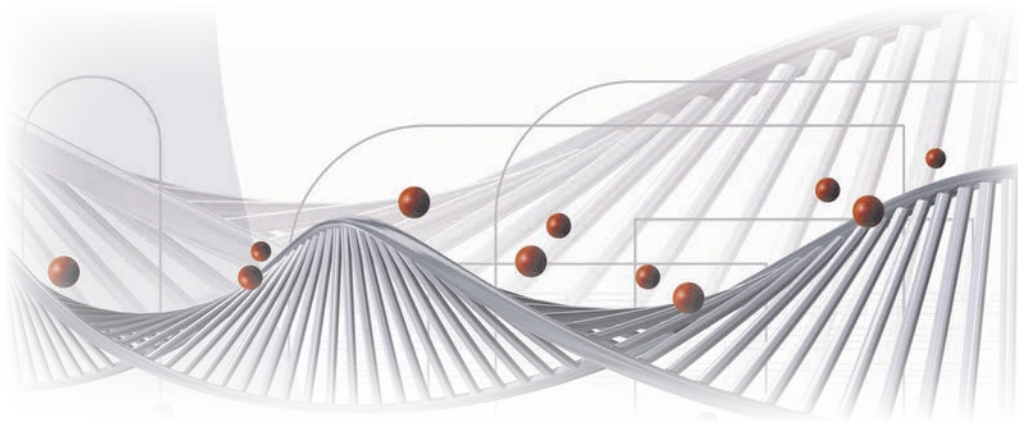
Тел. +38 (057) 703-12-21. E-mail: sale@triada.kharkov.ua

## Генетичний код

|              |   | Друга основа |            |              |              |   |              |
|--------------|---|--------------|------------|--------------|--------------|---|--------------|
|              |   | У            | Ц          | А            | Г            |   |              |
| Перша основа | У | УУУ<br>Фен   | УЦУ        | УАУ<br>Тир   | УГУ<br>Цис   | У | Третя основа |
|              |   | УУЦ          | УЦЦ<br>Сер | УАЦ          | УГЦ          | Ц |              |
|              |   | УУА<br>Лей   | УЦА        | УАА<br>Стоп* | УГА<br>Стоп* | А |              |
|              |   | УУГ          | УЦГ        | УАГ<br>Стоп* | УГГ<br>Три   | Г |              |
|              | Ц | ЦУУ          | ЦЦУ        | ЦАУ<br>Гіс   | ЦГУ          | У |              |
|              |   | ЦУЦ<br>Лей   | ЦЦЦ<br>Про | ЦАЦ          | ЦГЦ<br>Арг   | Ц |              |
|              |   | ЦУА          | ЦЦА        | ЦАА<br>Глн   | ЦГА          | А |              |
|              |   | ЦУГ          | ЦЦГ        | ЦАГ          | ЦГГ          | Г |              |
|              | А | АУУ          | АЦУ        | ААУ<br>Асн   | АГУ<br>Сер   | У |              |
|              |   | АУЦ<br>Іле   | АЦЦ<br>Тре | ААЦ          | АГЦ          | Ц |              |
|              |   | АУА          | АЦА        | ААА<br>Ліз   | АГА<br>Арг   | А |              |
|              |   | АУГ<br>Мет   | АЦГ        | ААГ          | АГГ          | Г |              |
|              | Г | ГУУ          | ГЦУ        | ГАУ<br>Асп   | ГГУ          | У |              |
|              |   | ГУЦ<br>Вал   | ГЦЦ<br>Ала | ГАЦ          | ГГЦ<br>Глі   | Ц |              |
|              |   | ГУА          | ГЦА        | ГАА<br>Глу   | ГГА          | А |              |
|              |   | ГУГ          | ГЦГ        | ГАГ          | ГГГ          | Г |              |

## Основні властивості генетичного коду

- 1) Кожна амінокислота кодується послідовністю з трьох нуклеотидів, яка називається *триплетом*, або *кодоном*.
- 2) У всіх організмах одні й ті самі амінокислоти кодуються одними й тими ж кодонами, тобто код *універсальний*.
- 3) Код є *виродженим* — одна амінокислота кодується більш ніж одним триплетом (виняток — метіонін і триптофан).
- 4) Код *однозначний* — кожний кодон (триплет) кодує тільки одну амінокислоту.
- 5) Код *не перекривається*: кодони зчитуються один за одним. Наприклад, за послідовністю АУГГЦАЦГА зчитування відбувається тільки в такий спосіб: АУГ/ГЦА/ЦГА. Зчитування АУГ/УГГ/ГГЦ або АУГ/ГГЦ /ЦАЦ неможливе.



### ОСОБЛИВОСТІ ПІДРУЧНИКА:

- розміщення параграфів на одному-двох розворотах
- подання матеріалу невеликими блоками для полегшення його сприйняття
- завдання для узагальнення знань у кінці кожної теми
- компетентісно орієнтовані завдання
- алгоритми виконання усіх лабораторних досліджень, лабораторних та практичних робіт
- українознавчий матеріал

### ІНТЕРНЕТ-ПІДТРИМКА ДОЗВОЛИТЬ:

- здійснити онлайн-тестування за кожною темою
- переглянути цікаві відеоролики за темами
- дізнатися більше з додаткових матеріалів до параграфів

ВИДАВНИЦТВО  
**РАНОК**



ISBN 978-617-09-3361-4



9 786170 933614



**Інтернет-підтримка**  
[interactive.ranok.com.ua](http://interactive.ranok.com.ua)

