К. М. Задорожний

Біологія і екологія

10 Рівень стандарту

Підручник для 10 класу
закладів загальної середньої освіти

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України

Харків
Видавництво «Ранок»
2018

УДК [57/502:37.016](075.3)
З-15

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України від 11.10.2018 № 1085)

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Задорожний К. М.

З-15 Біологія і екологія (рівень стандарту) : підруч. для 10 кл. закл. загал. серед. освіти / К. М. Задорожний. — Харків : Вид-во «Ранок», 2018. — 208 с.: іл.

ISBN 978-617-09-4541-9

УДК [57/502:37.016](075.3)

Інтернет-підтримка
Електронні матеріали
до підручника розміщено на сайті
interactive.ranok.com.ua

© К. М. Задорожний, 2018
© Д. В. Леонтьєв, іл., 2018
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2018

ISBN 978-617-09-4541-9

Знайомство з підручником

Шановні десятикласники, цього року ви вивчатимете такі теми біології: «Біорізноманіття», «Обмін речовин і перетворення енергії», «Спадковість і мінливість», «Репродукція та розвиток».

Цей підручник містить увесь необхідний матеріал, який ви будете вивчати протягом року.

Підручник містить 52 параграфи

- Схеми й малюнки унаочнять матеріал
- Цікавий додатковий матеріал. Запам'ятовувати не потрібно
- Запитання на початку параграфа підкажуть, що необхідно повторити
- Запитання цієї рубрики наголошують на основному у параграфі. Давши відповіді на них, ви самі підсумуєте вивчене
- А ці запитання пов'язані з життям

А також:

- узагальнюючі розвороти в кінці тем;
- енциклопедичні розвороти («Формування біорізноманіття в процесі еволюції», «Біологічна роль органічних речовин», «Українська наука»);
- додатки в кінці посібника (практикум, відомості про вчених-біологів, алфавітний покажчик).

Як працювати з електронним додатком

На сторінках підручника ви знайдете посилання на сторінку Інтернету **interactive.ranok.com.ua**, де розміщено додаткову інформацію до параграфів та тестові завдання для контролю знань за вивченими темами.

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!

Вступ

1 Фундаментальні властивості живого

Що таке біологічна система? Які характерні особливості живих організмів ви знаєте? Що вивчає наука біологія? Що вивчає наука екологія? Як пов'язані між собою біологія та екологія?

Біологія та екологія як наука

Термін «біологія» в його сучасному значенні запропонував французький учений Жан Батист Ламарк 1802 року. **Біологія** (від давньогрец. *bios* — «життя», *logos* — «учення») — це наука про життя. Об'єктом вивчення біології є всі живі організми та різноманітні аспекти їхньої життєдіяльності.

Термін «екологія» запропонував німецький учений Е. Геккель 1866 року. **Екологія** вивчає взаємозв'язки між рослинними та тваринними угрупованнями. Сучасна екологія вивчає також взаємодію людини та біосфери, суспільного виробництва та навколишнього середовища тощо.

Біологічні та екологічні системи

Система — це ціле, що складається зі взаємопов'язаних частин (елементів). **Біологічними системами** називають системи, до складу яких входять живі організми. Властивості системи не зводяться до суми властивостей її складових. Сукупність складових, які утворюють систему, має властивості, не притаманні жодному з її окремих елементів. Наприклад, такі живі системи, як клітини, є живими лише як результат взаємодії їхніх складових (органел, цитоплазми, мембран). А кожний з цих елементів, виділений окремо, живим бути не може.

Екосистема — це сукупність живих організмів, які мешкають у певному середовищі існування й утворюють з ним єдине ціле.

Будь-яка екосистема має два головних компоненти — біотичний і абіотичний. *Біотичний* компонент екосистеми — це всі живі організми, які входять до її складу (тварини, рослини, бактерії тощо). *Абіотичний* — це компоненти неживої природи (каміння, вода, повітря тощо). Біотичний компонент екосистеми називають **біоценозом**.

Живе та неживе. У чому різниця?

Живі організми відрізняє від неживих об'єктів ціла низка особливостей. Найбільш фундаментальними з них учені вважають здатність до самовідтворення, самооновлення і саморегуляції.

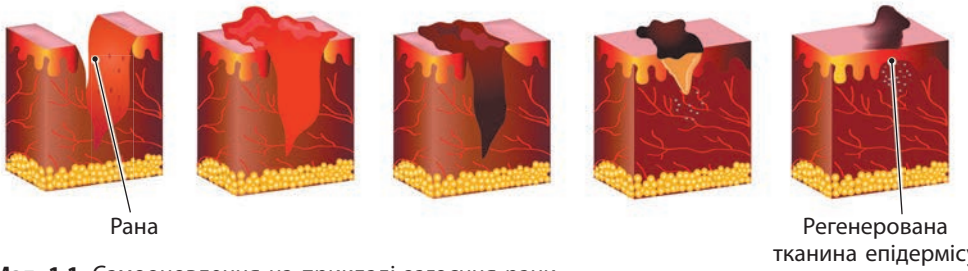
Самовідтворення — це здатність до утворення подібного до себе. У живих організмів здатність до самовідтворення проявляється у формі статевого або нестатевого розмноження.

Самооновлення — це здатність утворювати нові складові системи замість старих. У випадку пошкодження чи поганої роботи клітина може замінювати свої органели, а багатоклітинні організми — окремі клітини, інколи цілі групи клітин або навіть окремі органи. З підвищенням складності будови організмів ця здатність зазвичай зменшується (мал. 1.1).

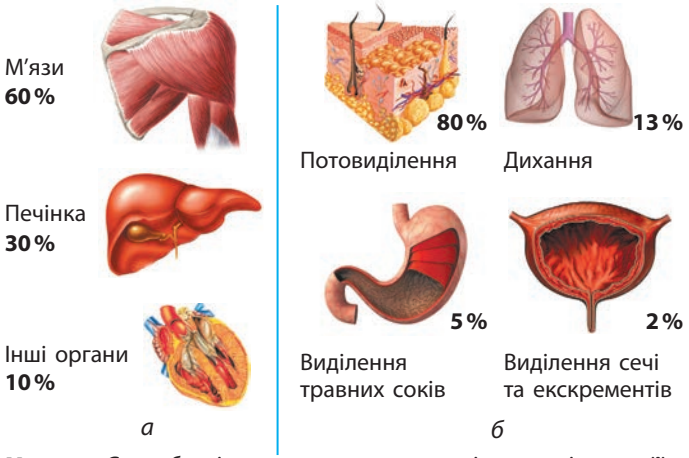
Саморегуляція — це здатність системи встановлювати й підтримувати свої основні показники на відносно постійному рівні. У біологічних системах такими показниками є, наприклад, концентрація деяких йонів у клітинах (K, Ca, Mg тощо), *pH* внутрішнього середовища, вміст кисню та вуглекислого газу в клітинах, температура тіла (мал. 1.2, с. 6) або кількість світла, яка проходить через зіницю ока (мал. 1.3, с. 6), тощо.

Рівні організації живого

Дуже важливою особливістю живих об'єктів є те, що будь-який з них має кілька рівнів організації. Кожний рівень є системою з певним набором елементів і з різним рівнем складності. Окремі рівні



Мал. 1.1. Самооновлення на прикладі загоєння рани



Мал. 1.2. Способи підтримки температури тіла ссавців: *а* — її підвищення за рахунок роботи різних органів, *б* — її зниження

Мал. 1.3. Зміна розміру зіниці ока за різної освітленості

є складовими частинами наступних рівнів і, у свою чергу, включають до свого складу попередні рівні.

Рівні організації живого

Рівень	Біологічна система	Що об'єднує система
Біосферний	Біосфера	Усі екосистеми нашої планети
Екосистемний	Екосистема	Популяції різних видів (до його складу входять абіотичні компоненти)
Популяційно-видовий	Популяція	Особини одного виду
Організмовий	Особина	Структури тканинно-органного рівня
Тканинно-органний	Тканина	Клітини
Клітинний	Клітина	Біологічні молекули
Молекулярний	Молекула	Атоми біогенних хімічних елементів

Слід відмітити, що не всі біологічні системи мають у своєму складі всі рівні організації. Так, у популяціях одноклітинних організмів відсутній тканинно-органний рівень. А клітинний і організмовий рівні є для них тотожними.

Застосування біологічних знань

Біологія є наукою, яка стрімко розвивається. Кожного року вчені отримують нові знання про живі організми, їхню життєдіяльність,

Промисловість (легка, харчова, будівельна, гірнича)

Медицина та виробництво ліків

Сільське господарство

Прогнозування кліматичних та геологічних процесів

Попередження екологічних катастроф

Природоохоронні заходи, раціональне використання природних ресурсів

Рис. 1.4. Галузі застосування біологічних знань

взаємодію між собою і з навколишнім середовищем та використовують їх у різних галузях своєї життєдіяльності (мал. 1.4).

Отже, тепер ви знаєте

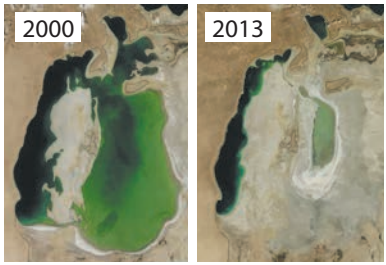
1. Які є фундаментальні властивості живого? 2. Що таке самоорганізація, саморегуляція і самовідтворення, для чого вони потрібні живим системам? 3. Які існують рівні організації живого? 4. Чому живим системам необхідно підтримувати свої основні показники на постійному рівні? 5*. Поясніть на прикладах, як людина застосовує знання з біології в кожній з галузей своєї діяльності (мал. 1.4).

Запитання та завдання

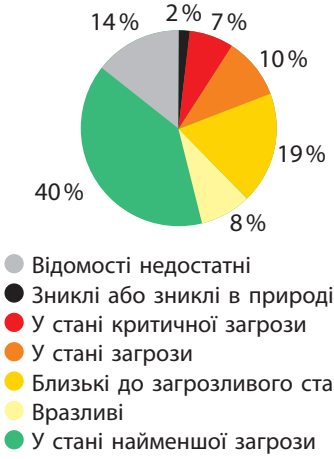
6. На прикладі будь-якого ссавця покажіть, як живі організми здійснюють саморегуляцію. 7. Розгляньте особливості рівнів організації живого на прикладі інфузорій та грибів. 8*. Відомо, що кристали у насичених розчинах можуть рости в розмірах, зберігаючи сталу внутрішню структуру. Чи можна це розглядати як прояв здатності до самоорганізації, саморегуляції та самовідтворення для неживих систем?

2 Стратегія сталого розвитку природи і суспільства

Що вивчає наука екологія? Які види взаємодії живих організмів вам відомі? Що таке екосистема? Як фактори неживої природи можуть впливати на живі організми? Чи може людина впливати на стан екосистем?



Мал. 2.1. Висихання Аральського моря внаслідок негативного впливу людини на природу



Мал. 2.2. Рівень небезпеки вимирання організмів у наші часи

Взаємодія людини і природи

Людина як біологічний вид взаємодіяла з природою протягом усього часу свого існування. Вона жила у природному середовищі, полювала на тварин і розпалювала вогнища, орала землю і будувала млини, але її втручання у природу не завдавало великої шкоди останній. Тому система *людина — природа* могла довго існувати без особливих проблем.

Якщо ж рівновага у цій системі порушувалася і людина починала руйнувати існуючі екосистеми, то це закінчувалося екологічними катастрофами. І чим більш розвиненим було людське суспільство, тим більш тяжкими були наслідки порушення рівноваги у взаємодії з природою (мал. 2.1, 2.2).

Запобігти порушенню рівноваги у взаємодії суспільства і природи важко. Ми не можемо не впливати на живі системи, бо людство постійно розвивається. Ми не можемо зупинити промисловість або припинити вирощування сільськогосподарських культур, бо це може поставити під загрозу існування людства. Але ми можемо скорегувати наш вплив таким чином, щоб він не спричинював руйнування існуючих екосистем і не призводив до криз і катастрофічних змін у біосфері. Саме для цього і було сформовано так звану *концепцію сталого розвитку*.

Концепція сталого розвитку суспільства

Сталий розвиток — це розвиток людства, який відбувається з урахуванням великої кількості факторів, що впливають як на суспільство, так і на природу. Використання сучасних інформаційних технологій та моделювання процесів дозволяє достатньо точно передбачати наслідки прийнятих рішень. Це робить такий розвиток керованим, дозволяє ефективно планувати діяльність людства.

Концепцію сталого розвитку було сформульовано в рішеннях Конференції ООН з навколишнього середовища та розвитку (Ріо-де-Жанейро, 1992 р.). На цій конференції голови 179 держав ухвалили план дій щодо сталого розвитку, що отримав назву «Порядок денний на XXI століття».

Його було прийнято у зв'язку зі стрімким погіршенням екологічної ситуації і прогнозом про можливу глобальну катастрофу у XXI ст., яка може призвести до загибелі всього живого на планеті. Людство зіткнулося з гострим протиріччям між зростаючими потребами людей і нездатністю біосфери забезпечити їх. Концепція сталого розвитку передбачає позитивний синтез і системне вирішення екологічних, економічних, соціальних і культурних проблем сучасності (мал. 2.3).

Основною ідеєю концепції стало те, що розвиток повинен задовольняти потреби нинішнього покоління без шкоди для майбутніх поколінь. Так, наприклад, зростання виробництва зерна не повинно супроводжуватися погіршенням якості ґрунтів; будівництво доріг і будівель повинно супроводжуватися створенням зелених насаджень тощо.

Мал. 2.3. Складові сталого розвитку

Екологічні проблеми України

В Україні порушення рівноваги у взаємодії людини і природи стало причиною багатьох проблем. У різних регіонах вони свої. Так, проблеми знищення степів найбільш актуальні для південних регіонів, наслідки чорнобильської катастрофи — для північних. Небезпечні геологічні процеси (наприклад, просідання поверхні ґрунту, зсуви тощо) відбуваються там, де проводився видобуток корисних копалин або порушувалися правила забудови. А військові дії на сході стали причиною руйнування екосистеми саме в цьому регіоні.

Проблемами всієї України можна назвати забруднення водойм і ґрунтів, деградацію ґрунтів і знищення лісів. Проблема утилізації побутових відходів також є актуальною для будь-якого населеного пункту України (мал. 2.4). А забруднення повітря, наприклад, є актуальним для всієї України, але ступінь цього забруднення дуже відмінний у різних регіонах (мал. 2.5).

Забруднення водойм

Забруднення повітря

Забруднення ґрунтів

Деградація ґрунтів

Побутові відходи

Основні екологічні проблеми України

Наслідки військових дій

Небезпечні геологічні процеси

Наслідки чорнобильської катастрофи

Знищення лісів

Знищення степів

Мал. 2.4. Основні екологічні проблеми України

Мал. 2.5. Забруднення повітря в різних регіонах України

Отже, тепер ви знаєте

1. Якими можуть бути наслідки взаємодії природи і суспільства? 2. Чи можемо ми не впливати на живі системи? 3. Що таке концепція сталого розвитку суспільства і для чого вона потрібна? 4. Які проблеми виникли в Україні в результаті взаємодії суспільства і природи? 5*. Як ви вважаєте, у чому різниця між термінами щодо організмів «зниклі» та «зниклі в природі» (мал. 2.2)?

Запитання та завдання

6. Складіть список того, що ви можете робити кожного дня задля збереження екології вашого регіону. 7*. У матеріалах параграфа показано, що діяльність людини може призводити до виникнення екологічних проблем і катастроф. А чи може призводити до таких наслідків діяльність інших видів живих організмів? Наведіть приклади. 8*. Складіть список того, які проблеми вашого регіону ви бачите, та запропонуйте шляхи їх вирішення.

Тема 1

Біорізноманіття

3 Систематика — наука про різноманітність організмів

Що таке спадковість і мінливість організмів? Що таке вид? З якими групами живих організмів ви познайомилися в попередніх класах? Що таке еволюція організмів?

Біорізноманіття нашої планети як наслідок еволюції

Одними з основних властивостей живих організмів є здатність до розмноження і мінливості. Перші клітини, які з'явилися на нашій планеті понад 3,5 млрд років тому, теж їх мали. Вони існували в певних умовах, які були для них оптимальними. Але їх постійне розмноження і поширення ставали причинами того, що частина їхніх нащадків потрапляла в нові для них умови, менш оптимальні. Та й на старому місці їхнього існування умови могли з часом змінюватися.

Здатність живих організмів до змін сприяла появі серед їхніх нащадків окремих форм, для яких нові умови були вже комфортними. І вони починали цілком успішно розмножуватися. Процес повторювався неодноразово. Триває він і зараз. Ми називаємо його **еволюцією** живих організмів.

Результатом еволюції стала поява великої кількості нових форм живих організмів. Адже на нашій планеті багато місць з різноманітними умовами існування, які з плином часу можуть змінюватися. Континенти рухаються, клімат стає більш жарким, а потім — прохолоднішим. І самі живі організми теж суттєво впливають на своїх сусідів по планеті.

Станом на 2011 рік було описано понад 1,2 млн видів сучасних живих організмів. А число вимерлих, за деякими підрахунками, може сягати 500 млн. Для того щоб розібратися в цьому різноманітті, було створено окрему галузь біології — **біологічну систематику**.

Приблизна кількість видів деяких груп організмів

Група	Кількість описаних видів	Кількість неописаних видів (прогноз)
Багатоклітинні тварини	953 605	9 920 000
Хромісти (бурі, діатомові та інші водорості, несправжні гриби тощо)	17 892	34 900
Справжні гриби	43 272	616 320
Вищі рослини	224 244	314 600
Археї	503	456
Бактерії	11 010	11 000
Усього	1 266 762	10 897 276

Різноманітність живих організмів України

На території України теж живе багато видів живих організмів. *Фауна* (сукупність тварин) України нараховує понад 46 000 видів. Більше всього серед них комах — 35 000, інших членистоногих — понад 3500 видів, риб — понад 200, амфібій — 20, рептилій — 23, птахів — 424, ссавців — 132.

Флора (сукупність рослин) України теж є багатою і нараховує понад 27 000 видів. Щоправда, понад 15 000 з них — це гриби та грибоподібні організми, які до рослин, згідно із сучасною систематикою, не належать. Але назва «флора» також традиційно використовується і для цих груп організмів.

Розділи систематики: таксономія та номенклатура

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 (правилами біологічної номенклатури). Сучасну систему рівнів класифікації запропонував Карл Лінней (мал. 3.1).

Біологічна систематика поділяється на два основні розділи: таксономію та біологічну номенклатуру.

Мал. 3.1. Карл Лінней (1707–1778) — шведський природознавець та лікар

Таксономія займається розробкою правил групування живих організмів. Це дуже складна проблема, бо часто не зовсім зрозуміло, на основі яких ознак слід об'єднувати організми у групи. Так, у давнину китів відносили до риб через те, що вони живуть у воді. Але аналіз внутрішньої будови цих тварин засвідчив їхню належність до ссавців.

Біологічна номенклатура розробляє правила найменування живих організмів, створює спеціальні міжнародні кодекси, які регулюють спірні питання. Також вона вирішує проблеми синонімів (коли один вид випадково отримує кілька назв) та інші важливі проблеми.

Принципи наукової класифікації організмів

Сучасна систематика ґрунтується на таких основних принципах:

• система повинна відображати еволюційні зв'язки між живими організмами та вказувати на рівень їхньої спорідненості;

• вона має бути зручною для використання і дозволяти легко додавати нові, нещодавно відкриті види;

• основною систематичною категорією є вид, споріднені види об'єднуються в більш високі таксономічні одиниці — роди, роди — у родини, а останні — іще в більші групи (мал. 3.2);

• організми, що входять до одного таксона, мають походити від одного спільного предка.

Тварини

Усі інші організми

Мал. 3.2. Систематичні категорії тварин та інших організмів

Монофілетичні та поліфілетичні групи організмів

За походженням систематичні групи живих організмів поділяють на монофілетичні й поліфілетичні (від грец. *mono* — один, *poli* — багато). **Монофілетичні** таксони об'єднують усіх нащадків одного предка, а **поліфілетичні** — різних довільно обраних нащадків декількох предків. Так, клас Однодольні є монофілетичним таксоном, а традиційне царство Рослини — поліфілетичним, оскільки об'єднує декілька неспоріднених груп (наприклад, різноманітні водорості, вищі рослини).

У сучасній систематиці поліфілетичні таксони вважаються неприйнятними. Якщо вдається довести, що група є поліфілетичною, систематики її ліквідують або ж змінюють її межі, щоб виключити з неї неспоріднені види. Так, у минулому було ліквідовано такі групи, як Безхребетні й Таємношлюбні, а в останні роки значні зміни торкнулися меж царств Рослини, Тварини та Гриби.

Раніше в класі Ссавці виділяли окремі ряди Парнокопитні й Китоподібні. Але виявилося, що ці дві групи мають спільне походження. Останній спільний предок цих груп дав початок двом лініям, одна з яких стала предками свиней, а друга розділилася на лінії жуйних парнокопитних і китів разом з бегемотами. Таким чином, згідно з правилами систематики, ці два ряди тепер об'єднують в один ряд — Китопарнокопитні.

Отже, тепер ви знаєте

1. Що є результатом еволюції? 2. Якими є основні причини появи нових видів організмів? 3. Скільки видів організмів налічують фауна і флора України? 4. Що таке біологічна систематика, таксономія, біологічна номенклатура та яке їхнє основне призначення? 5. Назвіть основні систематичні категорії тварин та інших живих організмів. 6. Що таке монофілетичні та поліфілетичні групи організмів? 7*. Чому найбільшу кількість видів серед усіх живих організмів мають комахи?

Запитання та завдання

8*. Тривалий час гібонів, орангутанів, горил і шимпанзе об'єднували в родину Людиноподібні мавпи. У той же час людей та їхніх вимерлих родичів і предків виокремлювали в окрему родину Люди. Згідно з принципами сучасної систематики, орангутанів, горил, шимпанзе і людей об'єднують в одну родину, а гібонів — у іншу. Поясніть, чому могли відбутися такі зміни у систематиці.

4 Концепції виду. Критерії виду

Що таке вид? Які критерії виду ви знаєте? Які існують способи видоутворення? Що таке статевий диморфізм? Які групи організмів називають монофілетичними? поліфілетичними?

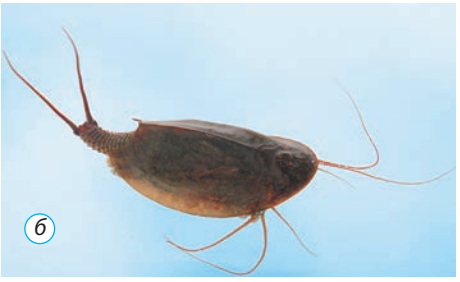
Сучасні концепції біологічного виду

Складність поділу живих істот на види полягає ще й у тому, що саме́ визначення поняття «вид» є доволі складним. І залежить воно від того, яка з концепцій виду використовується в певному випадку.

Деякі поширені концепції виду

Назва концепції	Визначення виду	Особливості концепції
Типологічна	Це група особин, які є ідентичними до особини-еталону за певними ознаками	Усі особини виду порівнюються з еталонним зразком. Ця концепція дуже незручна для видів, особини яких можуть сильно відрізнятися за зовнішніми ознаками, наприклад собака домашній, кінь (мал. 4.1)
Номіналістична	Це група особин, яка визнається формальною класифікацією і становить певний етап розвитку певної еволюційної лінії	Існують тільки особини, а види — це чисто теоретичне поняття, бо живі організми в природі постійно змінюються. В її межах, наприклад, важко пояснити дуже тривале існування гінкго або щитнів (мал. 4.2)
Біологічна	Це група особин, що здатна схрещуватися і давати плідне потомство	Концепція добре підходить для опису багатоклітинних організмів зі статевим розмноженням, але зазнає труднощів під час опису організмів, які не розмножуються статевим шляхом, наприклад бактерій
Філогенетична (найбільш поширена в наш час)	Це найменша монофілетична група, яка заслуговує на формальне визнання	Ця концепція визначає вид виходячи з його монофілетичного походження (від однієї популяції або навіть окремої особини). Не є вдалою для визначення видів, які виникли шляхом схрещування або симбіогенезу

Мал. 4.1. Приклади видів, особини яких значно відрізняються одна від одної за зовнішнім виглядом



Мал. 4.2. Гінкго дволопатеве (*а*) і щитень літній (*б*) — види-довгожителі, існують понад 100 млн років

Критерії виду

У природі трапляються види-двійники, які дуже подібні між собою за зовнішніми ознаками. Тому, щоб не помилитися, для визначення виду використовують не якусь одну ознаку, а цілий комплекс критеріїв виду (с. 18–19).

Отже, тепер ви знаєте

1. Які існують концепції виду? 2. Для яких видів буде важко застосувати філогенетичну концепцію виду? 3. Які існують критерії виду? 4*. Назвіть переваги й недоліки основних концепцій виду.

Запитання та завдання

5. На конкретному прикладі поясніть, як за допомогою біохімічного критерію розрізнити два види. 6*. Серед комарів існують види-двійники, деякі з яких можуть переносити малярію, а деякі — ні. За зовнішньою будовою вони не різняться. Запропонуйте спосіб (або способи), за допомогою якого (або яких) ці види можна розрізнити.

Критерії виду

Морфологічний: схожість зовнішньої і внутрішньої будови організмів одного виду та її відмінність у різних видів

Морфологічні відмінності мушлів молюсків роду ставковик

Генетичний: кількість і структура хромосом виду, тобто його каріотип (кожний вид має чітко визначений набір хромосом)

Полівка звичайна

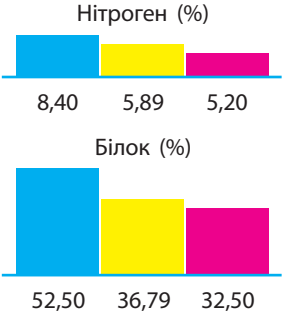
Полівка закаспійська

Полівка східно-європейська

Полівка киргизька

Репродуктивний: схожість процесів життєдіяльності й можливість схрещування

Біохімічний: можливість розрізняти види за біохімічними параметрами (будовою білків і нуклеїнових кислот)



Вміст Нітрогену й білка в насінні трьох видів люпину

Географічний: зона поширення виду (ареал). Існують види з розірваним і дуже великим ареалами поширення

Ареал сірої ворони

Ареал чорної ворони

Екологічний: умови існування виду, його місце в біоценозі, взаємовідносини з іншими видами

Жовтець кашубський

Листяні та змішані ліси

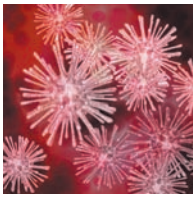
Жовтець язиколистий

Болота, береги озер та рік

Жовтець їдкий

Луги та поля

5 Неклітинні форми життя



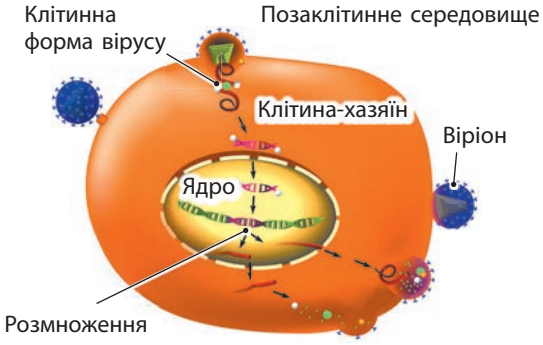
Які існують типи клітин? Які функції в клітині виконують ДНК, РНК, АТФ? Навіщо клітинам потрібні білки? Як у клітинах синтезуються білки та нуклеїнові кислоти? Що таке ферменти і для чого вони потрібні?

Що таке віруси?

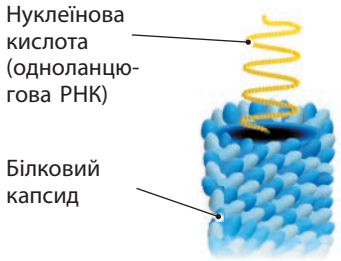
Віруси — це біологічні системи, що не мають клітинної будови. Отже, клітин вони не мають.

Віруси існують у двох формах: позаклітинній і клітинній. У позаклітинній формі віруси перебувають у вигляді **віріонів** — частинок, що мають постійну форму і достатньо просту будову. У цій формі вони не можуть здійснювати процеси самовідтворення та обміну речовин. Основне завдання цієї форми вірусу — знайти нову клітину-хазяїна та проникнути в неї.

У клітинній формі існування віруси здійснюють процес самовідтворення, використовуючи ресурси й компоненти клітини-хазяїна. Наприкінці періоду існування цієї форми в клітині накопичується велика кількість нових віріонів, які виходять у зовнішнє середовище і починають пошук інших клітин (мал. 5.1).



Мал. 5.1. Різні форми існування вірусів на прикладі вірусу ВІЛ



Мал. 5.2. Будова віріона простого вірусу на прикладі вірусу тютюнової мозаїки

Розмножуватися віруси можуть тільки в живих клітинах, бо для синтезу речовин, з яких вони складаються, потрібні рибосоми, тРНК, молекули АТФ, ферменти та інші компоненти клітинних структур, які відповідають за синтез органічних речовин і яких самі віруси не мають. Тому всі віруси без винятку є внутрішньоклітинними паразитами. Самостійно здійснювати процеси самовідтворення вони не здатні.

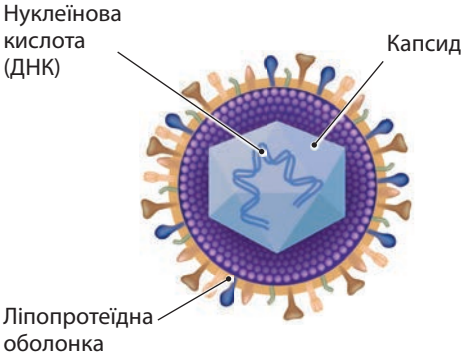
Будова вірусів

Віруси бувають простими і складними. **Прості** віруси містять тільки нуклеїнову кислоту і білкову оболонку (капсид), яка цю кислоту оточує (мал. 5.2).

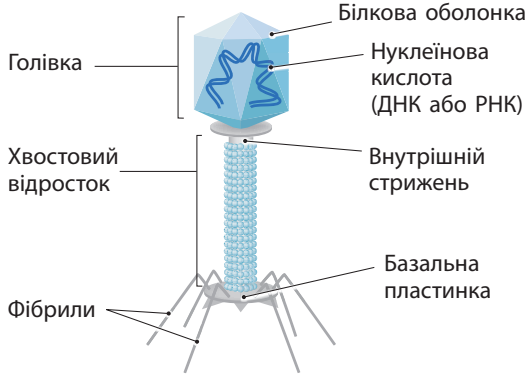
Віріони **складних** вірусів відрізняються від простих наявністю ліпопротеїдної оболонки, дуже схожої на мембрани клітин (мал. 5.3). Це не дивно, бо ця оболонка утворюється з ділянки клітинної мембрани тієї клітини, у якій він розмножився. До її складу входять також специфічні білки самого вірусу, які виконують переважно рецепторну функцію (розпізнають клітину для ураження).

Під ліпопротеїдною оболонкою віріона складного вірусу міститься капсид — оболонка, яка складається з білків. Усередині капсиду розташована нуклеїнова кислота, яка містить спадкову інформацію. Крім того, там можуть розміщуватися ферменти, які допомагають вірусу в захопленні клітини-хазяїна.

Нуклеїнові кислоти всередині капсиду можуть бути тільки одного типу — або РНК, або ДНК. Віруси, відповідно, поділяють на дві великі групи — **РНК-віруси** і **ДНК-віруси**.

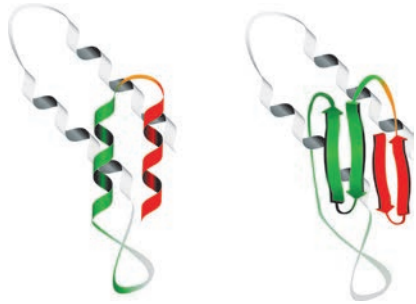


Мал. 5.3. Будова віріона складного вірусу на прикладі вірусу герпесу



Мал. 5.4. Будова віріона вірусу бактеріофаг

Мал. 5.5. Веретеноподібність — захворювання бульб картоплі, збудником якого є віроїд PSTVd



Нормальний пріон Видозмінений пріон

Мал. 5.6. Нормальна й аномальна форми пріонного білка

Складну будову мають також віруси бактеріофаги (мал. 5.4). Вони паразитують у клітинах бактерій. Специфічна будова допомагає бактеріофагу надійно прикріплюватися до бактерії та вводити в неї свою нуклеїнову кислоту.

Інші неклітинні форми життя

Крім вірусів до неклітинних форм життя належать ще віроїди і пріони. Як було вказано вище, віруси мають у своєму складі як мінімум нуклеїнову кислоту і білки. У віроїдів і пріонів є тільки один із цих двох компонентів — або нуклеїнова кислота, або білок.

Віроїди є кільцевими молекулами РНК і ніяких білків не містять. Вони розміщуються в ядрах або хлоропластах клітин рослин і використовують їхні ферментні системи для власного розмноження. Віроїди можуть бути збудниками деяких захворювань рослин (мал. 5.5).

Пріони є білками і не містять нуклеїнової кислоти. Вони синтезуються як звичайні білки і в нормі виконують у клітинах важливі функції. Так, нормальна форма пріонного білка людини бере участь у функціонуванні мембран нервових клітин.

Інколи пріони можуть змінювати свою структуру (у першу чергу вторинну). Укладений по-іншому білковий ланцюг стає дуже стійким до будь-яких впливів, що порушують його структуру. У видозміненому стані він перестає виконувати свої звичні функції в клітині. А під час «зустрічі» з таким самим нормальним білком ініціює його перетворення на пріонну форму (мал. 5.6). Унаслідок дії пріонів виникають небезпечні захворювання тварин і людей (скрейпі, ку́ру тощо).

Звідки взялися віруси?

Можна виділити три основні версії появи вірусів.

Версія 1. Віруси виникли з бактерій, які перейшли до внутрішньоклітинного паразитизму і втратили більшість своїх генів. На користь такого варіанта свідчить існування мімівірусу. Цей вірус було відкрито нещодавно (2003 року). Його віріони мають великий розмір, їх можна навіть розгледіти за допомогою світлового мікроскопа. А його геном містить 911 генів, що набагато більше, ніж мінімальна потреба для вірусів.

Версія 2. Віруси є колишніми генами, які перейшли до паразитичного способу існування і набули здатності переміщатися між клітинами. Цю версію підтверджує існування транспозонів — мобільних генетичних елементів, які здатні переміщатися в межах геному клітини та передаватися від однієї клітини до іншої. Ймовірним попередником вірусів також є плазміди — короткі кільцеві молекули ДНК, якими можуть обмінюватися бактерії.

Версія 3. Віруси походять від доклітинних форм життя, які збереглися з тих часів, коли клітин іще не існувало. Такий варіант добре пояснює наявність серед вірусів великої кількості форм з РНК як головного носія спадкової інформації. Саме РНК-світ вважається попередником клітинних форм життя. А ДНК, згідно із сучасними уявленнями, стала використовуватися для збереження спадкової інформації на більш пізніх етапах еволюції.

Цілком можливо, що насправді різні віруси мають різне походження. Тому правильними для різних груп вірусів будуть різні версії.

Одним із найвідоміших пріонних захворювань є кùру, за якого уражається мозок людини. Це захворювання було виявлено в Новій Гвінеї і зараз практично зникло. Основним шляхом передачі інфекції був ритуальний канібалізм, коли після смерті людини її тіло поїдали інші члени племені.

Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке віруси? 2. Яку будову мають прості й складні віруси? 3. Що таке віроїди і пріони? 4. Чим вони відрізняються від вірусів? 5. Які існують гіпотези походження вірусів? 6*. Яку з гіпотез походження вірусів ви вважаєте найбільш близькою до реальності й чому?

Запитання та завдання

7. Складіть перелік захворювань людини, рослин і тварин, причиною яких є віруси, віроїди, пріони. 8. На якій стадії життєвого циклу вірусів з ними найпростіше боротися для попередження поширення захворювань? 9*. Чому пріонні захворювання можуть розвиватися дуже довго (до десятків років після зараження)?

6 Життєвий цикл вірусів. Значення вірусів у природі й житті людини

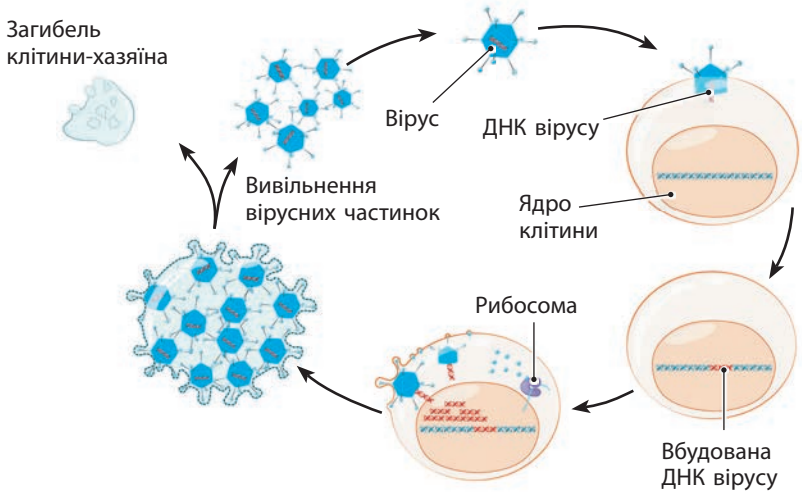
Що таке життєвий цикл організму? Чим віруси відрізняються від бактерій? Що таке ендоцитоз? Що таке перенос генів? Що таке цитоскелет?

Життєвий цикл вірусів

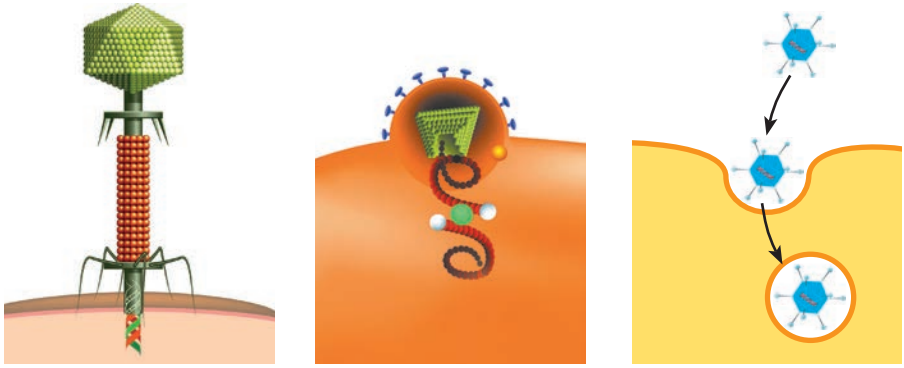
Життєвий цикл вірусів складається з кількох етапів (мал. 6.1).

Етап 1. Розпізнавання клітини-хазяїна і проникнення в неї. Потрібні клітини віріон розпізнає за допомогою специфічних рецепторів, які розміщені на його поверхні. Саме тому віруси уражають зазвичай не весь організм, а конкретні тканини й органи. Наприклад, вірус гепатиту А уражає клітини печінки, а вірус сказу — клітини мозку.

Після розпізнавання клітини вірус контактує з її мембраною. Він може проколоти її і ввести свою нуклеїнову кислоту в клітину (так роблять бактеріофаги), а може замаскуватися під харчову частинку і проникнути в клітину під час ендоцитозу (мал. 6.2).



Мал. 6.1. Життєвий цикл вірусу



Введення нуклеїнової кислоти в клітину-хазяїна

Злиття з клітиною-хазяїном

Ендоцитоз

Мал. 6.2. Способи проникнення вірусів у клітину

Важче вірусам проникати у клітини рослин і грибів, які мають товсту і міцну клітинну стінку. У таких випадках вони проникають у клітину через пошкоджені ділянки (наприклад, за допомогою кровосисних комах) або поширюються через плазмодесми (канали, які з'єднують клітини між собою).

Етап 2. Уведення нуклеїнової кислоти у цитоплазму клітини-хазяїна. На цьому етапі циклу вірус позбувається своєї білкової оболонки і вивільняє нуклеїнову кислоту в цитоплазму клітини, якщо він не позбувся її на першому етапі під час проникнення в клітину, як, наприклад, роблять бактеріофаги.

Етап 3. Взаємодія вірусу з генетичним апаратом клітини. Вірус може блокувати роботу генетичного апарата клітини, а може самостійно виробляти нуклеїнові кислоти та білки. У деяких випадках він убудовується в ДНК клітини.

На цьому етапі утворюється *провірус* (для бактеріофагів використовують термін *профаг*). Провірус може тривалий час існувати в клітині без зовнішніх проявів. Під час поділу клітин він розмножується разом з геномом клітини за рахунок роботи її ферментів. Але під впливом певних факторів (наприклад, послаблення імунітету організму) провірус активізується і перетворюється на активний вірус.

Етап 4. Синтез білків і нуклеїнових кислот вірусу. Цей етап відбувається в клітині-хазяїні. Синтезовані компоненти самозбираються у нові віріони.

Етап 5. Вихід вірусів із клітини. Часто цей етап пов'язаний з *лізисом* (повним руйнуванням клітини). Але так звані помірні

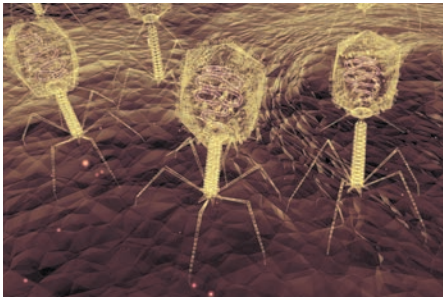
Мал. 6.3. Гусінь, уражена вірусом

фаги після вбудовування в ДНК клітини-хазяїна не викликають відразу лізис клітини. Їхня ДНК може залишатися в ДНК бактерії тривалий час. І лише у деяких випадках, під впливом факторів зовнішнього середовища (наприклад, УФ-випромінення), вірус активується і викликає лізис клітини. Існують також віруси, які не вбивають клітину. Вони в ній розмножуються, а окремі віріони поступово виходять назовні крізь клітинну мембрану.

Біологічні методи боротьби зі шкідливими видами

Як ви вже знаєте, віруси є внутрішньоклітинними паразитами. Однією з їхніх характерних рис є висока видоспецифічність, тобто здатність заражати тільки певні види організмів. Це пов'язано з тим, що рецептори на поверхні віріонів дуже точно розпізнають рецептори клітин, до яких вони приєднуються.

Тому віруси можна використовувати як зручний засіб боротьби з організмами, які завдають шкоди людині. Це і збудники захворювань (наприклад, кишкових), і шкідники, які завдають шкоди культурним рослинам (мал. 6.3) або свійським тваринам.



Мал. 6.4. Дія фагової терапії — атака бактеріофагами хвороботворної бактерії

Віруси уражають тільки певні види організмів, що вигідно відрізняє їх від інших засобів боротьби. Так, антибіотики зазвичай мають широкий вплив і знищують не тільки хвороботворні бактерії, але й корисну мікробіоту кишечника. А бактеріофаги вбивають тільки збудника захворювання. Така фагова терапія дозволяє лікувати за-

хворювання, які викликають стрептококи, стафілококи, збудники бактеріальної дизентерії та інші мікроорганізми (мал. **6.4**).

Віруси як інструмент еволюції

Віруси відіграють важливу роль в еволюції живих організмів, але не всі, а деякі з них, які не мають чіткої спеціалізації і можуть заражати різні види організмів. Такі віруси можуть переносити гени від одних видів організмів до інших, здійснюючи так званий горизонтальний перенос генів. Саме таким чином предки еукаріотів отримали від бактерій ген для синтезу ферментів гліколізу.

Клітини мають кілька механізмів, які захищають їх від ураження вірусами. Так, клітина може заблокувати вірус після його вбудовування в її геном. А деякі віруси організм може потім використати на свою користь (так зване явище «одомашнення» вірусів). Саме таким шляхом плацентарні ссавці отримали від ретровірусів гени, які дозволяють їхній плаценті маскувати зародок від імунної системи організму матері.

Ще одна роль вірусів в еволюції — відбір організмів на стійкість до захворювань. Так, завдяки відбору і загибелі частини населення Європи сучасні європейці набули достатньої стійкості до дії вірусів кору та вітряної віспи.

Бактерії та археї мають оригінальну систему захисту від вірусів, яка носить назву CRISPR. Якщо напад бактеріофага на клітину закінчився невдачею, то фрагменти ДНК бактеріофага вбудовуються в геном (CRISPR-систему) клітини-хазяїна. І ці ділянки вбудованої ДНК бактеріофага стають для прокаріотичної клітини зразком, за яким вона впізнає та знищує вірус.

Отже, тепер ви знаєте

1. З яких етапів складається життєвий цикл вірусів? 2. Як віруси проникають у клітини? 3. Яким чином вірус взаємодіє з клітиною-хазяїном? 4. Як людина використовує віруси в боротьбі зі шкідниками і хворобами? 5. Яке значення має діяльність вірусів для процесів еволюції? 6*. Які переваги мають віруси, що не вбивають клітину-хазяїна?

Запитання та завдання

7. Чому існування у формі провірусу може бути вигідним для вірусів? 8*. Боротьба зі шкідниками за допомогою вірусів має беззаперечні переваги перед хімічними заходами боротьби. А які недоліки можуть бути притаманні цьому способу?

7 Прокаріотичні організми

Які організми належать до прокаріотів? Які характерні риси мають їхні клітини? Що таке метаболізм? Що відбувається під час процесів бродіння, азотфіксації, фотосинтезу, хемосинтезу? Як розмножуються прокаріоти?

Будова клітини прокаріотів

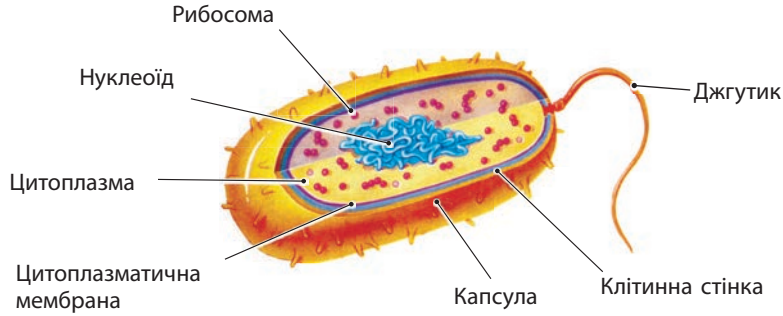
Прокаріоти є найпростішими клітинними організмами. Ядер у клітинах вони не мають. У клітині обов'язково присутні рибосоми та нуклеоїд (молекула ДНК) (мал. 7.1). Рибосоми вільно плавають у цитоплазмі, а нуклеоїд зазвичай прикріплений в одній точці до клітинної мембрани. У деяких прокаріотів можуть утворюватися інші внутрішньоклітинні структури (хлоросоми, тилакоїди тощо).

Ззовні більшість прокаріотичних клітин вкриті клітинною стінкою. Деякі прокаріоти мають джгутики.

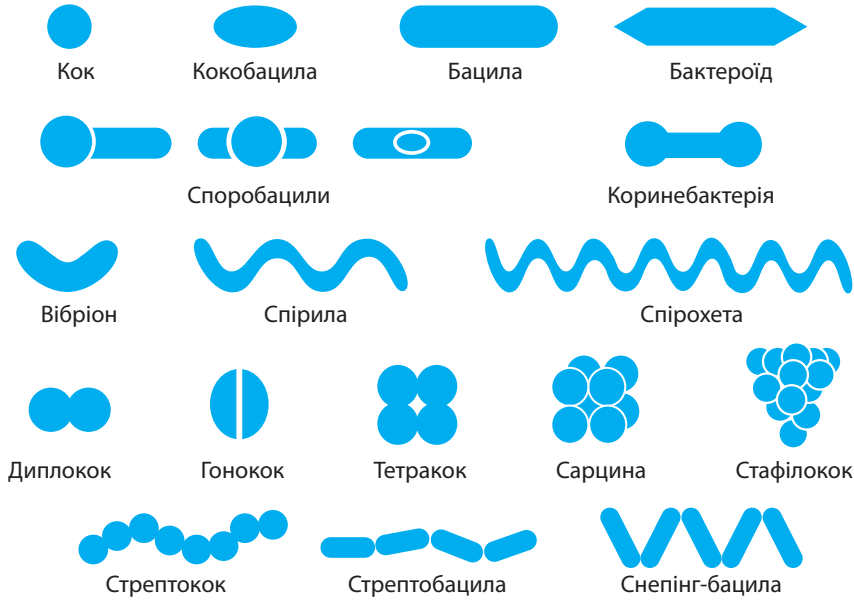
Морфологічні форми прокаріотів

Зовнішня будова прокаріотів не є надто різноманітною. Більшість їх представлена клітинами, які мають вигляд кулі (коки), коми (вібріони) або палички. Трапляються спіральні (спірили та спірохети), ниткоподібні, дископодібні, зірчасті та інші форми (мал. 7.2).

Клітини прокаріотів можуть об'єднуватися в колонії. Часто кількість клітин, які об'єдналися, є характерною для певного виду про-



Мал. 7.1. Будова прокаріотичної клітини



Мал. 7.2. Форми прокаріотичних клітин

каріотів. Згідно з кількістю об'єднаних клітин та їхньою формою розрізняють диплококи (дві клітини коків), тетракоки (чотири клітини), сарцини (вісім клітин і більше) та інші. Якщо клітини коків об'єднуються у ланцюжки, то їх називають стрептококами. У випадку, коли об'єднання клітин нагадує гроно винограду, це стафілокок.

Зрідка, але трапляється у прокаріотів і багатоклітинна будова (деякі ціанобактерії). Тіло у таких видів утворене ланцюжками клітин, цитоплазми яких пов'язані між собою. В окремих випадках спостерігається навіть спеціалізація клітин у складі багатоклітинного організму.

Джгутики на поверхні клітин прокаріотів можуть розташовуватися у різний спосіб — на одному кінці клітини, на двох протилежних або по всій її поверхні. Різною може бути і їхня кількість — від однієї до кількох сотень.

Особливості життєдіяльності прокаріотів

За відносно незначної різноманітності морфологічної, тобто зовнішньої, будови прокаріоти мають багато варіантів метаболізму. Вони можуть здійснювати процеси бродіння, азотфіксації, фотосинтезу, хемосинтезу та інші.

Важливою ознакою прокаріотів є те, що вони належать до осмотрофів. **Осмотрофи** — це організми, які отримують потрібні їм речовини з навколишнього середовища через клітинну мембрану, використовуючи явище осмосу, тобто всисають те, що їм потрібно для їхньої життєдіяльності, всією своєю поверхнею.

Способи розмноження

Прокаріоти розмножуються переважно шляхом *простого поділу*, коли клітина доростає до певного розміру, а потім ділиться навпіл. При цьому всередині клітини відбувається подвоєння нуклеоїду.

Але цей спосіб не є єдиним. У деяких прокаріотів може відбуватися *брунькування*. У процесі брунькування на поверхні клітини утворюється невелике випинання, яке збільшується, а потім відокремлюється від материнської клітини, утворюючи новий організм.

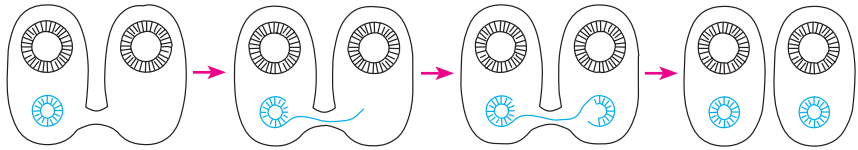
У деяких видів живий вміст материнської клітини поділяється на декілька частин, кожна з яких перетворюється на нову клітину (*множинний поділ*).

Статеве розмноження у прокаріотів відсутнє. Але вони можуть обмінюватися генетичною інформацією іншими способами.

Способи обміну спадковою інформацією

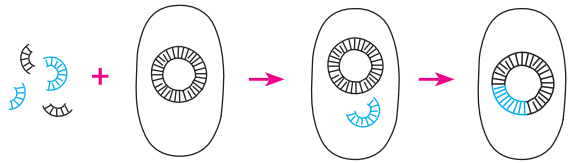
Кон'югація

Безпосередній контакт між двома бактеріальними клітинами за допомогою спеціальних порожнистих трубочок, F-пілей, під час якого генетичний матеріал з однієї клітини переноситься в іншу



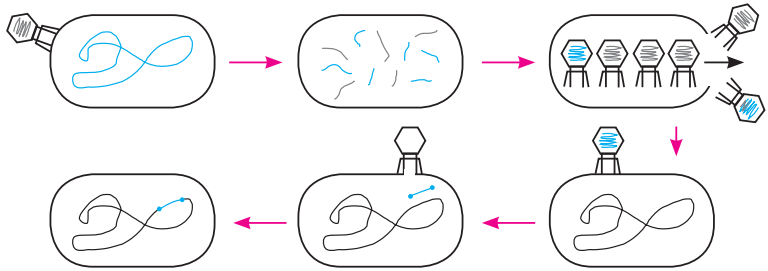
Трансформація

Перенесення ДНК, яка була вилучена з клітини (частіше за все під час руйнування клітини), з одних бактеріальних клітин в інші бактеріальні клітини



Трансдукція

Перенос бактеріальних генів з однієї клітини в іншу за допомогою бактеріофага

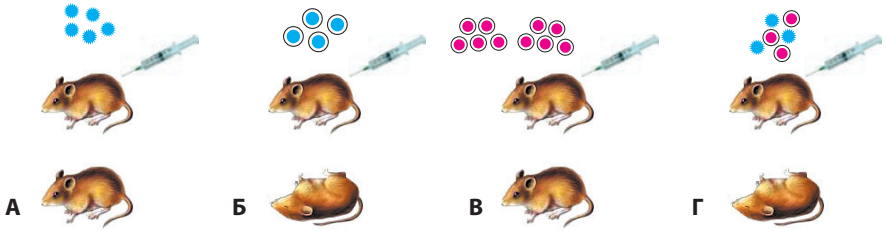


Отже, тепер ви знаєте

1. Хто такі прокаріоти? 2. Які особливості будови мають прокаріотичні клітини? 3. Якими є особливості морфологічної будови прокаріотів? 4. Які особливості має життєдіяльність прокаріотів? 5. Як розмножуються прокаріоти? 6. Як прокаріоти обмінюються генетичною інформацією? 7*. Яку користь дає прокаріотам обмін генетичною інформацією?

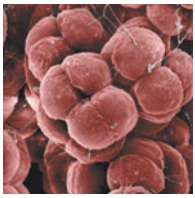
Запитання та завдання

8. Бактеріофаги можуть проникати у прокаріотичні клітини і вбивати їх. А чи можуть бактеріофаги приносити прокаріотам якусь користь? 9*. На малюнку 7.3 показано наслідки введення в організм миші бактерій одного виду. У варіанті А вводили бактерії, що не мають капсули, у варіанті Б — бактерії, які мають капсули, у варіанті В — вбитих бактерій, які мають капсулу, у варіанті Г — суміш убитих бактерій, які мають капсулу, і живих бактерій, які не мають капсули. За формування капсули у бактерій відповідає певний ген. Якщо він у бактерії є, капсула формується. Якщо його немає — капсула відсутня. Чому загинули миші у варіанті Г?



Мал. 7.3. Експеримент з уведення в організм миші різних форм бактерій одного виду

8 Різноманіття прокаріотів. Бактерії та археї



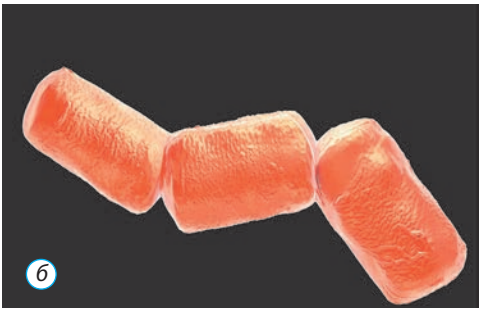
Що таке бактерії? Як людина може використовувати бактерії? У чому різниця між автотрофами і гетеротрофами? Що таке мутуалізм, коменсалізм, паразитизм?

Бактерії та археї

Прокаріотів поділяють на дві великі групи — **археї** та **бактерії** (мал. 8.1). Археї вважаються безпосередніми предками еукаріотів. Це дуже давня група організмів, що мешкають часто в умовах екстремального тиску, кислотності, засоленості тощо. Такі умови були поширені на Землі 2–3 млрд років тому.

Поділ бактерій на великі систематичні групи дотепер є предметом наукової дискусії. Якщо об'єднання видів до груп ранга відділу не викликають особливих проблем, то загальноприйняте їх об'єднання на рівні царств або субдоменів відсутнє.

Найбільш поширеним з існуючих варіантів є поділ бактерій на три великі групи: *давні бактерії*, *терробактерії* та *гідробактерії*. Представниками давніх бактерій є водневі бактерії (отримують енергію за рахунок окиснення водню) та термотоги (бактерії, які живуть у гарячих джерелах). До терробактерій належать ціанобактерії та збудник туберкульозу, а до гідробактерій — спірохети, хламідії та збудники чуми, холери і сальмонельозу.



Мал. 8.1. Представники бактерій (*а*) та архей (*б*)

Систематика архей також є ще недостатньо розробленою. Але вчені виділяють серед них дві великі групи — *протеоархеї* та *еуархеї*. До групи протеоархей належать нещодавно відкриті (2015 року) локіархеї. Їх вважають групою, яка є предковою для еукаріотів.

Термін «локіархеї» виник завдяки тому, що ці організми були виявлені в зразках води, зібраних біля гідротермального джерела «Замок Локі», розташованого в Атлантичному океані. Виростити ці мікроорганізми в лабораторних умовах не вдалося. Їх наявність була виявлена завдяки проведенню метагеномного аналізу, який визначає наявність генів різних організмів у досліджуваному зразку.

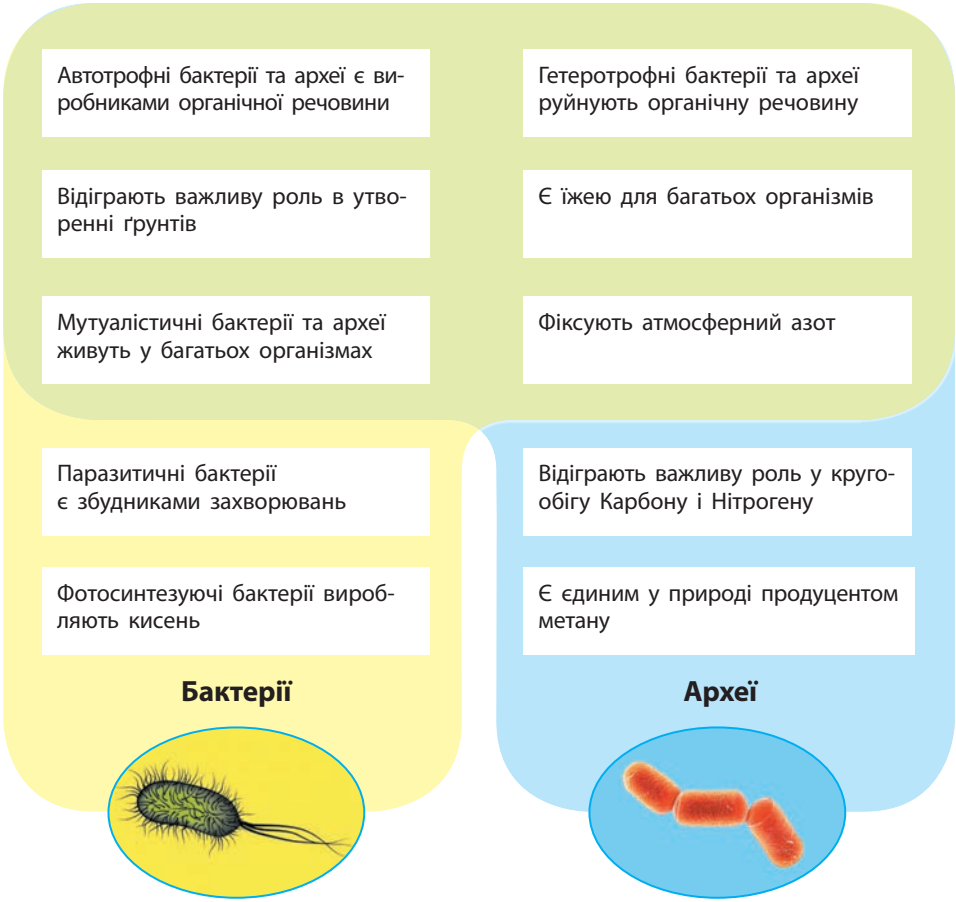
Характерні ознаки бактерій та архей

Ознака	Бактерії	Археї
Кількість клітин	Одноклітинні, колоніальні та (інколи) багатоклітинні	Тільки одноклітинні
Будова клітинної мембрани	Мембрана завжди двошарова, складається з фосфоліпідів	Мембрана може бути двошаровою або одношаровою, складається з етерів гліцеролу та терпенових сполук
Клітинна стінка	Складається з муреїну та специфічних білків, часто має додаткові шари	Складається із псевдомуреїну та специфічних білків
Особливості геному	Не містить гістонів	Містить гістоноподібні білки
Особливості джгутиків	Порожнисті білкові циліндри, ростуть кінчиком; обертання відбувається за рахунок використання протонного градієнту	Суцільні білкові нитки, ростуть основою; обертання відбувається за рахунок використання енергії АТФ

Поширення бактерій та архей

Бактерії трапляються в усіх середовищах існування: у воді, в ґрунті, в живих організмах. Вони можуть бути в повітрі, бо вони легко переносяться його потоками (особливо у вигляді спор). Бактерії живуть в усіх типах водойм — прісних і солоних, гарячих і холодних.

Архей спочатку виявили в зонах екстремального існування: дуже гарячих джерелах (наприклад, гейзерах), надто холодних умовах та у водоймах з дуже солоним, кислим та лужним середовищами. Але наступні дослідження виявили значну кількість архей, які живуть у нормальних умовах. Багато представників цих організмів є мешканцями травних трактів тварин (жуйних, термітів, людей тощо).



Мал. 8.2. Функції бактерій і архей в екосистемах

Роль бактерій та архей в екосистемах

Бактерії та археї є численними групами. Тому не дивно, що представники бактерій та архей займають різні екологічні ніші й виконують багато функцій в екосистемах (мал. 8.2).

Значення бактерій та архей для людини

Для людини велике значення мають як бактерії, так і археї. Різні представники цих груп можуть мати для людини як позитивне, так і негативне значення.

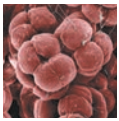
Значення бактерій для людини

Взаємодія з людиною	Приклад
Використовуються у виробництві харчових продуктів	Кисломолочні продукти, сири, хлібобулочні вироби тощо
Є основним виробником продукції в біотехнологічному виробництві	Бактерії, які виробляють ліки (наприклад, інсулін)
Є складовою частиною бактеріальних добрив	Азотфіксуючі бактерії, які суттєво підвищують урожайність багатьох рослин
Є мутуалістичними симбіонтами кишечника людини	Кишечна паличка
Можуть пошкоджувати внаслідок своєї життєдіяльності споруди або механізми	Залізобактерії, які поселяються у водопровідних трубах і можуть перешкоджати руху води
Є збудниками багатьох захворювань людини, а також важливих для неї тварин і рослин	Збудники холери, чуми, туберкульозу, бактеріального раку рослин

Значення архей для людини

Взаємодія з людиною	Приклад
Є частиною мікробіоти кишечника людини	Метаногенні археї товстого кишечника
Важливе джерело ферментів, які використовуються в наукових дослідженнях і промисловості	ДНК-полімераза архей, які живуть у гарячих джерелах, використовують для полімеразної ланцюгової реакції
Збагачення руд металів під час їх видобування	Архебактерій використовують для видобутку золота, міді й кобальту
Виробництво продуктів харчування за високих температур	Ферменти архей використовують у виробництві молока з низьким умістом лактози, яке відбувається за високої температури

Отже, тепер ви знаєте



1. На які групи поділяються прокаріоти? Чим вони різняться між собою? 2. Де живуть бактерії та археї? 3. Яку роль відіграють бактерії та археї в природних екосистемах? 4. Яке значення мають бактерії та археї для людини? 5*. Порівняйте між собою вірусів, бактерій та архей.

Запитання та завдання

6. Складіть список захворювань людини, збудниками яких є бактерії. 7*. На конкретних прикладах організмів, що належать до груп бактерій та архей, поясніть, що таке мутуалізм.

9 Сучасні погляди на систему еукаріотичних організмів

Які домени виділяють серед живих організмів? За якими ознаками можна відрізнити прокаріотів від еукаріотів? Що вивчає наука систематика? Які питання вона вирішує? Що таке таксономія? Які сучасні методи біотехнології застосовуються для вивчення організмів?

Історія систематики еукаріотів

Першою спробою класифікувати живі істоти можна вважати систему Аристотеля, який виділив групи рослин і тварин (мал. 9.1). А першою науковою системою класифікації стала система К. Ліннея, у якій рослини і тварини отримали статус царств. Але вже тоді стала зрозумілою значна відмінність грибів від інших живих організмів, тому О. Мюнхгаузен виділив їх в окреме царство. Щоправда, він об'єднав їх разом із губками і коралами. Цю помилку виправив Н. Неккер, який створив свою систему, де запропонував виділити гриби в окреме царство. На жаль, пропозиції Мюнхгаузена і Неккера були надовго забуті.

Після поширення еволюційної теорії Ч. Дарвіна Е. Геккель (мал. 9.2) запропонував концепцію еволюційної таксономії. Згідно з цією концепцією, система класифікації повинна була відображати

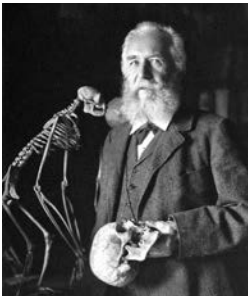
Мал. 9.1. Системи живих організмів (автори й роки створення)

хід еволюції живих організмів. Ця точка зору переважає в науці й зараз. Тому сучасні систематики під час створення класифікацій обов'язково враховують спорідненість різних груп організмів.

Вчені у XIX ст. уперше усвідомили, що численні мікроскопічні істоти (бактерії, найпростіші, мікроскопічні водорості) важко віднести до тварин або рослин. Наслідком цього було виникнення у системі Геккеля нового царства Протисти, яке об'єднало всі одноклітинні й колоніальні форми.

У першій половині XX ст. унаслідок розвитку методів мікроскопії стала зрозумілою різниця між прокаріотами та еукаріотами. У системі Г. Коупленда було виділено чотири царства: Монери (дроб'янки), Протоктисти (нижчі еукаріоти), Тварини і Рослини.

У 1959–1969 роках американський дослідник Р. Уайттейкер (мал. 9.3) удосконалив цю систему, виділивши гриби в окреме царство (у системі Г. Коупленда їх відносили до царства Протоктисти). Ця система була найбільш поширеною до 80–90-х років XX ст., поки нові технології в цитології та молекулярній біології не дозволили створити сучасну систему живих організмів.



Мал. 9.2. Ернст Геккель (1834–1919), німецький біолог, фізик, філософ, художник

Мал. 9.3. Роберт Уайттейкер (1920–1980), американський рослинний еколог

Н. Неккер

Е. Геккель

Г. Коупленд

1783 **1866** **1938**

Продовження мал. 9.1 на с. 40

Місце еукаріотів серед живих організмів

Карл Воуз, спираючись на аналіз послідовності нуклеотидів рРНК та деякі інші молекулярні характеристики, запропонував новий варіант систематики живих організмів (1985 р.). Згідно з ним організми поділяли на великі систематичні групи — домени. **Домен** — це таксон найвищого рангу.

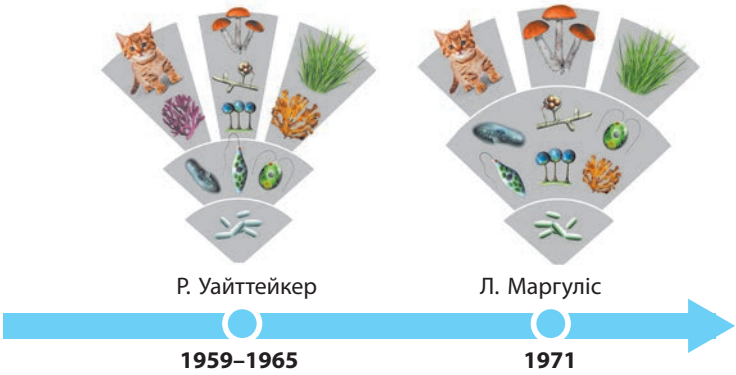
Клітинні форми життя розподілили за трьома доменами — Бактерії, Архебактерії та Еукаріоти. Віруси виокремили як окремий таксон *Vira*, який об'єднує неклітинні форми життя й за рангом відповідає домену. Така класифікація найбільш точно відбиває сучасні уявлення про виникнення й еволюцію основних груп живих організмів (мал. 9.4).

У сучасній систематиці домени поділяються на більш дрібні систематичні одиниці — **субдомени**, які складаються з надцарств (або груп царств), а надцарства створюються шляхом об'єднання кількох окремих царств живих організмів. У межах окремих царств систематичні одиниці не змінювалися. З ними ви ознайомилися раніше (див. § 3).

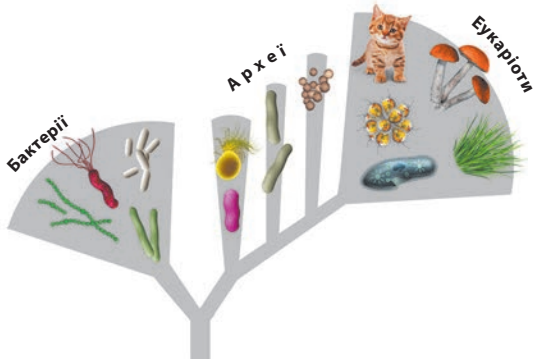
Роль симбіогенезу в еволюції еукаріотів

Раніше вчені використовували у класифікації еукаріотів ознаки, які залежали від умов середовища і могли швидко змінюватися. Вони більше відображали пристосованість до певних умов, а не реальну спорідненість організмів. Але часто схожі ознаки проявляються й у неспоріднених організмів, а близькі «родичі» можуть суттєво різнитися.

Нові технології дозволили знайти критерії, які не залежали від умов існування і точніше відображали ступінь родинних зв'язків. Методи електронної мікроскопії дали можливість дослідити тонку



Мал. 9.1. (*Закінчення*) Системи живих організмів (автори й роки створення)



Мал. 9.4. Система трьох доменів

Мал. 9.5. Лінн Маргуліс (1938–2011), американська біологиня

структуру клітинних органел. Це дозволило встановити велику роль в еволюції еукаріотів явища **симбіогенезу**, коли група організмів виникає внаслідок об'єднання кількох інших груп.

Так, раніше всі водорості входили до складу царства Рослини. Але після того як було встановлено, що їхні хлоропласти мають різне походження (утворилися шляхом симбіозу між організмами різних систематичних груп), їх розділили на декілька різних царств.

Значний внесок у з'ясуванні ролі симбіогенезу в еволюції еукаріотів належить американській дослідниці Лінн Маргуліс (мал. 9.5).

Отже, тепер ви знаєте

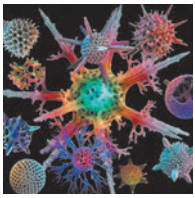
1. Які системи еукаріотичних організмів були створені в різні історичні періоди? 2. Які проблеми є найбільш актуальними в систематиці еукаріотів? 3. Яку роль для еволюції еукаріотів мало явище симбіогенезу? 4*. Чому царство Рослини, яке об'єднує зелені, бурі та червоні водорості, не є прийнятним з точки зору сучасної систематики?

Запитання та завдання

5. Розділіть наведені на малюнку організми на царства відповідно до: а) системи Уайттейкера, б) сучасних принципів систематики.

6*. Хлоропласти насінних рослин і зелених водоростей мають подвійну мембрану. Але під час дослідження хлоропластів деяких груп інших водоростей було виявлено наявність трьох або навіть чотирьох мембран. Як можна пояснити цей факт?

10 Основні групи еукаріотів

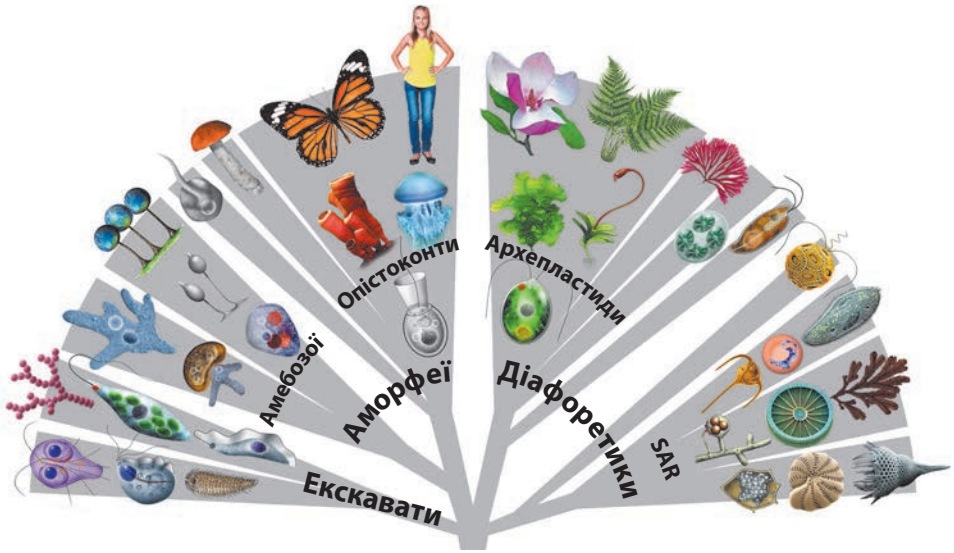


Які групи еукаріотичних організмів ви знаєте? Чим різняться між собою рослини, тварини і гриби? Які одноклітинні організми є еукаріотами? Що таке симбіотичні організми? Чим різняться між собою автотрофні та гетеротрофні організми?

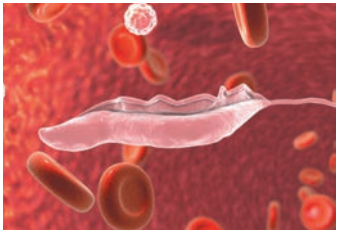
Поділ еукаріотів на групи

Нові технології досліджень, які з'являлися в другій половині XX ст., сприяли виділенню набагато більшого числа царств у межах групи еукаріотів. Така система найточніше відображає еволюційні зв'язки між окремими групами еукаріотів. Найбільший внесок у створення нової системи зробила група вчених під керівництвом Сайни Едла.

Згідно з новою системою, домен **Еукаріоти** поділяється на три субдомени, які, у свою чергу, діляться на кілька груп (надцарств). А вже надцарства поділяють на окремі царства живих організмів. Трьома субдоменами еукаріотів є **Екскавати**, **Діафоретики (Біконти)** та **Аморфеї** (мал. 10.1). Екскавати є винятково одноклітинними ор-



Мал. 10.1. Сучасна класифікація еукаріотів


Трипаносома

Трихомонада

Трихонімфа

Мал. 10.2. Представники екскаватів

ганізмами, а серед діафоретиків та аморфеїв трапляються як одноклітинні, так і багатоклітинні форми.

Екскавати

Екскавати є найдавнішою групою еукаріотів. До них належать тільки одноклітинні організми. Вони можуть бути вільноживучими, вести паразитичний спосіб життя або ставати симбіонтами багатоклітинних організмів. Екскавати часто мають складні джгутикові апарати, що складаються з 4, 6 або 8 джгутиків, але серед них є і одно- та дводжгутикові форми.

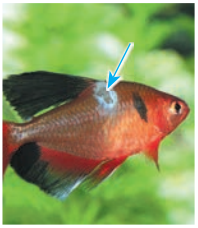
До цієї групи належать збудники захворювань, небезпечних для людини. Це, наприклад, трихомонада (збудник трихомонозу), трипаносома (збудник сонної хвороби) і лейшманія (збудник лейшманіозу) (мал. 10.2.). До цієї ж групи належать евглени, типовим представником яких є евглена зелена, організм, який викликав стільки суперечок з приводу того, до якої систематичної категорії його віднести.

Цікавими представниками екскаватів є гіпермастигіни (наприклад, трихонімфа) — одноклітинні організми з великою кількістю джгутиків. Вони є симбіонтами, які живуть у кишечниках термітів і тарганів. Саме завдяки їм ці комахи здатні перетравлювати целюлозу та інші малоїстівні речовини. Цікаво, що самостійно ці одноклітинні еукаріоти теж не можуть перетравлювати целюлозу. За них це роблять симбіотичні бактерії, які живуть усередині їхніх клітин.

Діафоретики (Біконти)

Група **діафоретиків** відрізняється наявністю двох джгутиків у більшості представників або їхніх предків. Діафоретики можуть бути одноклітинними, колоніальними або багатоклітинними організмами (мал. 10.3, с. 42).

Інфузорія


Оомікот (паразит риб)

Діатомова водорість

Кульбаба

Ламінарія

Мал. 10.3. Представники діафоретиків

Діафоретики живуть у солоних та прісних водоймах і на суходолі. Паразитичні представники можуть жити в тілах інших живих організмів.

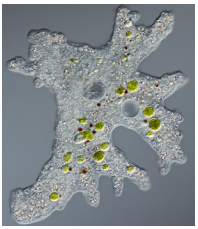
Більшість автотрофних еукаріотів належить саме до групи діафоретиків. Однак є в її складі й гетеротрофи, у тому числі паразити.

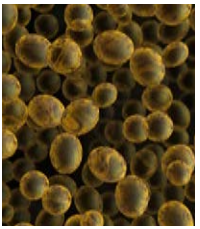
До цієї групи належить більшість відділів водоростей (бурі, діатомові, золотисті тощо). Червоні та зелені водорості й усі наземні рослини також є біконтами. Ще одним представником біконтів є несправжні гриби (оомікоти). Власне, несправжні гриби теж колись були водоростями. Але вони втратили хлорофіл і змушені були адаптуватися до того ж способу живлення, що і справжні гриби. Саме тому їх тривалий час відносили до грибів.

Серед діафоретиків є і форми, для яких характерний тваринний спосіб живлення. До них належать інфузорії, форамініфери, радіолярії, сонцевики.

Одноклітинні біконти відіграють важливу роль у геологічних процесах. Так, із панцирів діатомових водоростей утворюється порода діатоміт, а із залишків коколітофорид — крейда. Трапляються серед них і збудники важких захворювань. Це, наприклад, малярійний плазмодій (збудник малярії) і токсоплазма (збудник токсоплазмозу).

Комірцевий джгутиконосець


Амеба


Дріжджі

Базидіальний гриб

Олень

Мал. 10.4. Представники аморфеїв

Аморфеї

Група аморфей складається з одноклітинних, колоніальних та багатоклітинних організмів. Серед них часто трапляються організми, що здатні до амебоїдного руху зі зміною форми клітини. Клітини представників переважної більшості аморфеїв мають тільки один джгутик. Але, як з'ясували дослідники, цей варіант не є початковим: найпримітивніші аморфеї мають два джгутики.

Аморфеї живуть у солоних та прісних водоймах і на суходолі. Лише серед їхніх представників є літаючі організми.

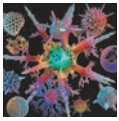
Більшість є гетеротрофами (у тому числі паразити), але трапляються і такі, що завдяки симбіозу набули здатності до автотрофного живлення.

До аморфеїв належать справжні слизовики, справжні гриби і багатоклітинні тварини. За кількістю видів ця група є найбільшою серед еукаріотів. Одноклітинні форми в аморфеїв представлені амебами, комірцевими джгутиконосцями, дріжджами та іншими групами (мал. 10.4).

Одноклітинні аморфеї можуть бути збудниками таких захворювань, як амебна дизентерія (дизентерійна амеба) та кандидоз (дріжджі).

Маса симбіотичних одноклітинних, які живуть у кишечниках термітів і тарганів, може становити половину маси їхнього тіла.

Отже, тепер ви знаєте



1. На які основні групи поділяють еукаріотів? 2. Які організми відносять до субдоменів Екскавати, Діафоретики та Аморфеї? 3. Які одноклітинні еукаріоти належать до цих трьох груп? 4*. Звідки походять назви субдоменів еукаріотів? Що вони означають?

Запитання та завдання

5. Чому тарганам і термітам для переробки деревини потрібні симбіотичні одноклітинні, а трутовику й опеньку — ні? 6. У параграфі було наведено інформацію про одноклітинних симбіонтів, які живуть у кишечнику термітів. Наведіть іще кілька прикладів тварин, у травній системі яких наявні такі симбіонти. 7. Які ознаки справжніх грибів указують на їхню спорідненість із багатоклітинними тваринами? 8. У цитоплазмі малярійного плазмодію знайдено хлоропласти, позбавлені хлорофілу (так звані апікопласти). Як це можна пояснити? 9*. Як теорія ендосимбіогенезу дозволяє зрозуміти, що об'єднання всіх еукаріотів з хлоропластами в одне царство є недоцільним?

11 Автотрофні еукаріоти

Як живляться автотрофи? Чим рослини відрізняються від тварин? Що таке осмос? Які рослини людина використовує у сільському господарстві?

Систематичне положення автотрофних еукаріотів

Ви вже знаєте, що автотрофні еукаріоти утворюють органічні речовини з неорганічних завдяки процесу фотосинтезу, який відбувається в хлоропластах їхніх клітин. Тривалий час учені називали всі такі організми рослинами і виділяли їх в окреме царство.

Але більш докладні дослідження з'ясували, що хлоропласти еукаріотів виникли шляхом **ендосимбіозу** (поселенням усередині клітини одноклітинного фотосинтезуючого організму). Крім того, виявилося, що еукаріоти протягом еволюції отримували хлоропласти неодноразово і від різних груп організмів: спочатку від ціанобактерій, а потім і від інших еукаріотів. Тому в сучасній систематиці різні групи автотрофних еукаріотів належать до різних царств, надцарств і субдоменів (мал. 11.1).

Термін «рослини» зараз не використовується для позначення окремої систематичної одиниці, але ним називають зазвичай царство Зелені рослини (*Viridiplantae*), до якого належать зелені водорості і вищі рослини (мохи, папороті, голонасінні та покритонасінні рослини тощо). Особливості будови та життєдіяльності рослин, які ви

Домен	**Еукаріоти**		
Субдомени	**Екскавати**	**Діафоретики**	**Аморфеї**
Представники	Евглени	• Бурі водорості, Діатомові водорості, Золотисті водорості, Динофітові водорості тощо (надцарство SAR); • Червоні водорості, Зелені рослини тощо (надцарство Архепластиди (*Archaeplastida*))	Окремі види утворюють симбіоз із водоростями (лишайники)

Мал. 11.1. Систематичне положення автотрофних еукаріотів

вивчали в попередніх частинах курсу біології, було показано саме на організмах цієї групи.

Термін «водорості» раніше використовували для позначення всіх фотосинтезуючих еукаріотів, окрім вищих рослин. У сучасній систематиці його окремо не використовують, але він залишився у назвах деяких систематичних груп (Бурі водорості, Червоні водорості, Зелені водорості тощо).

Особливості будови і життєдіяльності автотрофів

Автотрофні еукаріоти відрізняються великим різноманіттям будови тіла. Серед них є організми, тіло яких представлено *сланню* (не поділене на органи, наприклад, у водоростей), а є організми, які мають складну багатоклітинну будову, з поділом тіла на тканини й органи (наприклад, у квіткових).

Серед автотрофів трапляються одноклітинні, колоніальні та багатоклітинні організми. Дуже характерною рисою автотрофних еукаріотів є те, що потрібні їм речовини вони отримують з навколишнього середовища, поглинаючи їх поверхнею свого тіла. Тому вони можуть поглинати тільки ті речовини, які перебувають у розчиненому вигляді. Для позначення цих організмів використовують термін *осмотрофи*.

Значення автотрофних організмів для людини

Джерело харчування Пшениця, жито, кукурудза, часник, горох, соняшник, буряк тощо	***Промислова сировина*** Дуб (деревина), сосна (деревина, папір, живиця), льон (тканина), мох (торф) тощо	***Сировина для медичних препаратів*** Сосна, гінкго, ромашка, липа, евкаліпт тощо
Підтримання складу атмосфери Усі автотрофні еукаріоти виробляють кисень і поглинають вуглекислий газ	***Ліквідація шкідливих наслідків діяльності людини*** Придорожні насадження (уловлення автомобільних викидів), біоплато (очищення стічних вод) тощо	***Заподіяння шкоди здоров'ю людини*** Отруйні рослини (цикута, вороняче око, дурман тощо), виробники алергенів (амброзія, тополя тощо), виробники наркотичних речовин (конопля, мак тощо)

Представники автотрофних еукаріотів

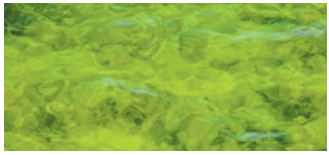
Найбільша кількість автотрофних еукаріотів належить до двох надцарств із домену Діафоретики — Архепластиди і SAR. Архепластиди (*Archaeplastida*) об'єднують фотосинтезуючих еукаріотів, пластиди яких виникли в результаті симбіозу з ціанобактеріями. Завдяки цьому архепластиди й отримали свою назву, яка у перекладі з давньогрецької означає «ті, що містять давні пластиди».

Деякі групи автотрофних еукаріотів надцарства Архепластиди

Назва групи	Характерні ознаки	Представники
Червоні водорості	Мають червоне (зрідка інше) забарвлення хлоропластів, джгутики відсутні на всіх стадіях розвитку. Мешкають переважно в солоних водоймах. Деякі види живуть у прісних водах і ґрунті	Порфіра, цераміум, філлофора
Зелені водорості	Мають яскраво-зелене забарвлення хлоропластів, джгутики є хоча б на одній зі стадій розвитку. Мешкають у солоних і прісних водоймах та на суходолі	Хлорела, хламідомонада, ульва
Справжні мохи	Наземні рослини досить простої будови. У життєвому циклі переважає гаметофіт. Розмножуються за допомогою спор. Більшість видів живе у вологих місцях	Політрих (зозулин льон), сфагнум
Папоротеподібні	Наземні рослини досить складної будови. У життєвому циклі переважає спорофіт. Розмножуються за допомогою спор. Тіло поділене на корінь і пагін. Більшість видів живе в місцях з достатнім зволоженням	Папороть чоловіча, нефролепіс, хвощ польовий
Насінні рослини	Наземні рослини складної будови. У життєвому циклі переважає спорофіт. Розмножуються за допомогою насінин. Трапляються в усіх наземних і багатьох водних екосистемах	Сосна, клен, дуб, троянда, пшениця, латаття, глечики, лотос

Назва надцарства SAR утворена за першими літерами назв трьох царств, які входять до його складу (*Stramenopiles*, *Alveolata*, *Rhizaria*). Не всі представники цієї групи належать до автотрофних організмів. А ті з них, які є автотрофами, містять хлоропласти, які утворилися завдяки симбіозу з іншими еукаріотами (частіше за все з представниками червоних або зелених водоростей).

Деякі групи автотрофних еукаріотів надцарства SAR

Назва групи	Характерні ознаки	Представники
Бурі водорості	Хлоропласти походять від червоних водоростей. Винятково багатоклітинні організми. Мають зачатки тканин і органів. Майже всі живуть у солоних водоймах	Ламінарія, фукус, макроцистіс
Діатомові водорості	Хлоропласти походять від червоних водоростей. Винятково одноклітинні організми, клітина яких вкрита двостулковим панциром з кремнезему. Поширені в солоних і прісних водоймах, трапляються в ґрунті	Навікула, піннулярія, діатома
Жовтозелені водорості 	Хлоропласти походять від червоних водоростей. Одноклітинні, колоніальні або багатоклітинні організми. Поширені в прісних водоймах і ґрунті, деякі представники трапляються в солоних водоймах	Трибонема, вошерія, ботридіум

Отже, тепер ви знаєте

1. Серед представників яких субдоменів еукаріотів є автотрофні організми? Наведіть приклади. 2. Які особливості будови мають автотрофні еукаріоти? 3. Чому автотрофи є осмотрофами? 4. Яке значення мають автотрофні організми для людини? 5*. Чому бурі й червоні водорості належать до іншої групи еукаріотів, ніж зелені?

Запитання та завдання

6. Яке значення в природі мають автотрофи? 7. Чому деякі породи дерев не використовують у будівництві? 8*. Згідно із принципами сучасної систематики, лишайники не виокремлюють як систематичну групу. Як ви гадаєте, чому? Відповідь обґрунтуйте.

12 Справжні гриби та грибоподібні організми

Які організми належать до гетеротрофів? Що таке осмос? Які живі організми є осмотрофами? Чим гриби відрізняються від рослин? Для чого використовують пеніцилін і як його отримують?

Систематичне положення справжніх грибів та грибоподібних організмів

Учені довго об'єднували справжні гриби та грибоподібні організми в одне царство. Сучасні методи дослідження дозволили встановити, що схожість цих організмів пов'язана з пристосуванням до схожого способу життя, але вони мають різне походження. Тому зараз різні групи справжніх грибів і грибоподібних організмів відносять до різних субдоменів еукаріотів (мал. 12.1).

Термін «гриби» зараз не використовують для позначення окремої систематичної категорії, але ним зазвичай називають царство **Справжні гриби**. А до грибоподібних організмів належать несправжні гриби та кілька груп слизовиків.

Сучасні вчені виділяють справжні гриби в окреме царство в субдомені Аморфеї. За кількістю видів справжні гриби поступаються тільки тваринам і перевершують усі інші групи еукаріотів.

Несправжні гриби є представниками діафоретиків. Предками несправжніх грибів були водорості, які втратили здатність синтезувати хлорофіл.

Домен	**Еукаріоти**		
Субдомени	**Екскавати**	**Діафоретики**	**Аморфеї**
Представники	Грибоподібні організми: несправжні слизовики (акразії)	Грибоподібні організми: Паразитичні слизовики (плазмодіафориди), Несправжні гриби (оомікоти) (надцарство SAR)	• Грибоподібні організми: Справжні слизовики • Справжні гриби: Сумчасті гриби (аскоміцети), Базидіальні гриби (базидіоміцети) тощо

Мал. 12.1. Систематичне положення грибів та грибоподібних організмів

Справжні слизовики, як і справжні гриби, є представниками аморфеїв, але належать до іншого царства, ніж справжні гриби. Інші групи слизовиків відносять до екскаватів (несправжні слизовики, або акразії) та діафоретиків (паразитичні слизовики, або плазмодіафориди).

Особливості будови й життєдіяльності грибів та грибоподібних організмів

Характерними особливостями всіх грибів і грибоподібних організмів є те, що вони отримують потрібні їм речовини з навколишнього середовища, поглинаючи їх поверхнею свого тіла. Тобто, як і автотрофні еукаріоти, гриби і грибоподібні організми є *осмотрофами*.

Такому способу живлення сприяє те, що їхнє тіло має форму міцелію. *Міцелій* — це гігантська розгалужена структура, окремі ниткоподібні відростки якої називаються гіфами.

Але крім води і мінеральних речовин цим організмам доводиться поглинати із зовнішнього середовища ще й органічні речовини, бо всі вони є *гетеротрофами* і не здатні самостійно синтезувати органічні речовини з неорганічних.

Більшість грибів мають міцеліальну будову, але трапляються й типові одноклітинні форми (наприклад, дріжджі).

Представники різних груп слизовиків здатні утворювати плазмодії (гігантські рухомі багатоядерні клітини) або псевдоплазмодії (скупчення окремих клітин, які можуть рухатися узгоджено) (мал. 12.2).

Ще однією характерною однакою грибів є наявність у їхніх клітин клітинної стінки. Утворюється вона різними полісахаридами. Наприклад, у більшості справжніх грибів вона містить бета-глюкани та хітин, але в деяких випадках хітин майже відсутній (дріжджі) або замінений на хітозан (мукор). У несправжніх грибів клітинна стінка утворюється з целюлози.

Мал. 12.2. Плазмодії слизовиків часто мають яскраве забарвлення (*а*, *б*) і можуть утворювати плодові тіла (*в*), в яких утворюються спори

Значення справжніх грибів та грибоподібних організмів для людини

Джерело харчування Їстівні гриби (білий гриб, опеньок осінній, підберезник, печериця, трюфель тощо)	***Джерело промислової сировини і медичних препаратів*** Виробники: — різних сполук (лимонної кислоти, ферментів тощо) в біотехнологічних виробництвах (аспергіл, фузаріум тощо); — антибіотиків (пеніцил, цефалоспоріум тощо)	***Участь у виробництві продуктів харчування*** Хліб, деякі сорти сирів, йогуртів і кисломолочних продуктів, алкогольні напої
Заподіяння шкоди продуктам харчування, спорудам та матеріалам • Цвілеві гриби (псування харчів, речей, приладів). • Дереворуйнівні гриби (руйнування дерев'яних споруд та виробів із деревини)	***Заподіяння шкоди культурним рослинам і свійським тваринам*** Збудники захворювань рослин (ріжки, сажка, борошниста роса, фітофтора, фузаріум тощо) і тварин (мікроспорум, трихофітон тощо)	***Заподіяння шкоди здоров'ю людини*** • Отруйні гриби (бліда поганка, мухомор червоний, ріжки тощо). • Виробники алергенів (аспергіл, пеніцил тощо). • Збудники захворювань (трихофітон, кандіда тощо)

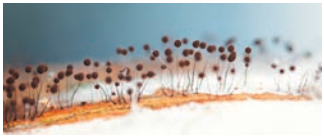
Представники групи грибів та грибоподібних організмів

Як ви знаєте, найбільша кількість організмів цієї групи входить до складу доменів Аморфеї та Діафоретики.

Деякі групи грибів та грибоподібних організмів

Назва групи	Характерні ознаки	Представники
Несправжні гриби (ооміцети) 	Міцелій не поділений на окремі клітини, багатоядерний. Прісноводні, морські або наземні організми. Більшість представників є паразитами	Сапролегнія, фітофтора, плазмопара
Справжні слизовики (міксоміцети) 	У життєвому циклі чергуються стадії міксамеб (одноклітинних організмів, здатних рухатися за допомогою псевдоподій) та багатоядерних плазмодіїв, які утворюють плодові тіла	Лікогала, фізарум, стремонітес

Закінчення таблиці

Назва групи	Характерні ознаки	Представники
Мукорові гриби (зигоміцети) 	Міцелій у більшості представників не має внутрішніх перегородок (септ). У результаті статевого процесу утворюють зигомейоспори. Є сапротрофами або паразитами, деякі представники є хижими грибами	Мукор, ризопус, ентомофтора
Сумчасті гриби (аскоміцети)	Міцелій має внутрішні перегородки, що розділяють його на сегменти (клітини). Кожний сегмент зазвичай містить одне ядро. У деяких міцелій одноклітинний. Здатні утворювати плодові тіла. У результаті статевого процесу утворюють аскоспори. Є сапротрофами або паразитами	Дріжджі, трюфель, строчок
Базидіальні гриби (базидіоміцети)	Міцелій у більшості представників поділений на клітини, у клітинах одне або два ядра. Здатні утворювати плодові тіла. У результаті статевого процесу утворюють базидіоспори. Є сапротрофами або паразитами	Боровик, маслюк, сажка

Отже, тепер ви знаєте

1. До яких субдоменів еукаріотів відносять справжні гриби та грибоподібні організми? 2. Які особливості будови мають справжні гриби? 3. Які особливості життєдіяльності мають справжні гриби і грибоподібні організми? 4. Яке значення для людини мають справжні гриби і грибоподібні організми? 5*. Чому форма тіла у вигляді міцелію виявилася найкращою для забезпечення живлення справжніх грибів? Відповідь обґрунтуйте.

Запитання та завдання

6. Яке значення в природі мають справжні гриби та грибоподібні організми? 7. Складіть перелік ознак, за якими можна відрізнити найбільш небезпечні отруйні гриби. 8*. Плодові тіла грибів можуть містити значну кількість корисних для людини речовин. Але часто ці речовини засвоюються організмом людини лише в незначній кількості. З чим це може бути пов'язано? 9*. Як можна запобігти руйнуванню грибами дерев'яних будинків?

13 Тварини

Чим тварини відрізняються від грибів? Які тварини мешкають у вашому регіоні? Як розмножуються тварини? Хто такі хребетні?

Систематичне положення тварин

Справжні тварини є представниками аморфеїв. Царство **Справжні тварини** об'єднує багатоклітинних тварин, одноклітинних предків цих тварин та їхніх найближчих родичів. Багатоклітинні тварини, яких зазвичай і називають просто тваринами, утворюють у цьому царстві окреме підцарство (мал. 13.1). За кількістю видів справжні тварини є найбільшою групою живих організмів.

Особливості будови і життєдіяльності тварин

Як і гриби, тварини є *гетеротрофними* організмами. Характерною рисою багатоклітинних тварин є те, що потрібні їм речовини вони отримують з їжею, яку потім перетравлюють. Для позначення таких організмів використовують термін *фаготрофи*.

Домен	**Еукаріоти**		
Субдомен	**Аморфеї**		
Царство	**Справжні тварини (*Holozoa*)**		
Підцарство	**Багатоклітинні тварини (*Metazoa*)**		
Представники	**Губки, Пластинчасті** Бодяга ставкова, кошик Венери, трихоплакс, трептоплакс тощо	**Еуметазої** ***Білатеральні*** — Первинноротi (черви, молюски, членистоногі тощо); — Вторинноротi (голкошкірі, хордові тощо)	***Радіальні*** Реброплави, Кишковопорожнинні

Мал. 13.1. Систематичне положення тварин

Білатеральна

Радіальна

Неправильна

Мал. 13.2. Різні варіанти форми тіла тварин

Форма тіла тварин є різною. Частіше за все вона є *білатеральною*, тобто тіло має одну вісь симетрії. У ньому можна розрізнити правий і лівий боки та передній і задній кінці тіла.

Багато тварин мають *радіальну* симетрію тіла, коли через нього можна провести кілька осей симетрії. Форма тіла може бути і неправильною, коли через нього не можна провести жодної осі симетрії (мал. 13.2).

Тварини заселили всі можливі середовища існування. Їх можна зустріти в солоних і прісних водоймах, на землі й під землею. Багато представників цієї групи здатні до польоту. Тварини можуть бути хижаками, живитися рослинами або споживати мертву органіку. Ці організми є однією з вершин еволюції життя на нашій планеті.

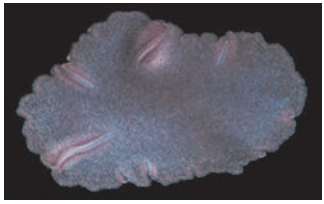
Значення тварин для людини

Джерело харчування Сільськогосподарські й дикі тварини	***Джерело промислової сировини*** Отримання шерсті, шкіри, тканини (шовкопряд), воску (бджоли) і сировини для виробництва багатьох видів косметики (кити)	• ***Транспортні засоби та засоби зв'язку*** Коні, північні олені, верблюди, воли, собаки, віслюки, голуби • ***Домашні улюбленці*** Собаки, кішки тощо
Заподіяння шкоди продуктам харчування, спорудам та матеріалам Міль, шашіль, хрущак борошняний, терміти тощо	***Заподіяння шкоди культурним рослинам і свійським тваринам*** Збудники захворювань рослин (попелиці, короїди тощо) і тварин (плоскі і круглі черви, кліщі тощо)	***Заподіяння шкоди здоров'ю людини*** Отруйні тварини, виробники алергенів (пилові кліщі, домашні тварини тощо), збудники захворювань (глисти, воші тощо), переносники захворювань (кліщі, комарі тощо), хижі тварини

Представники групи тварин

Багатоклітинні тварини поділяються на кілька груп. Найбільш примітивними серед них вважають губок, пластинчастих, реброплавів та кишковопорожнинних (жалких). Але хто з них є найближчим до спільного предка всіх тварин, поки що залишається предметом наукової дискусії.

Деякі групи тварин

Назва групи	Характерні ознаки	Представники
Губки	Водні організми. Тіло складається з двох шарів клітин. Мають вапняковий, кремнієвий або роговий скелет. Поширені в солоних і прісних водоймах. Живляться, відфільтровуючи поживні частки	Кубок Нептуна, кошик Венери, бодяга ставкова
Пластинчасті 	Пластинчасті тварини мають неправильну форму, яка може змінюватися. Мають в організмі всього чотири види клітин. Живуть у тропічних і субтропічних морях	Трихоплакс, трептоплакс
Реброплави	Водні організми. Тіло складається з двох шарів клітин. Мають радіальну симетрію тіла. На поверхні тіла розташовані гребні з війок, які забезпечують рух тварин. Поширені в солоних водоймах. Більшість представників є хижаками	Венерин пояс, мнеміопсис, мертензія
Жалкі	Водні організми. Тіло складається з двох шарів клітин. Мають радіальну симетрію тіла. На поверхні тіла розташовані жалкі клітини. Поширені в солоних і прісних водоймах. Більшість представників є хижаками	Аурелія, гідра, коренерот

Закінчення таблиці

Назва групи	Характерні ознаки	Представники
Первинноротi	Водні або наземні організми. Тіло складається з трьох шарів клітин. Мають двобічну симетрію тіла. Під час ембріонального розвитку на місці бластопора у гаструлі утворюється рот. Живуть у всіх відомих біотопах. Трапляються види з усіма можливими для тварин типами живлення	Комахи, молюски, круглі та кільчасті черви
Вторинноротi	Водні або наземні організми. Тіло складається з трьох шарів клітин. Мають двобічну або радіальну симетрію тіла. Під час ембріонального розвитку на місці бластопора у бластулі утворюється анальний отвір. Живуть у всіх відомих біотопах. Трапляються представники з усіма можливими для тварин типами живлення	Морські зірки, риби, птахи, ссавці

Сучасні систематики до царства Справжні тварини включають не тільки багатоклітинні форми. Одноклітинними тваринами і безпосередніми предками всіх багатоклітинних тварин вважають комірцевих джгутиконосців (хоанофлагелятів). Ця назва відображає особливості їхньої будови. Вони мають один джгутик, який оточений комірцем із 30–40 мікроворсинок.

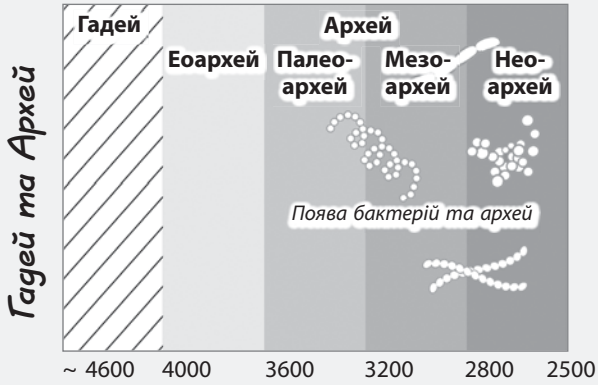
Отже, тепер ви знаєте

1. До якого субдомену еукаріотів відносять тварин? 2. На які групи їх поділяють? 3. Які організми належать до фаготрофів? 4. Чим різниться живлення фаготрофів та осмотрофів? 5. У яких галузях промисловості людина використовує тварин? 6*. Яку ще роль можуть виконувати тварини в житті людини, окрім перелічених у параграфі?

Запитання та завдання

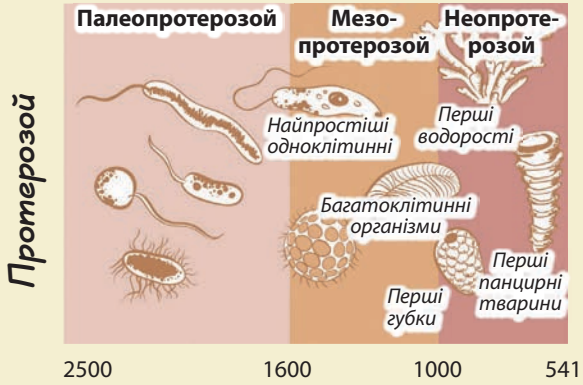
7. Яке значення у природі мають тварини? 8. Протягом тривалого часу реброплавів відносили до типу Кишковопорожнинні, але потім виділили в окремий тип. Наведіть аргументи на користь такого рішення. 9*. Які особливості дозволили тваринам стати найбільшою за кількістю видів групою живих організмів?

Формування біорізноманіття в процесі еволюції



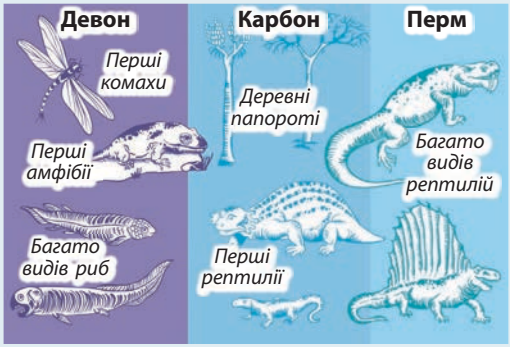
- Хімічна еволюція
- Виникнення доклітинних форм життя
- Виникнення LUCA (останнього універсального предка всіх живих організмів) 4,1–3,6 млрд років тому
- Поява прокаріотів (бактерій та архей)
- Поява вірусів

- Виникнення еукаріотів від однієї з груп архей
- Накопичення кисню в атмосфері як результат діяльності фотосинтезуючих прокаріотів і масове вимирання анаеробних організмів
- Поширення аеробних організмів
- Утворення Землі-сніжка (повністю вкритої льодом планети) і пов'язане з цим масове вимирання організмів
- Виникнення багатоклітинних організмів



- Кембрійський вибух — масова поява великої кількості організмів з твердим скелетом
- Поява всіх відомих типів тварин
- Поява перших наземних рослин
- Масове вимирання живих організмів (ордовицько-силурійське)

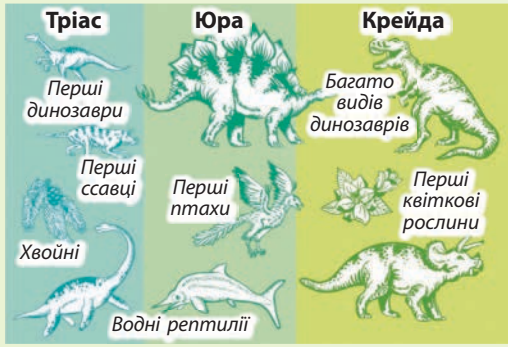
Палеозой (друга половина)



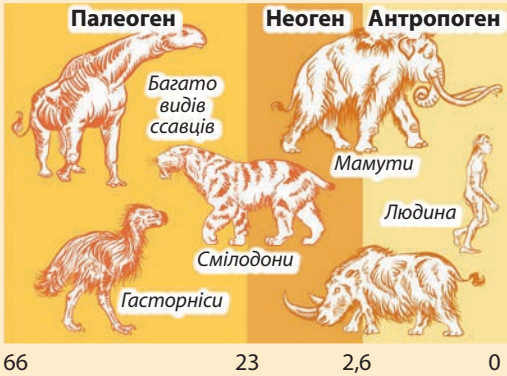
- Поява хрящових і кісткових риб
- Перші наземні тварини (членистоногі, черви, амфібії)
- Виникнення та поширення сучасних груп вищих спорових рослин та голонасінних рослин
- Перші дерева
- Поява комах і плазунів
- Найбільше в історії вимирання живих організмів (пермсько-тріасове)

Мезозой

- Масове поширення рептилій (наземних, водних, літаючих)
- Виникнення ссавців
- Масове вимирання живих організмів (тріасове)
- Виникнення бурих та діатомових водоростей
- Виникнення птахів
- Поява покритонасінних рослин
- Друге за масштабом вимирання живих організмів в історії (крейдове)



Кайнозой



- Поширення сучасних груп ссавців, птахів і членистоногих
- Поширення сучасних груп наземних рослин
- Формування сучасних екосистем
- Поява людини
- Масове вимирання тварин великих розмірів 11–10 тис. років тому

Числами позначено час (мільйони років тому)

Неклітинні форми життя

Особливості	Віруси	Віроїди	Пріони
Склад	ДНК або РНК, білки	РНК	Білок
Організми-хазяї	Усі клітинні організми	Вищі рослини	Ссавці, гриби, рослини
Викликані хвороби	Сказ, грип, СНІД, віспа, гепатит, ебола, кір, краснуха, вірусний паротит, ящур	Веретеноподібність бульб картоплі, карликовість хризантем та томатів	Куру, скрепі, хвороба Крейтцфельдта — Якоба, фатальне родинне безсоння

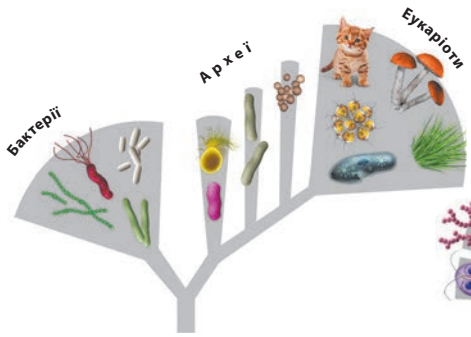
Прокаріотичні організми

Бактерії	Археї
Ознаки: • Одноклітинні, колоніальні або багатоклітинні • Клітинна стінка з муреїну • Мембрана завжди двошарова • Геном не містить гістонів	Ознаки: • Одноклітинні • Клітинна стінка із псевдомуреїну, S-білків тощо • Мембрана може бути двошаровою або одношаровою • У геномі присутні гістоноподібні білки
Представники: ціанобактерії, протеобактерії, грампозитивні бактерії, актиноміцети, ріккетсії, хламідії, спірохети, планктоміцети	**Представники:** евріархеоти (галоархеї, метаноархеї), кренархеоти, наноархеоти, асгардархеоти

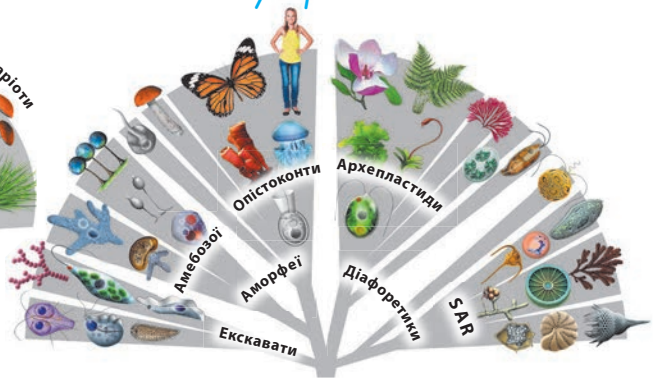
Еукаріотичні організми

Екскавати	Діафоретики	Аморфеї
Ознаки: • одноклітинні • джгутиків переважно 4, 6, 8; зрідка 1–2 передніх • мітохондрії часто редуковані або з дископодібними кристами • статевий процес відсутній • гетеротрофні (за винятком деяких евглен)	**Ознаки:** • одноклітинні, колоніальні або багатоклітинні • джгутиків переважно 2, передні або бічні • мітохондрії з трубчастими або пластинчастими кристами • автотрофні та гетеротрофні	**Ознаки:** • одноклітинні, колоніальні або багатоклітинні • джгутик переважно 1, задній • мітохондрії з трубчастими або пластинчастими кристами • гетеротрофні
Представники: евглени, трихомонади, трипаносоми, лямблії, акразієві слизовики	**Представники**: бурі, діатомові, червоні, зелені водорості, вищі рослини, несправжні гриби, інфузорії, споровики-апікомплекси, радіолярії, форамініфери, сонцевики	**Представники**: типові амеби, справжні слизовики, справжні гриби, комірчасті джгутиконосці, багатоклітинні тварини, у т. ч. людина

Класифікація клітинних організмів



Класифікація еукаріотів



Завдання до теми

Завдання для індивідуальної роботи

1. Класифікуйте і визначте систематичне положення в системі органічного світу одного із запропонованих видів: мухомор червоний, ведмідь бурий, пшениця тверда.

2. Складіть характеристику однієї із запропонованих груп організмів та подайте її у вигляді презентації. Групи організмів для складання характеристики: віруси, бактерії, археї, еукаріоти.

3. Складіть характеристику за видовими критеріями одного із запропонованих видів: лось, горобець польовий, лисиця, колорадський жук, білий гриб, мукор, дуб звичайний, картопля, шипшина, сосна звичайна.

4. Як було встановлено, стерилізація м'яса та субпродуктів перед їх приготуванням за допомогою кип'ятіння забезпечувала профілактику зараження бактеріями та вірусами. Але вона не запобігала зараженню пріонами. Запропонуйте пояснення цього факту.

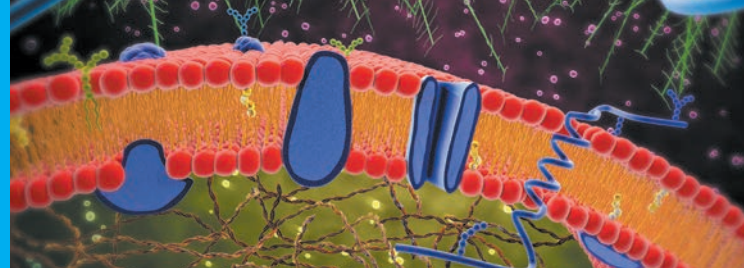
Завдання для роботи в групах

5. Складіть порівняльну характеристику двох груп організмів та подайте її у вигляді презентації. Групи організмів для порівняння: одноклітинні й багатоклітинні еукаріоти, археї і бактерії, віруси і віроїди, віроїди і пріони.

Теми навчальних проектів

Складання характеристики виду за видовими критеріями.

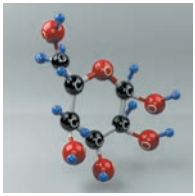
Перевірте свої знання з теми «Біорізноманіття».



Тема 2

Обмін речовин і перетворення енергії

14 Органічні речовини живих організмів



На які групи поділяють речовини живих організмів? Чим відрізняються неорганічні речовин від органічних? Які існують групи органічних речовин? З яких мономерів складаються полімерні органічні речовини?

Основні групи органічних речовин

Якщо визначити вміст різних речовин у живих організмах, то води в них міститься більше за все. Це зрозуміло, бо вода становить основу внутрішнього середовища організмів. Але якщо не враховувати воду, то основну частину маси тіла становитимуть органічні речовини. Як ви вже знаєте, основними органічними речовинами живих організмів є білки, вуглеводи, ліпіди й нуклеїнові кислоти.

Ці речовини є основою живих клітин (у тому числі й усіх органел). Без них неможливе існування процесів обміну речовин і здійснення біохімічних реакцій з високою швидкістю. Усі фундаментальні властивості живого проявляються завдяки саме цим речовинам.

Органічні речовини утворюють не тільки структури живих клітин, але й важливі позаклітинні структури. Наприклад, вуглевод хітин є основою зовнішніх покривів членистоногих, а білки кератини утворюють волосся, нігті, роги носорогів, пір'я птахів тощо.

Білки

Білки — це великі органічні молекули, біополімери. Мономерами білків є амінокислоти. **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.

Білки за їхнім складом можна розділити на дві великі групи — прості та складні. До складу *простих* білків входять тільки амінокислоти. *Складні* білки, крім залишків амінокислот, містять ще й небілкову частину — простетичну групу. Такою групою може бути як органічна, так і неорганічна молекула.

За формою молекули білки також можна поділити на дві великі групи — глобулярні й фібрилярні. Молекули *глобулярних* білків мають вигляд грудочки, а молекули *фібрилярних* білків — нитки.

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.

Основними функціями білків є каталітична, структурна, регуляторна, сигнальна, транспортна, захисна, рухова, запасаюча і токсична.

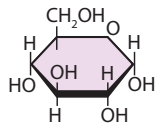
Вуглеводи

Вуглеводи є складними органічними сполуками, до складу молекул яких входять кілька груп: гідроксильна (–OH), карбоксильна (–COOH) або карбонільна (–COH). Загальна формула вуглеводів — $C_n(H_2O)_m$, де n і m є натуральними числами.

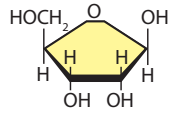
Значна частина вуглеводів є біополімерами (крохмаль, целюлоза, глікоген). Такі біополімери називають *полісахаридами*. Їхніми мономерами є молекули невеликих вуглеводів (наприклад, глюкози), які називають *моносахаридами*. Такі вуглеводи містять невелику кількість атомів Карбону (від 3 до 7 атомів у молекулі). У живих організмах моносахариди можуть міститися як окремі речовини, а не тільки у складі полісахаридів, або об'єднуватися попарно, утворюючи *дисахариди* (мал. 14.1).

Моносахариди

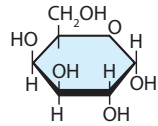
Глюкоза



Рибоза

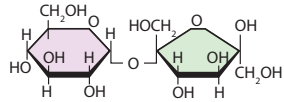


Галактоза

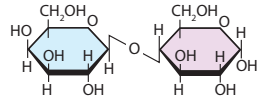


Дисахариди

Сахароза = Глюкоза + Фруктоза

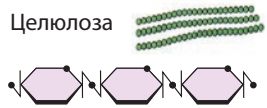


Лактоза = Галактоза + Глюкоза

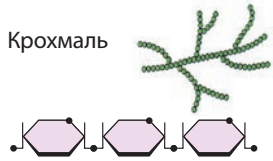


Полісахариди

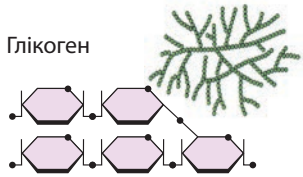
Целюлоза



Крохмаль

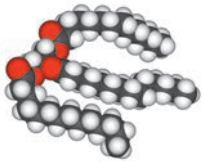


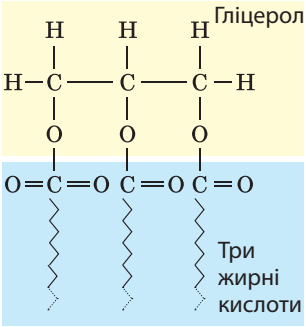
Глікоген



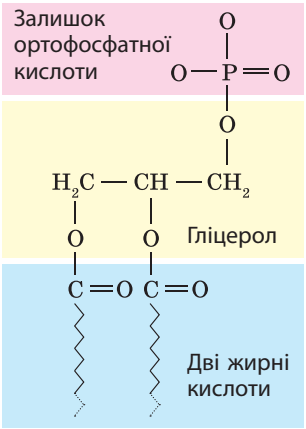
Мал. 14.1. Молекули вуглеводів

Тригліцерид

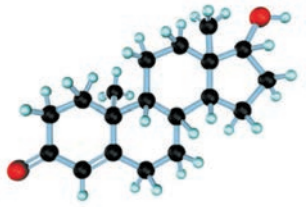




Фосфоліпід



Стероїд



Мал. 14.2. Молекули ліпідів

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

Ліпіди

Ліпіди є групою речовин, які об'єднали насамперед не за хімічною будовою, а за фізичними властивостями. Вони всі є нерозчинними у воді маслянистими або жирними речовинами. Найбільш поширеними ліпідами є жири й олії (естери трьохатомного спирту), воски (естери одноатомного спирту) та стероїди (ароматичні сполуки) (мал. 14.2).

Складовою більшості ліпідів є багатоатомний спирт гліцерол ($C_3H_5(OH)_3$) і жирні кислоти. У багатьох випадках до молекули гліцеролу приєднуються тільки дві молекули жирних кислот. А третя ОН-група взаємодіє з молекулою ортофосфатної кислоти (такі сполуки називають **фосфоліпідами**).

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 в складі молекул кожного з восків є лише одна молекула жирної кислоти й одна молекула спирту.

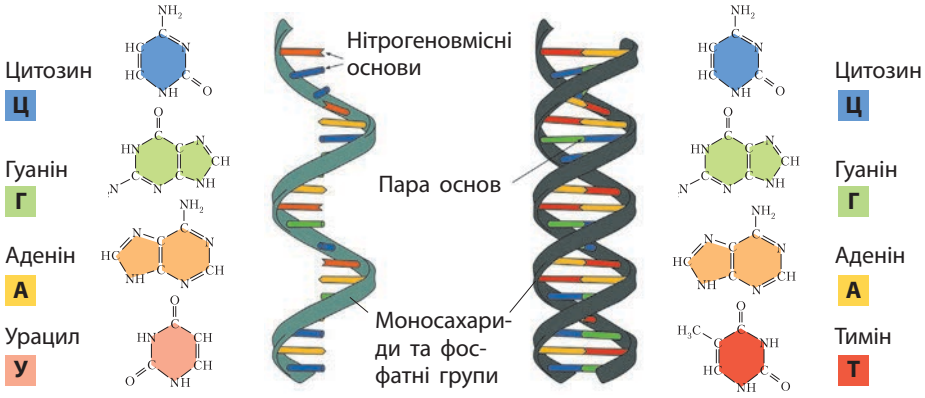
Стероїди не містять ані жирних кислот, ані спиртів. Вони є полімерами вуглеводню ізопрену (C_5H_8). Їхній скелет з атомів Карбону утворює кілька кільцевих структур, об'єднаних в одне ціле.

Основними функціями ліпідів у живих організмах є структурна, захисна, регуляторна, резервна, пластична й енергетична.

Нуклеїнові кислоти

Молекули **нуклеїнових кислот** є великими органічними молекулами — біополімерами, мономерами яких є нуклеотиди. У живих організмах існує два типи нуклеїнових кислот — РНК (рибонуклеїнова кислота) і ДНК (дезоксирибонуклеїнова кислота). Вони відрізняються між собою за складом і особливостями будови (мал. 14.3).

До складу нуклеотидів ДНК входить залишок ортофосфатної кислоти, моносахарид дезоксирибо-



РНК (рибонуклеїнова кислота) **ДНК (дезоксирибонуклеїнова кислота)**

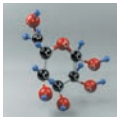
Мал. 14.3. Молекули нуклеїнових кислот

за і чотири нітрогеновмісні основи — аденін, тимін, цитозин і гуанін. А власне молекули ДНК зазвичай складаються з двох ланцюжків нуклеотидів, які з'єднані між собою водневими зв'язками.

Будова молекули РНК схожа на будову молекули ДНК, але у нуклеотидах РНК замість дезоксирибози міститься моносахарид рибоза, а замість тиміну — урацил. Крім того, молекула РНК зазвичай складається з одного ланцюжка нуклеотидів, різні фрагменти якого утворюють між собою водневі зв'язки.

Головною функцією нуклеїнових кислот є робота зі спадковою інформацією, а саме: її зберігання, передача та реалізація.

Отже, тепер ви знаєте



1. Яку будову мають молекули основних груп органічних речовин? 2. Які функції в живих організмах виконують білки, вуглеводи, ліпіди й нуклеїнові кислоти? Наведіть приклади.

Запитання та завдання

3. Поясніть на прикладах, у який спосіб білки й вуглеводи виконують структурну функцію в живих організмах. 4*. Молекули тваринних жирів і рослинних олій можуть мати однакову кількість атомів Карбону в жирних кислотах, які входять до їхнього складу. Але за кімнатної температури жири тверді, а олії рідкі. З чим це може бути пов'язано? 5*. У деяких випадках молекули РНК можуть виконувати каталітичні функції (наприклад, у рибосомі молекули РНК є каталізатором утворення пептидного зв'язку). А от ДНК таку функцію ніколи не виконує. Чому?

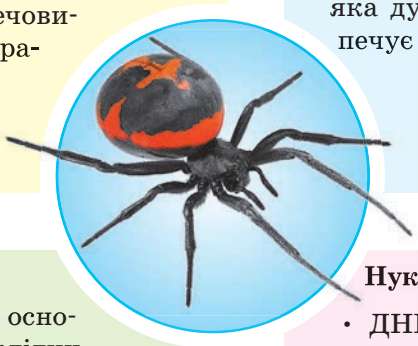
Тварини (на прикладі каракурта)

Білки:

- Є каталізаторами реакцій циклу Кребса в мітохондріях
- Входять до складу зовнішніх покривів і забезпечують їхню міцність
- Родопсин сприймає світло в клітинах очей
- Гемоціанін транспортує кисень у тілі тварини
- Актин і міозин у результаті взаємодії здійснюють скорочення м'язів
- Альфа-латротоксин є основною діючою речовиною отрути каракурта
- Павутина є білком

Вуглеводи:

- Хітин є основою зовнішніх покривів
- Запасні речовини відкладаються в клітинах у вигляді глікогену
- Вуглеводи клітинних мембран забезпечують розпізнавання клітин під час їхньої взаємодії
- Рибоза і дезоксирибоза беруть участь в утворенні нуклеїнових кислот
- Глюкоза є речовиною, яка дуже швидко забезпечує клітини енергією



Ліпіди:

- Фосфоліпіди є основою мембран клітин
- Разом з білками утворюють ліпопротеїни
- Використовуються клітинами для отримання енергії в результаті біологічного окиснення
- Стероїдний гормон екдизон контролює линяння

Нуклеїнові кислоти:

- ДНК і РНК забезпечують передачу й реалізацію спадкової інформації
- РНК рибосом у клітинах каталізує реакцію утворення пептидного зв'язку

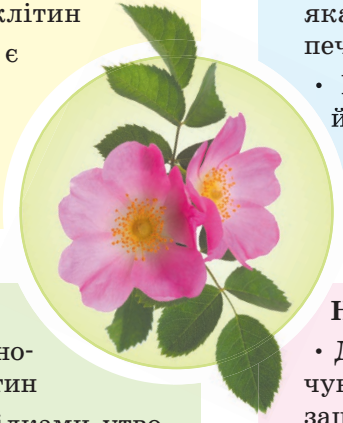
Рослини (на прикладі шипшини)

Білки:

- Є каталізаторами реакцій синтезу глюкози в хлоропластах
- Амілази розщеплюють полісахариди
- Лектини беруть участь у захисті рослини від патогенів
- Спеціальні білки (транскрипційні фактори) контролюють ріст і розвиток органів і тканин рослини
- Білки-переносники забезпечують транспорт речовин крізь мембрани клітин
- Короткі пептиди є фітогормонами

Вуглеводи:

- Целюлоза утворює стінки клітин
- Поживні речовини транспортуються між частинами рослини у вигляді сахарози
- Рибоза й дезоксирибоза беруть участь в утворенні нуклеїнових кислот
- Запасні речовини відкладаються в клітинах у вигляді крохмалю
- Глюкоза є речовиною, яка дуже швидко забезпечує клітини енергією
- Глюкоза, фруктоза й сахароза є основою нектару



Ліпіди:

- Фосфоліпіди є основою мембран клітин
- Ліпіди разом з білками утворюють ліпопротеїни
- Використовуються клітинами для отримання енергії в результаті біологічного окиснення
- Входять до складу ефірних олій, які надають квітам запаху

Нуклеїнові кислоти:

- ДНК і РНК забезпечують передачу й реалізацію спадкової інформації
- РНК рибосом у клітинах каталізує реакцію утворення пептидного зв'язку

15 Обмін речовин та енергії в біологічних системах

Що таке система? Що таке замкнена система? Що таке незамкнена система? Чи існують незамкнені неорганічні системи? Чи всі органічні системи є незамкненими? Які речовини організми отримують з навколишнього середовища та виділяють у нього?

Обмін речовин та енергії

Живі організми загалом і їхні клітини зокрема є біологічними системами, елементи яких об'єднані спільним обміном речовин і перетворенням енергії. **Обмін речовин** — це сукупність хімічних реакцій, які відбуваються в організмах та їхніх клітинах і потрібні для підтримання їхньої життєдіяльності.

Обмін речовин можна умовно поділити на два етапи — обмін із навколишнім середовищем і внутрішній обмін. З обміном речовин тісно пов'язаний і обмін енергії. Під час реакцій обміну речовин енергія може витрачатися або запасатися організмом для наступного використання. Запасається вона у вигляді різних хімічних сполук, наприклад АТФ, глікогену, крохмалю, ліпідів тощо. Частина енергії не використовується організмом і виділяється у навколишнє середовище у вигляді тепла.

Метаболізм

Метаболізм визначають як закономірний порядок перетворення речовин та енергії в окремій клітині та організмі загалом, спрямований на ріст, життєдіяльність та самовідтворення як окремих клітин, так і всього організму в цілому. Метаболізм складається з двох типів обміну, або взаємопов'язаних комплексів реакцій. Це реакції пластичного (*анаболізм*) та енергетичного (*катаболізм*) обміну.

У результаті реакцій пластичного обміну утворюються складні органічні сполуки (білки, вуглеводи, ліпіди тощо). Вони синтезуються організмом з більш простих сполук (білки з амінокислот, вуглеводи з моносахаридів тощо). Для здійснення цих реакцій клітини організму витрачають енергію.

Під час реакцій енергетичного обміну складні органічні речовини перетворюються на прості органічні або неорганічні речовини. Наприклад, глюкоза спочатку перетворюється на піруват, а піруват

у наступних процесах — на воду й вуглекислий газ. У результаті цих реакцій клітини організму запасають енергію у вигляді певних хімічних сполук (АТФ, глікоген, крохмаль тощо). Саме ця енергія використовується для здійснення реакцій пластичного обміну. Частина енергії реакцій не запасається, а виділяється у вигляді тепла. Це тепло є побічним продуктом реакцій метаболізму, але воно також може використовуватися живими організмами у їхній життєдіяльності.

Інтенсивність метаболізму

Метаболізм відбувається в усіх живих організмах. Але його інтенсивність може змінюватися за певних умов. У деяких випадках вона може збільшуватися, а в деяких — зменшуватися.

Основними причинами збільшення чи зменшення інтенсивності метаболізму є підвищення чи зниження температури середовища, поява або зникнення небезпеки, захворювання, дія певних факторів зовнішнього середовища тощо.

Висока інтенсивність метаболізму є причиною збільшення виділення тепла (як побічного продукту реакцій обміну). Цей ефект використовують, наприклад, бджоли, які активною роботою м'язів крил можуть зігріватися в холодну пору року. Озноб у людини, що виникає в разі замерзання, теж є проявом цього явища. У цьому випадку м'язи тіла часто скорочуються й розслабляються, сприяючи виробленню додаткового тепла.

Зниження інтенсивності метаболізму дозволяє живим організмам суттєво «економити» свої ресурси. У такий спосіб вони можуть переживати несприятливі умови, які періодично виникають в екосистемі. Прикладом цього є, наприклад, явище сплячки тварин та перебування взимку насінин рослин у стані спокою.

Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке обмін речовин? 2. Що таке метаболізм? 3. Які є типи обміну? 4. Які процеси відбуваються в ході анаболізму та катаболізму? 5. До якого типу обміну належать реакції гліколізу? 6. Під час реакцій фотосинтезу з неорганічних речовин утворюється глюкоза, але цей процес вважають частиною енергетичного обміну. Чому?

Запитання та завдання

7. Який біохімічний цикл і чому можна вважати центральною ланкою метаболізму клітини еукаріотів? 8*. Багато видів тварин впадає у сплячку взимку, коли мало їжі й холодно. Але деякі тварини можуть впадати у сплячку влітку. Чому?

16 Структури клітин, які забезпечують процеси метаболізму

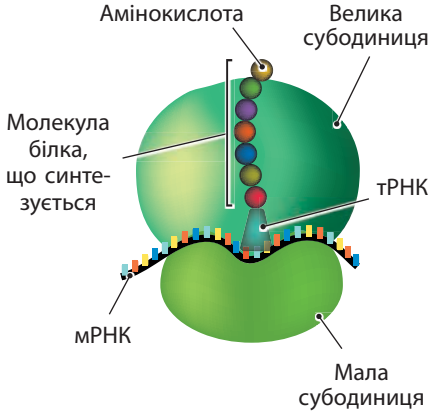
Які органели є у клітинах прокаріотів та еукаріотів? На які групи поділяють органели клітин? Які особливості будови мають мембрани клітин? Які функції вони виконують?

Структурне забезпечення метаболізму

Значна частина метаболічних процесів відбувається в цитоплазмі клітини. Але в багатьох випадках для цього потрібні особливі структури. Ці структури є органелами клітини.

Органели поділяють на дві великі групи — мембранні й немембранні. Мембранні органели відокремлені від інших частин клітини плазматичними мембранами, які їх укривають. Цих мембран може бути одна (у одномембранних органел) або дві (у двомембранних).

Хоча тою чи іншою мірою в процесах метаболізму задіяні всі структури клітин, але за ступенем важливості їх можна розрізняти. До найбільш важливих відносять рибосоми (немембранні органели), ядро, мітохондрії і пластиди (двомембранні) та ендоплазматичну сітку і комплекс Гольджі (одномембранні).



Мал. 16.1. Будова рибосоми й процес синтезу білка

Рибосоми

Рибосоми синтезують білки з амінокислот. Вони мають складну форму і складаються з двох частин (субодиниць) — великої та малої, — які можуть розпадатися й об'єднуватися знову. До складу субодиниць входять молекули РНК і білків (мал. 16.1).

Рибосоми розташовані в цитоплазмі клітин, на ендоплазматичній сітці, в мітохондріях і пластидах. Їх поділяють на два типи: *прокаріотичні* (менші за розміром) та *еукаріотичні* (більші). Рибосоми прокаріотичного типу містяться в клітинах прокаріотів, а також у мітохондрі-

ях і пластидах. А рибосоми еукаріотичного типу — в клітинах еукаріотів, у цитоплазмі та на ендоплазматичній сітці.

Ядро

Ядро відповідає за збереження, відтворення й реалізацію спадкової інформації. Керує всіма процесами в клітині.

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 (мал. 16.2).

Мал. 16.2. Будова ядра

Мітохондрії

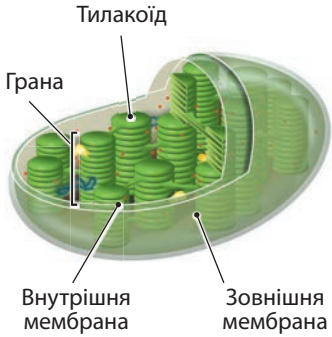
Мітохондрії виробляють енергію в результаті процесів біологічного окиснення. Внутрішня мембрана мітохондрій утворює вирости — *кристи*. Така будова мембрани дозволяє розмістити на ній багато білкових комплексів, які здійснюють процеси біологічного окиснення. Зовнішня мембрана гладенька. Внутрішнє середовище мітохондрій називається *матриксом*. Містять рибосоми прокаріотичного типу. У матриксі містяться кільцеві молекули мітохондріальної ДНК (мал. 16.3).

Мал. 16.3. Будова мітохондрії

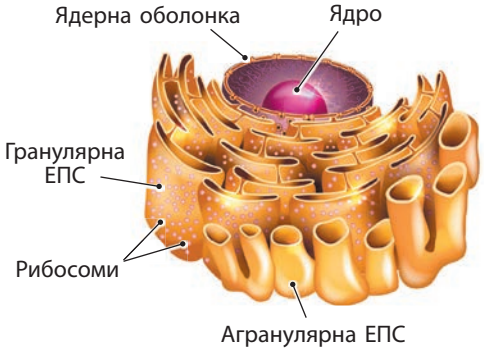
Пластиди

Пластиди здійснюють процес фотосинтезу. Вони синтезують необхідні для цього процесу білки. Можуть забезпечувати забарвлення органів рослин і накопичувати резервні речовини.

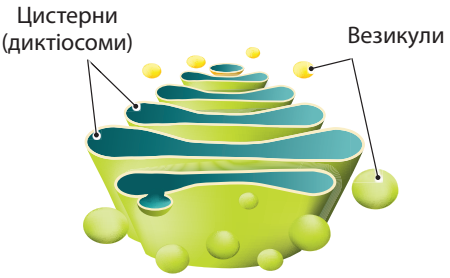
Внутрішня мембрана пластид може утворювати відокремлені від неї структури у вигляді сплощених мішечків — *тилакоїдів* (мал. 16.4). Така будова мембрани дозволяє



Мал. 16.4. Будова хлоропласта



Мал. 16.5. Будова ендоплазматичної сітки



Мал. 16.6. Будова комплексу Гольджі

розмістити у них багато білкових комплексів, які здійснюють процеси фотосинтезу. Зовнішня мембрана гладенька. Внутрішнє середовище пластид називається *стромою*. У ній містяться кільцеві молекули ДНК. Пластиди містять рибосоми прокаріотичного типу. За забарвленням розрізняють зелені (хлоропласти), жовто-помаранчеві або червоні (хромопласти) і знебарвлені (лейкопласти).

Ендоплазматична сітка

Розрізняють два основні типи ендоплазматичної сітки (ЕПС) — агранулярну (гладеньку) і гранулярну (шорстку). **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.

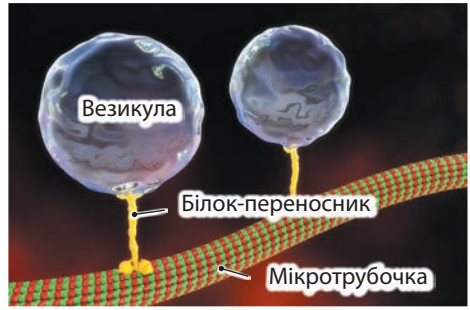
Ендоплазматична сітка складається із системи дрібних вакуолей і канальців, які з'єднані між собою. На мембранах гранулярної ендоплазматичної сітки розташовані рибосоми (мал. 16.5).

Комплекс Гольджі

Ця структура відповідає за модифікацію білків, упаковування синтезованих продуктів у гранули, синтез деяких полісахаридів, формування клітинної мембрани, транспорт речовин, синтезованих у клітині, за її межі.

Комплекс Гольджі утворено системою *диктіосом*. Вони мають вигляд стовпчиків із 5–20 пласких мембранних мішечків (цистерн), які розподілені в цитоплазмі окремо або з'єднуються в одну структуру (мал. 16.6). Транспорт речовин між ЕПС, комплексом Гольджі та іншими органелами здійснюється переважно за допомогою везикул — невеликих пухирців, які відокремлені від цитозолю мембра-

ною. Везикули можуть як зливатися з цистернами комплексу Гольджі, так і виокремлюватися від них.



Мал. 16.7. Транспорт продуктів метаболізму вздовж мікротрубочок цитоскелета

Цитоплазма

Структури цитоплазми клітин також відіграють дуже важливу роль у процесах метаболізму. Особливе значення мають цитозоль та цитоскелет. **Цитозоль** (або гіалоплазма) є напіврідкою структурою, щільність якої може змінюватися в досить широких межах залежно від потреб клітини. Він є найбільшою за об'ємом складовою цитоплазми й утворює середовище, в якому відбуваються біохімічні реакції. Саме в цитозолі, наприклад, здійснюються реакції процесу гліколізу.

Значну роль цитозоль відіграє і в процесах синтезу білків. Наприклад, у ссавців у цитозолі синтезується приблизно половина білків клітини. Ще одна важлива функція цієї структури — передача сигналів із зовнішнього середовища до ядра клітини і назад.

Цитоскелет у процесах метаболізму виконує важливу транспортну функцію. За допомогою його мікротрубочок усередині клітини переміщуються, наприклад, продукти метаболізму (мал. 16.7). Для цього вони пакуються в невеличкі ліпідні пухирці (везикули) і за допомогою білків-переносників переміщуються вздовж мікротрубочок з використанням енергії АТФ.

Отже, тепер ви знаєте

1. Чому для здійснення деяких процесів метаболізму потрібні певні структурні утворення в клітині? 2. Які структури клітини є найбільш важливими для здійснення метаболізму? 3. Які метаболічні процеси відбуваються в цих структурах? Складіть таблицю. 4*. Як взаємопов'язана структура кожної з органел, що розглянуто в параграфі, з функціями, які вона виконує?

Запитання та завдання

5. В якій клітині тіла людини буде краще розвинений комплекс Гольджі — у секреторній клітині слинної залози чи в клітині лобної кістки? Чому? 6*. У однієї з нитчастих ціанобактерій є здатність і до фотосинтезу, і до азотфіксації. Але кожна з клітин в її нитці здійснює тільки один із цих процесів — або фіксує азот, або здійснює фотосинтез. Як можна пояснити цей факт?

17 Клітинне дихання

У результаті якого типу обміну живі організми виробляють енергію для своїх потреб? Що таке окиснення? Де в клітині можуть відбуватися процеси окиснення? Які функції в клітині виконують молекули АТФ? Що таке макроергічний зв'язок? Що таке ацетил-КоА (ацетил-коензим А)?

Клітинне дихання

Клітинним диханням називають сукупність процесів одержання клітиною енергії за рахунок окиснення органічних речовин. Воно може здійснюватися як за відсутності, так і за наявності кисню. Реакції окиснення відбуваються в цитоплазмі та мітохондріях клітин.

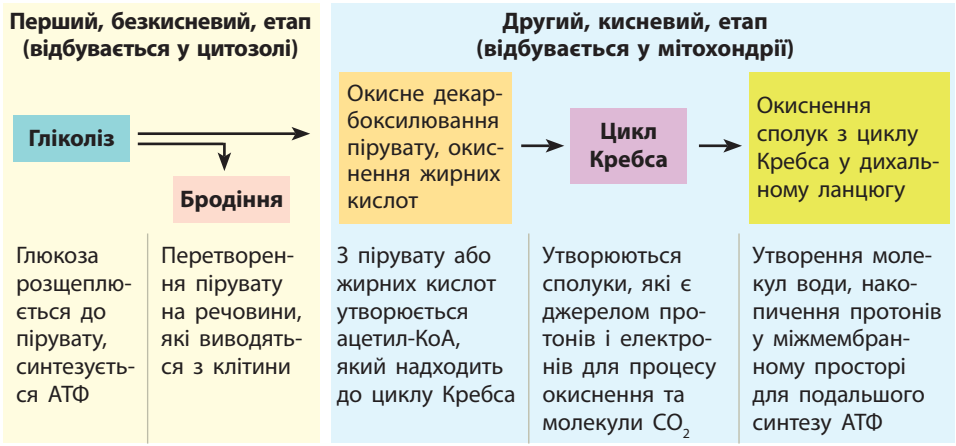
Результатом клітинного дихання є запасання клітиною енергії у вигляді макроергічних зв'язків молекул АТФ. У процесі клітинного дихання виділяють два етапи: безкисневий (перший) і кисневий (другий) (мал. 17.1). На *безкисневому етапі* відбувається розщеплення складних органічних речовин на більш прості. А на *кисневому* — розщеплення цих більш простих речовин до вуглекислого газу й води. Кисневий етап може відбуватися не завжди і не в усіх живих організмах (не відбувається, наприклад, у анаеробів).

Перший етап клітинного дихання

Перший етап клітинного дихання є **безкисневим**. Він відбувається в цитозолі клітин. Його основою є процес гліколізу. *Гліколіз* — це біохімічний процес, який зазвичай відбувається в усіх клітинах організму і є одним із джерел постачання АТФ для клітини. У результаті гліколізу з однієї молекули глюкози утворюється дві молекули пірувату (піровиноградної кислоти) та дві молекули АТФ:

$$\underset{\text{Глюкоза}}{C_6H_{12}O_6} \rightarrow 2\underset{\text{Піруват}}{C_3H_4O_3} + 2H_2O + 2АТФ$$

Якщо клітина не має можливості здійснювати другий етап клітинного дихання (наприклад, за нестачі кисню), то перший етап



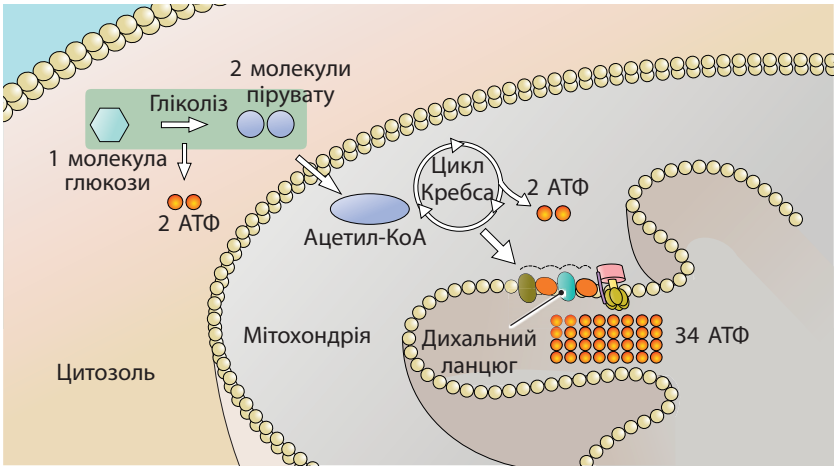
Мал. 17.1. Схема процесу клітинного дихання

завершується процесом бродіння, у якому проміжні сполуки перетворюються на певні органічні речовини.

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 етапі бродіння, залежно від його типу, піруват перетворюється на інші речовини. Ці речовини виводяться з клітини як уже не потрібні продукти обміну речовин.

У результаті с*пиртового* бродіння утворюються молекули етилового спирту, води й вуглекислого газу, *молочнокислого* — молочна кислота, *оцтовокислого* — оцтова кислота (мал. 17.2). Існують й інші типи бродіння.

Мал. 17.2. Приклади використання людиною різних типів бродіння



Мал. 17.3. Схема етапів клітинного дихання

Другий етап клітинного дихання

Це **кисневий** етап розщеплення простих органічних речовин, які утворилися з більш складних під час безкисневого етапу клітинного дихання або у результаті інших біохімічних реакцій.

У результаті першого етапу клітинного дихання, який відбувається в цитозолі, як ви вже знаєте, утворюється піруват (піровиноградна кислота). Під час другого етапу клітинного дихання піруват транспортується з цитозолю в матрикс мітохондрії, де відбувається спочатку його окисне декарбоксилювання (з перетворенням на ацетил-КоА), а потім його подальше окиснення до вуглекислого газу та води (мал. 17.3).

Ключовою ланкою процесу клітинного дихання, яка відбувається під час його другого етапу, є **цикл Кребса** (цикл трикарбонових кислот). Саме в реакціях цього циклу утворюються сполуки, які є джерелом протонів і електронів для процесу окиснення. Ці сполуки надходять у **дихальний ланцюг** (складний комплекс білків, які вбудовано у внутрішню мембрану мітохондрії), де і завершується процес окиснення. До циклу Кребса можуть потрапляти не тільки продукти першого етапу клітинного дихання, але й речовини з інших біохімічних процесів (наприклад, продукти бета-окиснення жирних кислот). Сполуки, які утворюються в реакціях циклу Кребса, можуть використовуватися не тільки для отримання енергії. За потреби вони можуть надходити до інших метаболічних процесів (наприклад, як вихідні речовини у процесах синтезу вуглеводів, жирів і білків).

Ефективність процесу клітинного дихання

Клітинне дихання є надзвичайно ефективним процесом. Іще під час першого його етапу — гліколізу — з однієї молекули глюкози клітина отримує 2 молекули АТФ, а на наступних етапах клітинного дихання до цих молекул додається ще 36 молекул.

Загальна формула біологічного окиснення:

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

Окиснення відбувається в кілька етапів, на кожному з яких виділяється енергія. Частина енергії виділяється у вигляді тепла (45 %) і може використовуватися для підтримання оптимальної температури організму, а частина (55 %) запасається в АТФ.

Біологічне окиснення є найбільш ефективним механізмом живих організмів для забезпечення їхніх клітин енергією.

• Маса всіх молекул АТФ, які утворюються в клітинах організму людини за добу, дорівнює масі самої людини.

• Предок усіх еукаріотів мав мітохондрії, жив у кисневому середовищі, і в його клітині відбувалися обидва етапи процесу клітинного дихання. У деяких сучасних еукаріотів мітохондрій немає, тому в їхніх клітинах другий етап клітинного дихання не відбувається. Свої мітохондрії вони втратили у процесі пристосування до анаеробних умов життя.

Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке клітинне дихання, на які етапи воно поділяється? 2. Що відбувається під час кожного з етапів клітинного дихання? 3. Що таке бродіння? У якому випадку воно відбувається? 4. Які існують типи бродіння? Наведіть приклади. 5. Коли під час клітинного дихання утворюються CO_2 і H_2O?

Запитання та завдання

6. Після тривалих фізичних навантажень у людини можуть боліти м'язи через накопичення у них молочної кислоти, яка утворюється з пірувату після першого етапу клітинного дихання. Але в клітинах людини відбувається і другий етап цього процесу. Чому ж тоді накопичується молочна кислота? 7*. Знайдіть приклади, коли процеси бродіння в продуктах харчування погіршують їхній смак. 8*. Відома отрута калій ціанід блокує лише одну молекулу (цитохром С) у дихальному ланцюгу. Але це стає причиною дуже швидкої загибелі людини від дуже маленької дози цієї речовини. Чому?

18 Особливості обміну речовин в автотрофних і гетеротрофних організмах

Які організми є гетеротрофними, а які автотрофними? Які організми можуть здійснювати фотосинтез, а які — хемосинтез? Які речовини організми поглинають і виділяють під час дихання і фотосинтезу?

Подібність процесів обміну в різних організмів

Усім живим організмам для їхнього росту, розвитку й розмноження необхідні органічні речовини та енергія. Основним джерелом енергії для всіх організмів є окиснення органічних молекул, що може відбуватися як з використанням кисню, так і без нього.

Як ви вже знаєте, за способом отримання органічних речовин організми можна поділити на дві великі групи — гетеротрофні (використовують готові органічні речовини) і автотрофні (синтезують органічні речовини з неорганічних).

Основні біохімічні процеси, які потрібні будь-якому живому організму для забезпечення життєдіяльності,— це синтез білків і нуклеїнових кислот, процеси клітинного дихання, зокрема реакції гліколізу та циклу Кребса, утворення та розпад молекул ліпідів і вуглеводів тощо. У клітинах і автотрофних організмів, і гетеротрофних усі ці процеси відбуваються однаково або майже однаково з використанням однакових комплексів ферментів. Та й процеси регуляції в їхніх клітинах є дуже схожими. І хоча вони не є абсолютно тотожними, послідовність основних реакцій в усіх випадках однакова.

Обмін речовин у гетеротрофів

Як ви вже вивчили раніше, гетеротрофні організми не можуть утворювати органічні речовини з неорганічних. Вони отримують їх від інших живих організмів у формі їжі, яку споживають. Малі органічні молекули (амінокислоти, моносахариди, жирні кислоти, нуклеотиди) вони просто доправляють у свої клітини і там використовують, а великі молекули (білки, полісахариди, нуклеїнові кислоти) спочатку розщеплюють на малі, а потім «збирають» з них ті великі молекули, які потрібні саме їм.

Наприклад, тварини й гриби розщеплюють білки (які є біополімерами) до амінокислот (їхніх мономерів). Потім вони з цих амінокислот збирають уже свої власні білки.

Деякі з амінокислот гетеротрофні організми можуть синтезувати й самостійно. Для цього вони використовують енергію, отриману під час окиснення спожитих органічних сполук. Але деякі амінокислоти надходять у їхні організми тільки з їжею. Такі амінокислоти називають **незамінними**. Крім амінокислот, для гетеротрофних організмів незамінними є і вітаміни — сполуки, які в дуже невеликих кількостях потрібні для здійснення процесів обміну речовин.

Обмін речовин у автотрофів

Автотрофні організми не отримують органічних речовин із зовнішнього середовища і повинні виробляти їх самостійно. Тому немає сенсу говорити про незамінні амінокислоти і вітаміни для рослин. Автотрофи отримують необхідні їм органічні речовини з неорганічних, використовуючи енергію, яка може надходити з фізичних або хімічних джерел.

Фізичним джерелом енергії є випромінення Сонця. Ті організми, які його використовують для синтезу органічних речовин, називають **фотоавтотрофами** (фототрофами). А власне процес утворення органічних речовин з використанням енергії Сонця — фотосинтезом.

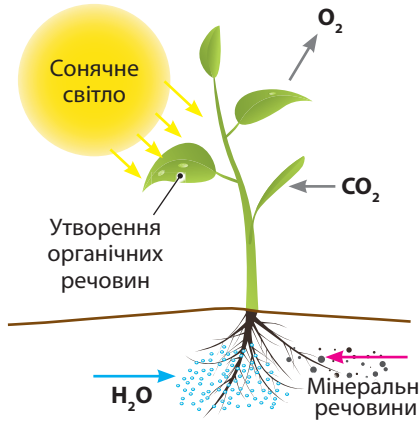
Хімічні джерела енергії — це окисно-відновні хімічні реакції, які відбуваються у клітинах організму. Організми, які їх використовують, називають **хемоавтотрофами** (хемотрофами), а сам процес — хемосинтезом.

Фотосинтез

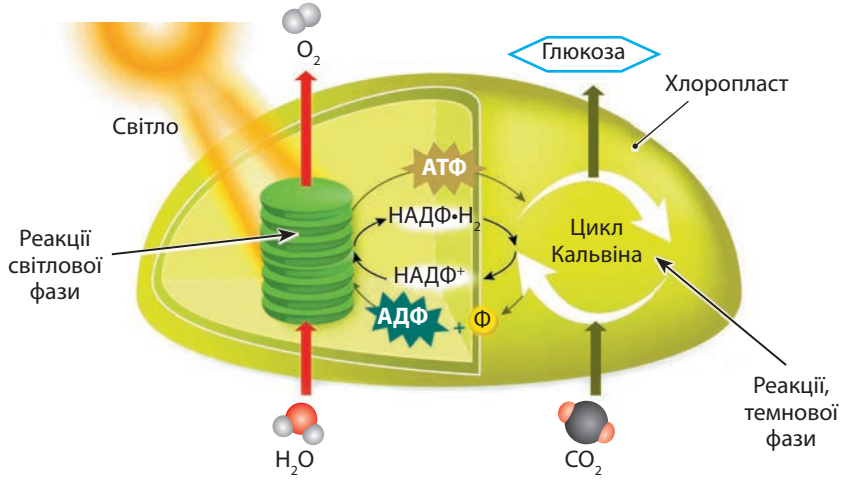
Фотосинтез — це процес утворення живими організмами органічних речовин з неорганічних з використанням енергії світла (мал. 18.1). Фотосинтез здійснюють як одноклітинні живі організми (ціанобактерії та водорості), так і багатоклітинні (зелені водорості та наземні рослини).

У результаті фотосинтезу з вуглекислого газу й води за допомогою сонячної енергії утворюється глюкоза:

$$6CO_2 + 6H_2O + \text{Енергія світла} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$



Мал. 18.1. Схема фотосинтезу



Мал. 18.2. Світлова й темнова фази фотосинтезу

Цей процес складається з двох основних фаз — світлової й темнової. Для перебігу процесів світлової фази потрібно світло. Темнова фаза має таку назву тому, що в реакціях, які в ній відбуваються, світло не задіяне (мал. 18.2).

Фази фотосинтезу

Фаза фотосинтезу	Світлова	Темнова
Де відбувається	На мембранах хлоропластів	У стромі хлоропластів
Які процеси відбуваються	• Захоплення енергії світла електронами хлорофілу • Фотоліз води (розпад на атоми Н та О) • Синтез АТФ • Захоплення протонів молекулами НАДФ	• Реакції циклу Кальвіна • Синтез глюкози • Розпад АТФ • Розпад молекул НАДФ · H_2
Які речовини утворюються	• НАДФ · H_2 • АТФ	Глюкоза

Хемосинтез

Хемосинтезом називають процес утворення органічних речовин з неорганічних, який використовує енергію хімічних реакцій. Він може відбуватися лише у клітинах мікроорганізмів (мал. 18.3).

Основу процесу хемосинтезу складають реакції окиснення водню або сполук Нітрогену, Феруму чи Сульфуру.

Мал. 18.3. Результати життєдіяльності залізобактерій (*а*), тіобактерій (*б*) та метанових бактерій (*в*)

Хемосинтезуючі мікроорганізми

Група мікроорганізмів	Які речовини окиснюють	Де живуть
Залізобактерії	Солі Феруму	У прісних і солоних водоймах, у болотах
Тіобактерії (сіркобактерії)	Сполуки Сульфуру, сірку	У прісних і солоних водоймах, у болотах
Нітрифікуючі бактерії	Сполуки Нітрогену	У ґрунтах та водоймах
Водневі бактерії	Водень	У ґрунтах

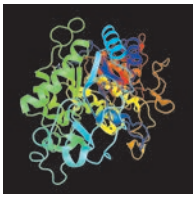
Отже, тепер ви знаєте

1. Що спільного в обміні речовин в автотрофних і гетеротрофних організмів? 2. Які особливості обміну речовин мають гетеротрофні й автотрофні організми? 3. Що таке фотосинтез і на які фази він поділяється? 4. Що відбувається під час кожної з фаз фотосинтезу? 5. Що таке хемосинтез? Які реакції відбуваються під час хемосинтезу? 6*. Колір водоростей визначається пігментами, які беруть участь у процесі фотосинтезу. Чому водорості, які ростуть на різній глибині, мають різний колір?

Запитання та завдання

7. Хемоавтотрофні бактерії на дні океанів часто живуть біля вулканів. З чим це може бути пов'язано? 8*. Рослини є автотрофами, і їм не потрібні органічні речовини тварин. Навіщо тоді росичка ловить і перетравлює комах?

19 Роль ферментів у забезпеченні процесів метаболізму



Які функції виконують білки? Що таке каталіз і каталізатори? Які каталізатори використовують живі організми? Як живляться тварини і гриби?

Будова та функції ферментів

Ферменти є великими органічними молекулами, які виконують функцію каталізу, тобто змінюють швидкість хімічних реакцій. Традиційно ферментами називали тільки молекули білків. Але зараз до ферментів відносять також рибозими (молекули РНК) та комплекси, які складаються з молекул білків та РНК. Ці сполуки також дуже ефективно здійснюють каталіз (наприклад, під час утворення пептидних зв'язків рибосомою).

У клітинах ферменти містяться як у цитоплазмі, так і всередині різних органел або на мембранах клітин. Часто клітини можуть виділяти ферменти назовні для здійснення процесів поза клітиною (наприклад, процесів травлення).

За своєю будовою ферменти є великими органічними молекулами, які мають складну просторову структуру (унікальну для кожного з ферментів). У цій структурі є частини, що формують ділянки, які здійснюють процес каталізу, і є регуляторні ділянки. Класифікують ферменти за типами реакцій, які вони каталізують.

У живих організмах одночасно відбувається велика кількість реакцій за відносно стабільної температури та сталого *pH* середовища. Без участі ферментів ці реакції відбувалися б надзвичайно повільно, а в багатьох випадках узагалі не змогли б відбутися.

Наприклад, фермент каталаза розщеплює в клітинах організму людини отруйний для них гідроген пероксид на воду й кисень. Однієї молекули каталази досить, щоб протягом однієї секунди розщепити 10 тисяч молекул гідроген пероксиду.

Найбільш поширеним ферментом на нашій планеті є рибулозобісфосфаткарбоксилаза (скорочено *RuBisCo*), який каталізує реакцію фіксації CO_2 в циклі Кальвіна, що відбувається під час темнової фази фотосинтезу. Загальна маса цього ферменту в усіх фотосинтезуючих організмах нашої планети становить 40 мільярдів тонн.

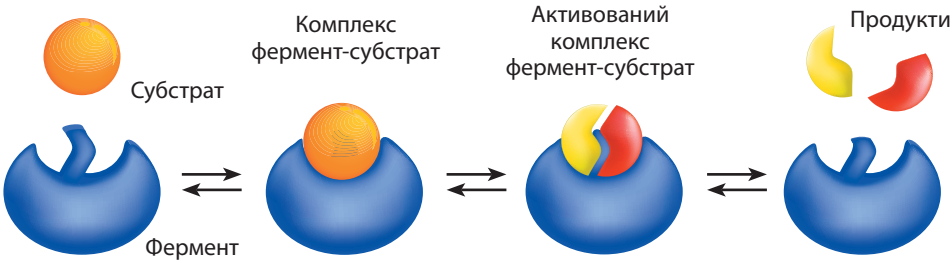
Класифікація ферментів

Клас ферментів	Які реакції каталізують	Приклади ферментів
Оксидоредуктази	Окисно-відновні реакції	Алкогольдегідрогеназа, пероксидаза
Трансферази	Перенесення функціональної групи атомів з одного субстрату на інший	Амінотрансфераза, глікозилтрансфераза
Гідролази	Реакції гідролізу	Пептидаза, амідаза, естераза, трипсин
Ліази	Реакції неокисного і негідролітичного розриву хімічних зв'язків	Декарбоксилаза, дегідратаза, аденілатциклаза
Ізомерази	Реакції внутрішньомолекулярної перебудови (наприклад, перетворення ізомерів)	Рацемаза, цис-транс-ізомераза
Лігази	Реакції з'єднання двох молекул з утворенням нового зв'язку (зазвичай з використанням енергії АТФ)	ДНК-лігаза, аміноацил-тРНК-синтетаза

Механізм роботи ферментів

Механізм роботи ферментів зручно розглянути на прикладі білка-ферменту. Як і будь-який інший білок, такий фермент є ланцюжком амінокислот, що в певний спосіб згорнутий у просторі. Згортання ланцюжка відбувається так, щоб радикали амінокислот утворили спеціальну структуру — *активний центр ферменту*. Саме в цьому центрі й відбуваються реакції.

Радикали амінокислот розташовані у просторі певним чином один відносно до одного. Вони різні за своїми властивостями, і їхня спільна дія створює умови, у яких відповідна реакція відбувається набагато швидше, ніж за звичайних умов. Речовини, які беруть участь у реакціях в активних центрах ферментів, називають *субстратами* (мал. 19.1).



Мал. 19.1. Схема взаємодії ферменту із субстратом

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

Регуляція роботи ферментів може здійснюватися за допомогою регуляторних ділянок їхніх молекул. До цих ділянок приєднуються молекули речовин-регуляторів. Після цього просторова структура молекули ферменту змінюється, і, відповідно, змінюється швидкість його роботи.

Дія ферментів поза клітинами

Живі організми використовують ферменти не тільки у своїх клітинах. Часто вони виділяють їх у позаклітинний простір. Зазвичай так роблять осмотрофи (організми, які живляться розчиненими органічними речовинами) (мал. 19.2). Але є й інші групи організмів, які теж використовують ферменти у такий спосіб.

Використання організмами ферментів поза клітинами

Група організмів	Як використовують ферменти поза клітинами	Приклади
Бактерії	Виділяють ферменти в навколишнє середовище для розщеплення органічних речовин	Гниття м'яса, розклад опалого листя
Гриби		Руйнування деревини, ураженої грибами, розкладання хліба, вкритого цвіллю
Комахоїдні рослини	Виділяють ферменти в пастки з пійманими тваринами для розщеплення органічних речовин	У росички й непентеса перетравлення спійманих тварин
Тварини	Виділяють ферменти в порожнини тіла для порожнинного травлення або в тіло здобичі для зовнішнього травлення	У ссавців — процеси травлення в шлунку та кишечнику, у павуків — зовнішнє травлення після введення в здобич отрути, у змій — розклад тканин здобичі під дією ферментів отрути

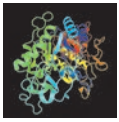
У деяких випадках функції ферментів, що виділяються в організмах, можуть змінюватися в процесі еволюції. Наприклад, у предків змій фермент фосфоліпаза А2 був звичайним травним ферментом. Його введення в тіло жертви робило процес травлення швидшим, тому що в кишечнику ферменти діяли на тіло жертви і ззовні, і зсередини. Але в результаті дуплікації та наступних мутацій цей фермент отримав токсичні властивості. Він став однією з найважливіших складових зміїної отрути і зараз убиває жертви, руйнуючи мембрани їхніх клітин.

Мал. 19.2. Позаклітинна дія ферментів у росички (*а*) та павука аргіопи (*б*) забезпечує зовнішнє травлення

Здатність живих організмів виділяти ферменти за межі клітини широко використовує сучасна біотехнологія. Так, бактерії, в геном яких пересаджують потрібні гени, виділяють зі своїх клітин синтезовані ферменти. А ці ферменти вже легко можна відокремити від клітин й використати для виробництва продукції (наприклад, ліків або пральних порошків).

Предок плацентарних ссавців, який жив 100 млн років тому, живився переважно комахами і мав 5 генів хітиназ — ферментів, які розщеплюють хітин у травній системі. Потім його нащадки еволюціонували і значною мірою змінили свій раціон. Тому в багатьох випадках гени хітиназ зазнали мутацій і перестали працювати, перетворившись на псевдогени. Їх досі можна знайти в геномах ссавців.

Отже, тепер ви знаєте



1. Що таке ферменти і яку роль вони відіграють в організмі? 2. Який механізм дії ферментів? 3. Що таке субстрат і активний центр ферменту? 4. Як регулюється робота ферментів? 5. Рибозими успішно виконують каталітичну функцію, хоча вони представлені молекулою РНК і не мають у своєму складі амінокислот, радикали яких утворюють активний центр ферменту у ферментів білкової природи. Поясніть, яким чином може утворитися активний центр рибозиму?

Запитання та завдання

6. Чому додавання ферментів у пральні порошки покращує їхню роботу? 7*. У деяких змій зуби, через які отрута вводиться у тіло жертви, розташовані в задній частині ротової порожнини, тому отрута вводиться тільки тоді, коли змія вже ковтає жертву. Навіщо тоді потрібно вводити отруту?

20 Вітаміни, їхня роль в обміні речовин

Які речовини потрібні для життєдіяльності організму? Що таке коферменти? Чому без приєднання коферменту деякі ферменти не можуть виконувати свої функції?

Відкриття вітамінів

Тривалий час причини виникнення таких захворювань, як цинга та рахіт, були невідомі. Навіть після відкриття мікроорганізмів, які були збудниками захворювань, встановити причину цих захворювань не вдавалося. Але вже здавна було помічено, що харчування впливає на перебіг цих захворювань. Саме тому, наприклад, голландці ще в XVII столітті вводили в раціон своїх моряків цитрусові.

Основи вчення про вітаміни заклав М. І. Лунін (мал. 20.1). Він здійснював досліди з білими мишами: одну групу годував штучною сумішшю, а іншу — молоком. Перша група мишей загинула, у той час як решта розвивалися нормально. Учений зробив висновок, що молоко містить додаткові чинники харчування, які пізніше назвали *вітамінами*.

Мал. 20.1. Микола Іванович Лунін (1854–1937) — доктор медицини, педіатр, автор учення про вітаміни

Різноманітність вітамінів

До **вітамінів** відносять різні за складом та властивостями органічні речовини, які потрібні організму в невеликій кількості, але без яких його життєдіяльність неможлива.

Вітаміни на основі їхніх властивостей поділяють на дві великі групи — водорозчинні й жиророзчинні (мал. 20.2). Така класифікація є найбільш раціональною з практичної точки зору. Водорозчинні вітаміни в разі надмірного надходження в організм можуть відносно легко виводитися через нирки. Відповідно, організму легше підтримувати на потрібному рівні концентрацію цих речовин, ніж жиророзчинних.

Жиророзчинні вітаміни виводити з організму набагато важче. Тому за умови надмірного надходження в організм вони можуть стати причиною порушення процесів метаболізму.

Мал. 20.2. Класифікація вітамінів

Слід зазначити, що проблеми з вітамінами в організмі можуть виникати не тільки через їх недостатнє або надмірне надходження. У деяких випадках організм стає неспроможним засвоювати вітаміни (так звані ендогенні гіповітамінози). Це може статися через підвищення кислотності шлункового соку, порушення утворення транспортних білків, порушення виділення жовчі тощо.

Обмін вітамінів може бути пов'язаний з обміном мінеральних речовин або інших вітамінів. Наприклад, на засвоєння вітамінів A, C, E і K позитивно впливає наявність йонів Селену. А вітамін E та йони Мангану сприяють засвоєнню вітаміну C. І навпаки, вітамін C може перешкоджати засвоєнню вітаміну B_{12}.

Вітаміни в обміні речовин

Вітаміни є достатньо великою групою речовин (організм людини потребує надходження як мінімум 13 вітамінів), і виконують вони різноманітні функції у метаболічних процесах організму.

Більшість вітамінів входить до складу ферментів — великих органічних молекул (переважно білків), які здатні змінювати швидкість біохімічних реакцій, що відбуваються у клітинах. Зазвичай вітаміни у ферментах відіграють роль простетичних груп — певних груп атомів, які входять до складу активного центра ферменту і без яких його функціонування неможливе. Але виконують вони й інші функції.

Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке вітаміни? 2. На які групи поділяють вітаміни? 3. Які функції виконують вітаміни? 4*. Чи однаковим буде набір вітамінів, потрібний для забезпечення життєдіяльності собаки і людини? Чому?

Запитання та завдання

5. Які проблеми можуть виникнути зі здоров'ям у людини, яка вживатиме надто багато популярних консервів з печінки тріски? 6*. Чому надмірна кількість вітаміну в організмі може бути небезпечною для здоров'я?

21 Мінеральні речовини. Вода

Які речовини є у складі живих організмів? Яке значення для живих організмів має вода? Які особливості води стали причиною того, що вона є універсальним розчинником у клітинах живих організмів? Що таке макро- та мікроелементи?

Що таке мінеральні речовини

Мінеральні речовини в організмі — це окремі низькомолекулярні мікроелементи, солі та йони солей, які підтримують нормальне функціонування організму. Вони входять до складу структурних елементів усіх клітин і тканин і беруть участь в усіх біохімічних процесах, які відбуваються в організмі.

Мінеральні речовини можуть перебувати в організмі як у розчиненій формі (у вигляді йонів), так і в нерозчиненому вигляді.

Найбільш поширені мінеральні речовини в організмі людини

Речовини	Функції в організмі	Властивості
Солі Натрію та Калію	Забезпечують роботу нейронів, утворюють різницю потенціалів на клітинних мембранах	Розчинні
Солі Кальцію	Беруть участь у процесах скорочення м'язів	Розчинні
Солі Кальцію і Фосфору	Утворюють мінеральну основу кісток	Слаборозчинні
Хлоридна кислота	Бере участь у процесі травлення в шлунку	Розчинна
Йони Феруму у складі гему	Забезпечують транспортування кисню у складі гемоглобіну	Входять до складу нерозчинної сполуки

Особливості обміну мінеральних речовин у людини

Мінеральні речовини надходять в організм людини переважно з їжею і водою, тому є незамінними компонентами живлення. Саме так в організм потрапляють сполуки Феруму, Кальцію, Натрію, Калію. Але в деяких випадках організм може їх синтезувати і самостійно (так, клітини шлунка синтезують хлоридну кислоту).

Обмін мінеральних речовин в організмі точно врівноважується кількістю солей, що виділяється з організму. Видалення зайвих солей відбувається із сечею і потом. Крім того, мінеральні речовини можуть виводитись і через кишечник. А у разі захворювання на холеру втрата мінеральних речовин та води через кишечник така велика, що стає однією з причин смерті людини від цього захворювання.

Склад мінеральних речовин у клітинах організмів (у тому числі людини) сталий, тому навіть невеликі відхилення можуть бути причиною того, що організм припинить нормальну життєдіяльність.

Порушення обміну мінеральних речовин в організмі людини

Причини порушення обміну мінеральних речовин досить різноманітні. Вони можуть бути пов'язані як з дією зовнішніх факторів, так і з порушеннями в самому організмі. Часто однакові симптоми можуть виникати внаслідок різних причин.

Наслідки деяких порушень обміну мінеральних речовин

Порушення	Ознаки	Причини
Порушення обміну Кальцію	Розвиток остеопорозу, підвищена хрупкість кісток	Недостатнє вироблення естрогену, підвищений рівень потреб у Кальції під час вагітності, нестача сполук Кальцію в раціоні, зловживання гормональними препаратами, захворювання нирок тощо
Нестача Йоду	Йододефіцит, розвиток зобу, порушення роботи щитоподібної залози, затримка росту, послаблення імунітету, кретинізм	Низький вміст Йоду в раціоні, захворювання щитоподібної залози, дефіцит Селену в раціоні, радіоактивне опромінення, надмірне вживання алкоголю та паління, гормональні захворювання
Порушення обміну Феруму	Анемія, сухість шкіри і волосся, ламкі нігті, бліда шкіра	Нестача сполук Феруму в раціоні, великі втрати крові, порушення процесів засвоєння сполук Феруму організмом, спадкові захворювання
Нестача Мангану	Затримка росту, недорозвинення гонад, порушення зсідання крові, порушення в роботі нервової системи, судоми	Нестача сполук Мангану в раціоні, порушення процесів засвоєння сполук Мангану організмом
Надлишок Мангану	Пошкодження мітохондрій у клітинах, порушення в роботі нервової системи, психічні розлади, порушення функцій гонад	Надлишок сполук Мангану в раціоні, вдихання пилу з високим умістом Мангану під час роботи в шахтах

Причинами порушення обміну мінеральних речовин в організмі людини можуть бути:

• недостатнє або надмірне надходження мінеральних речовин в організм;

• деякі захворювання (гормональні, спадкові тощо);

• вживання великої кількості або неправильне вживання деяких лікарських препаратів;

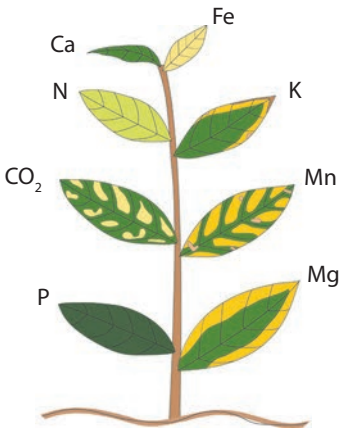
• дія токсичних речовин природного або штучного походження (під час виверження вулканів, промислові забруднення тощо);

• порушення в обміні одних мінеральних речовин може спричинити порушення в обміні інших.

Наслідком порушення обміну мінеральних речовин у людини стають різноманітні захворювання. Вони можуть мати важкі наслідки для здоров'я людини і становити загрозу для її життя.

Проблеми обміну мінеральних речовин у тварин і рослин

Проблеми обміну мінеральних речовин виникають не тільки у людини, а й в інших живих організмів. В організмах тварин, рослин, грибів і бактерій також може порушуватися обмін мінеральних речовин у разі недостатнього або надмірного їх надходження. Люди частіше за все стикаються з цією проблемою під час вирощування сільськогосподарських тварин і рослин та утримання домашніх улюбленців.



Мал. 21.1. Наслідки нестачі певних мінеральних речовин у рослин

Наприклад, у тварин скелет та захисні структури на поверхні тіла часто побудовані на основі мінеральних речовин. Тому порушення їх обміну є причиною виникнення певних захворювань (рахіт, остеопороз тощо).

Для рослин дуже важливими мінеральними речовинами є сполуки Нітрогену, Фосфору, Сульфуру, Калію. Нестача будь-яких із цих речовин призводить до пригнічення росту рослин (мал. 21.1). Але їхній надлишок також може негативно вплинути на їхній розвиток.

Питна вода та її якість

Будь-який живий організм, у тому числі й організм людини, потребує постійного надходження у нього води. Частина її потрапляє в організм людини у складі продуктів харчу-

вання, але основна її кількість — у вигляді питної води. Тому не дивно, що склад води суттєво впливає на стан здоров'я людей.

У складі питної води міститься багато різних компонентів, хоча і в невеликих кількостях: розчинені мінеральні й органічні речовини, дуже дрібні частки нерозчинних речовин, мікроорганізми. Деякі з них можуть приносити організму користь, інші — шкоду. В обох випадках це визначається кількістю компонента. Так, мінеральна вода може застосовуватися для лікування, і в цьому випадку важливими є її кількість і режим прийому.

Для визначення якості питної води її оцінюють за багатьма параметрами (мінералізація, твердість, pH, мікробіологічний стан тощо). Важливим показником є ГДК — **гранично допустима концентрація** певної речовини. Для кожної речовини визначається своя величина ГДК, і якщо вона перевищує нормальне значення, то вода є шкідливою для здоров'я людини. Так, неякісна за вмістом мінеральних речовин вода, наприклад, може бути причиною захворювань зубів, органів травної та видільної систем тощо.

Однією з найбільших загроз для якості води є її мікробіологічне забруднення. Саме через питну воду до організму можуть потрапити, наприклад, збудники холери, гепатиту А, черевного тифу та інших захворювань.

Мінеральною називають воду, яка містить розчинені солі різних елементів. Часто до її складу входять потрібні організму людини мікроелементи й біологічно активні сполуки. У більшості випадків така вода має підземне походження.

Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке мінеральні речовини? 2. Навіщо вони потрібні живим організмам? 3. Як мінеральні речовини потрапляють в організми? 4. Які наслідки може спричиняти порушення обміну мінеральних речовин? 5*. Лікарі часто рекомендують уживати мінеральну воду в лікувальних цілях, і крім режиму її прийому, вказують, з якого регіону вона має бути. Чому це важливо?

Запитання та завдання

6. Поля, на яких вирощують горох або сою, не мають потреби у внесенні азотних добрив. Чому? 7*. Забруднювачі питної води у різних регіонах можуть бути різними. Складіть список забруднювачів, які мають найбільший шанс потрапити до питної води у вашому регіоні. Запропонуйте правила, яких ви будете дотримуватися, щоб уникнути споживання небезпечної для здоров'я води.

22 Раціональне харчування та харчовий раціон

У якому віці, молодому чи похилому, організм людини потребує більше їжі? Які основні групи органічних речовин повинні надходити в організм людини з їжею? Навіщо організму людини потрібні мінеральні речовини й вітаміни?

Баланс поживних речовин і енергії

Як ви вже дізналися раніше, потреба живих організмів (у тому числі й людини) в поживних речовинах і енергії визначається такими факторами, як маса організму, рівень рухової активності, інтенсивність процесів обміну тощо.

Надзвичайно важливим є кількісне співвідношення різних груп речовин. Так, якщо в їжі буде замало або забагато окремих речовин, то в людини може порушитися обмін речовин, що призведе до погіршення стану здоров'я. Щоб запобігти цьому, слід дотримуватися норм збалансованого харчування та підтримувати енергетичний баланс організму.

Збалансоване харчування — це харчування, за якого в організм з харчовими продуктами надходять усі поживні речовини (білки, вуглеводи, ліпіди), вода, вітаміни й мінеральні речовини в кількості, необхідній для нормальної життєдіяльності. Незначні порушення балансу компенсуються організмом за рахунок перетворення одних органічних речовин на інші. Але суттєвий дисбаланс стає причиною порушення обміну речовин.

Енергетичний баланс — це співвідношення енергії, що надходить до організму з їжею, та енергії, що витрачається в процесі життєдіяльності організму. Наприклад, якщо людина споживатиме надто багато їжі, організм запасає зайві енергетичні ресурси у вигляді жирової тканини. Завдяки цьому маса тіла збільшується. А за умови нестачі їжі організм починає витрачати запаси своєї жирової тканини, і маса тіла зменшується.

Раціональне харчування

Раціональне харчування — це збалансоване харчування людини, підібране з урахуванням її віку, статі, фізичної активності, особливостей умов життя, спадковості та інших факторів. Воно визначає не тільки склад продуктів, які споживає людина, але й режим харчування та умови прийому їжі.

Усі люди різні. Кожна людина має свої індивідуальні особливості: масу тіла, стан здоров'я, інтенсивність метаболізму. Мікробіота (сукупність мікроорганізмів в організмі людини) теж для кожної людини є індивідуальною. Крім того, люди живуть у регіонах з різним кліматом, а обрані ними професії забезпечують різне фізичне навантаження. Як наслідок, відмінності у спадковості, складі мікробіоти кишечника та інших показниках стають причиною того, що одна й та сама система харчування навіть на рідних сестер може вплинути порізному. Саме тому раціональне харчування має бути індивідуальним.

Харчовий раціон

Харчовий раціон — це набір продуктів, який людина споживає (або планує споживати) протягом певного часу (наприклад, доби). Він формується на базі фізіологічних потреб людини в енергії, поживних і мінеральних речовинах і загалом визначає її здоров'я.

Основними загальними вимогами до харчового раціону є такі:

- відповідність енергетичним витратам організму;
- оптимальне співвідношення різних компонентів у їжі: білків, жирів, вуглеводів, мінеральних речовин, вітамінів, води;
- раціональний розподіл упродовж доби;
- урахування індивідуальних особливостей організму;
- приємні органолептичні властивості їжі (вигляд, смак, запах тощо);
- санітарно-епідеміологічна бездоганність та нешкідливість тощо.

Правильно підібраний харчовий раціон є основою раціонального харчування людини, кількісне співвідношення якого можна проілюструвати за допомогою харчової піраміди.

Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке збалансоване харчування? 2. Навіщо воно потрібне? 3. Що таке раціональне харчування? 4. Що таке харчовий раціон? 5. Яким вимогам повинні відповідати складові харчового раціону? 6*. Чому під час складання харчового раціону слід ураховувати вік і стать людини?

Запитання та завдання

7. Чому в жителів полярних регіонів часто виникає дефіцит вітамінів D і C? 8*. Які наслідки для здоров'я може мати різкий перехід людини з вегетаріанського харчування на м'ясоїдство і навпаки? Обґрунтуйте свою точку зору. 9*. Доведіть шкоду харчування з переважанням: а) гамбургерів; б) чіпсів; в) солодких газованих напоїв та батончиків; а також: г) з переїданням; д) з неоптимальним прийомом їжі впродовж доби, наприклад, основний прийом — увечері.

23 Токсичні речовини

Які речовини є простими, а які є сполуками? Які отруйні рослини, тварини і гриби трапляються у вашому регіоні? Що таке ботулізм? Чим біохімічні реакції в клітинах живих організмів відрізняються від звичайних хімічних реакцій?

Походження й різноманітність токсичних речовин

Токсичними речовинами називають речовини, які у певних (зазвичай невеликих) дозах порушують життєдіяльність живих організмів і викликають їх отруєння, що стає причиною захворювань або навіть загибелі організму. Токсичними можуть бути деякі прості речовини, наприклад свинець або ртуть, але більшість токсичних речовин є сполуками.

Токсичні сполуки можуть мати неорганічне походження або утворюватися живими організмами. І неорганічні, і органічні токсичні сполуки можуть утворюватися як природним шляхом, так і бути продуктами промислового виробництва. Наприклад, газоподібні сполуки Сульфуру можуть виділятися і в результаті вулканічної активності, і під час виробництва сульфатної кислоти.

Токсичні сполуки, утворені в процесі промислового виробництва, називають **токсикантами**. До них відносять пестициди, лікарські препарати, побутову хімію, синтетичні наркотики. Токсичні сполуки природного походження називають **токсинами**. До них належать алкоголь, нікотин, рослинні й тваринні отрути, наркотичні речовини, які виробляють живі організми, токсини бактерій тощо.

Механізми дії токсичних сполук

Токсичні сполуки можуть діяти на рівні як окремих клітин, так і всього організму. На рівні клітин вони негативно впливають на роботу ферментів, клітинної мембрани або клітинної стінки (у випадку її наявності), на здійснення процесів реалізації спадкової інформації тощо. У результаті цього в клітинах порушуються процеси обміну речовин усередині клітини та з навколишнім середовищем, не синтезуються потрібні для життєдіяльності речовини. Наслідком таких порушень є загибель клітин або неможливість виконання ними

Дурман звичайний
(атропін, скополамін)

Колорадський жук
(лептінотарзин)

Мухомор пантерний
(мускарин)

Мал. 23.1. Організми та токсини, що вони виробляють для захисту від поїдання

своїх функцій (наприклад, нервові клітини стають неспроможними проводити нервові імпульси).

На тканинно-органному рівні вони уражають окремі органи або тканини. Наприклад токсини з отрути кобри уражають нервову систему, а токсини, що містяться в отруті гадюки, руйнують клітини крові та тканини у місці укусу. Уражені органи перестають виконувати свої функції (серце перестає скорочуватися, нирки перестають виводити з організму продукти обміну тощо), що і стає причиною загибелі організму.

Токсини

Токсичні сполуки виробляють організми різних груп: мікроорганізми, гриби, рослини, тварини тощо. У природі токсини необхідні живим організмам для їхньої життєдіяльності. Вони можуть захищати їх від хижаків або паразитів (мал. 23.1) або допомагати вбивати здобич або конкурентів у боротьбі за певні ресурси (мал. 23.2).

Шавлія білолиста
(терпени)

Аргіопа тигрова
(аргіопін)

Гадюка звичайна
(токсичні пептиди)

Мал. 23.2. Організми та токсини, що вони виробляють для нападу на жертву або конкурентів

Алкоголь та продукти паління

Безперечно, ви знаєте, що споживання алкоголю негативно позначається на організмі людини. І першими потрапляють під удар органи травлення.

Насамперед алкоголь, опиняючись у шлунку, руйнує його слизову оболонку і знижує активність шлункового соку. Під впливом алкоголю погіршується працездатність підшлункової залози.

Найбільше від дії алкоголю страждає печінка. Вона мусить знешкоджувати всі шкідливі речовини, що потрапляють в організм з алкоголем, і нейтралізовувати продукти його переробки організмом. У результаті клітини печінки починають гинути. Вони заміщуються на жирову тканину; печінка руйнується. Найгіршим наслідком може бути цироз печінки і повна її загибель.

Здорова легеня | Пошкоджена легеня

Мал. 23.3. Наслідок дії тютюнопаління на легені людини

Тютюнопаління стає шкідливою звичкою через звикання людини до нікотину, який міститься в тютюні. А він, у першу чергу, діє на клітини нервової системи. Дуже негативно тютюнопаління діє на дихальну систему (мал. 23.3). Воно спричиняє суттєві пошкодження клітин епітелію дихальних шляхів, порушує роботу альвеол через їх забруднення смолами й підвищує ризик розвитку раку легень.

Через паління страждають і органи травної системи. Тютюновий дим негативно впливає на зуби, спричинюючи їх потемніння та появу тріщин на емалі, що може призвести до появи карієсу. Найбільшу небезпеку для органів травлення становлять домішки, які містяться в тютюні. Серед них є багато канцерогенних речовин, що можуть стати причиною розвитку ракових пухлин в органах ротової порожнини, стравоході та шлунку.

Токсичні сполуки штучного походження

Токсичні сполуки штучного походження (токсиканти) можуть утворюватися як основні чи побічні продукти виробничих процесів або сільськогосподарської діяльності. Їх розрізняють за складом, хімічними властивостями, ступенем токсичності та іншими параметрами. Дуже поширеним є поділ токсикантів за видом їхньої токсичної дії.

Групи токсичних речовин за видом токсичної дії на організм людини

Тип дії	Системи, які уражуються	Симптоми ураження	Токсичні речовини
Загально-токсична	Всі системи організму	Судоми, кома, набряк мозку тощо	CO, ціаніди, алкоголь
Шкірно-наривна	Шкіра	Місцеве запалення шкіри, некроз ділянок шкіри	Оцтова есенція, гексахлоран, сполуки Арсену
Нервово-паралітична	Нервова система	Задуха, судоми, параліч	Нікотин, фосфорорганічні інсектициди, біциклофосфати
Задушлива	Дихальна система	Набряк легень	Оксиди Нітрогену
Подразнююча й слизонабрякова	Слизові оболонки (в першу чергу дихальної та травної систем)	Подразнення та набряк слизових оболонок	Випари лугів і кислот, хлорпікрин
Психотропна	Центральна нервова система	Порушення свідомості, галюцинації	Наркотичні речовини

Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке токсичні сполуки? 2. Який механізм дії токсичних сполук на організм людини? 3. Які живі організми в Україні виробляють токсичні сполуки, небезпечні для людини? 4. Які токсичні сполуки утворюються у результаті діяльності людини? 5*. Які органи людини і чому найбільше страждають від зловживання алкоголем?

Запитання та завдання

6. Складіть список отруйних організмів вашого регіону: а) тварин; б) грибів. Напишіть пам'ятку поводження з такими організмами. 7*. Складіть таблицю «Шляхи потрапляння токсичних сполук в організм людини», у якій наведіть також приклади цих речовин. 8*. Складіть перелік речей і речовин, що містять токсиканти, створених людиною для задоволення своїх потреб, відмова від споживання яких могла б покращити стан навколишнього середовища. Запропонуйте, якщо це необхідно, речі й речовини, якими б їх можна було замінити.

24 Знешкодження токсичних сполук

Які функції виконує видільна система людини? Які органи входять до її складу? Які функції в організмі виконують печінка, кишечник, легені, шкіра? Що таке токсичні речовини?

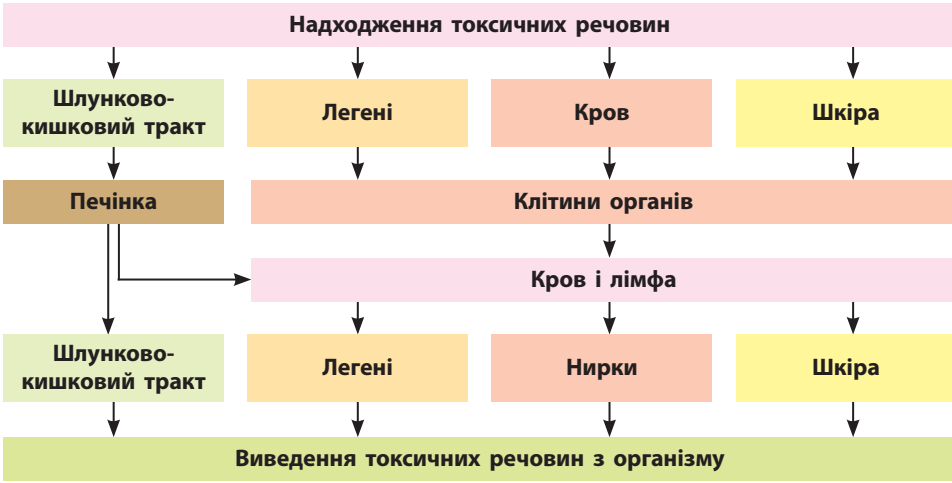
Способи нейтралізації токсичних сполук

Після потрапляння токсичних сполук в організм з ними відбувається один з двох процесів — біотрансформація або фіксація. *Фіксація* — це взаємодія молекул токсичної речовини з певними білками, за якої самі молекули токсичних сполук не змінюються, а утворюють з молекулами цих білків комплекси. Такі комплекси знижують або взагалі ліквідують токсичну дію цієї речовини і через деякий час виводяться з організму.

Біотрансформація — це біохімічні перетворення токсичних сполук, які змінюють їхній хімічний склад. У більшості випадків результатом біотрансформації є зменшення токсичних властивостей речовини (детоксикація). Але в деяких випадках токсичність сполуки навпаки, підсилюється. Відомі також сполуки, які стають токсичними саме внаслідок біотрансформації. Наприклад, у разі потрапляння в організм людини метилового спирту токсичну дію здійснює не сам спирт, а продукти його розщеплення, що утворюються в результаті біотрансформації, — формальдегід і мурашина кислота.

Біохімічною основою процесів біотрансформації є реакції, які приєднують або відщеплюють від молекули такі групи, як метильна ($-CH_3$), ацетильна ($-CH_3COO^-$), карбоксильна ($-COOH$), гідроксильна ($-OH$), а також атоми Сульфуру і групи, до складу яких такі атоми входять. Дуже важливими для процесів біотрансформації є також реакції синтезу (кон'югації), в результаті яких токсичні речовини взаємодіють з деякими молекулами клітин (гліцином, глюкуроновою кислотою тощо) і утворюють безпечні для організму комплекси — *кон'югати*.

Основним органом в організмі людини, в якому відбувається біотрансформація, є печінка. В ендоплазматичній сітці клітин цього органа зосереджена велика кількість ферментів, які здійснюють перетворення токсичних сполук. Цей процес також відбувається в кишковому тракті, легенях, нирках, крові та жировій тканині.

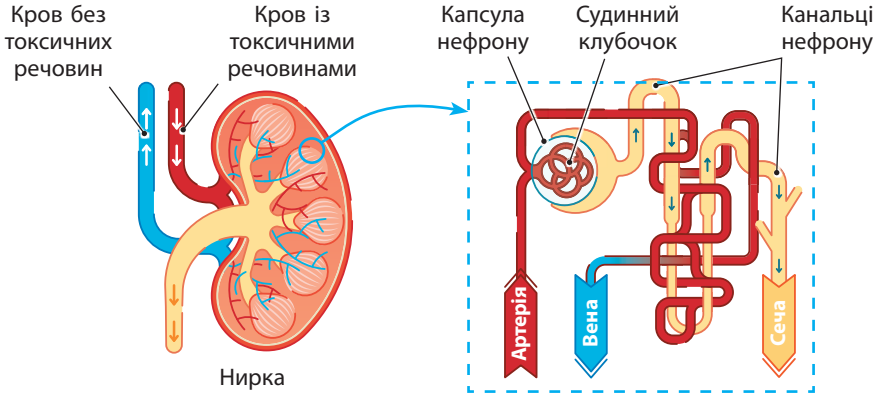


Мал. 24.1. Схема потрапляння та виведення токсичних сполук з організму людини

Виведення токсичних сполук з організму

Найбільшу роль у виведенні токсичних речовин та продуктів, які з них утворилися, відіграють нирки. Але й інші системи беруть у цьому активну участь — це кишечник, легені й шкіра (мал. 24.1).

У нирках водорозчинні токсичні сполуки з крові потрапляють до капсули й канальців нефронів. Це здійснюється або шляхом пасивної фільтрації (завдяки дифузії крізь стінки судин), або шляхом активного транспорту (із залученням активного механізму перенесення речовин крізь мембрани із затратами енергії) (мал. 24.2).



Мал. 24.2. Схема роботи нефронів нирки

Через кишечник виводяться жиророзчинні сполуки та продукти розпаду токсинів, які утворюються в печінці. Вони виводяться з каловими масами, до яких потрапляють кількома шляхами:

• у складі жовчі із жовчного міхура, куди їх виділяють клітини печінки;

• з клітин епітелію кишечника, які виділяють токсичні речовини у порожнини кишки;

• з неперетравленими рештками їжі, з якими вони потрапили в організм (у випадку, якщо токсичні речовини не всисалися клітинами епітелію кишечнику).

Через легені виділяються леткі сполуки. Наприклад, у разі голодування або деяких порушень обміну речовин від людини можна почути запах ацетону. Його джерело — кетонові тіла, які утворюються в таких ситуаціях у жировій тканині й частково виводяться через легені.

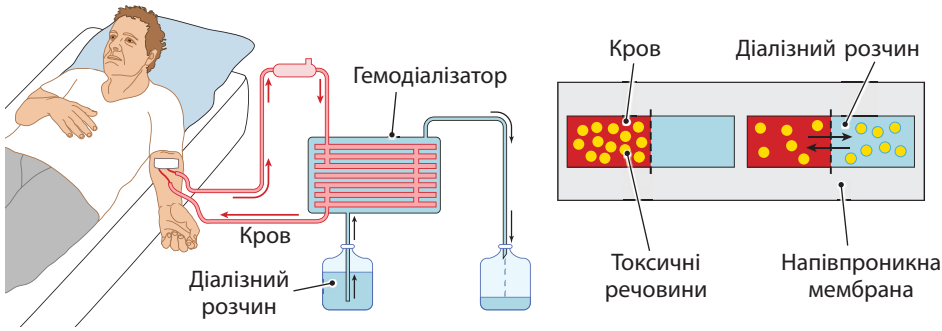
Шкіра, як і нирки, виділяє водорозчинні сполуки крізь свої потові залози. Так, неприємний запах від людини на наступний день після споживання алкоголю викликаний тим, що токсичні сполуки алкогольних напоїв та продукти їхнього розпаду виводяться, у тому числі, і через поверхню шкіри.

Штучна детоксикація

Процес знешкодження та виведення токсичних речовин з організму називають **детоксикацією**. Вище було розглянуто механізми цього процесу на прикладі організму людини. Але процес детоксикації може бути не тільки природним. Сучасна медицина широко використовує процеси штучної детоксикації в разі, якщо організм людини не може здійснити її самостійно.

Одним із найбільш поширених методів детоксикації організму людини є **діаліз**. Основою цієї технології є фільтрація крові крізь напівпроникну мембрану. З одного боку мембрани перебуває кров людини з токсичними речовинами, а з іншого — діалізний розчин, в який ці речовини переходять. Це можливо завдяки осмотичному тиску, що виникає на мембрані через різницю концентрації токсичних речовин у крові й діалізному розчині.

Діаліз у людини може здійснюватися як в її організмі, так і поза ним. Його використовують наприклад, у разі важких отруєнь, порушень роботи печінки тощо. У випадку лікування ниркової недостатності, наприклад, для діалізу використовують спеціальні прилади — гемодіалізатори, які називають «штучною ниркою» (мал. 24.3).



Мал. 24.3. Діаліз крові людини у лікувальному закладі

Діаліз може здійснюватися й без використання діалізних розчинів. У випадку *гемофільтрації* з крові видаляють плазму з токсичними речовинами й замінюють її спеціальним розчином. У випадку *гемоперфузії* кров пропускають крізь адсорбент (речовину, яка поглинає токсичні речовини).

У деяких випадках, наприклад, у результаті прийому певних лікарських препаратів, продукти їх переробки в організмі можуть забарвлювати сечу в синій колір. Зміна кольору сечі є важливою діагностичною ознакою для виявлення низки захворювань чи отруєння певними речовинами.

Для знешкодження токсичних речовин часто використовують спеціальні антидоти (протиотрути). Вони можуть запобігати всисанню токсинів у кров або усувати токсичні реакції. Антидотами є активоване вугілля, глюкоза, метиленовий синій тощо.

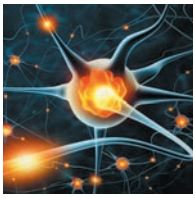
Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке біотрансформація й фіксація? 2. За допомогою яких реакцій організм знешкоджує токсини? 3. В яких органах і тканинах відбувається біотрансформація? 4. Якими шляхами токсичні сполуки і продукти їхнього розкладу видаляються з організму? 5*. Чому жиророзчинні токсини виводяться з організму переважно через печінку?

Запитання та завдання

6. За легких форм отруєння важка фізична робота може інколи допомогти людині покращити стан свого організму. З чим це може бути пов'язано? 7*. Чому молоко часто (але не завжди) може допомагати (знешкоджувати дію) у разі потрапляння токсичних сполук в організм?

25 Нейрогуморальна регуляція процесів метаболізму

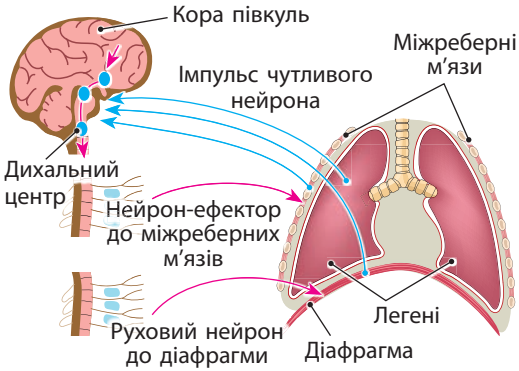


Які системи організму людини здійснюють нервову й гуморальну регуляцію? Які органи входять до складу нервової та ендокринної систем в організмі людини? Що таке метаболізм? Які функції виконують симпатична й парасимпатична нервові системи у людини?

Нервова регуляція процесів метаболізму

Нервова регуляція здійснюється передусім вегетативною нервовою системою, яка поділяється на *симпатичну* і *парасимпатичну*. Як вам уже відомо, її діяльність ґрунтується на принципі антагонізму (протидії). Процеси, які стимулюють симпатична і парасимпатична нервова система, є протилежними. Так, симпатична нервова система прискорює серцебиття, а парасимпатична його гальмує. У результаті їхня одночасна і скоординована дія дозволяє дуже точно регулювати роботу внутрішніх органів (мал. 25.1).

Виведення з організму продуктів обміну також значною мірою регулюється за допомогою нервової системи. Симпатична нервова система впливає на швидкість утворення сечі, з якою виводяться продукти обміну. Її сигнали звужують артерії судинних клубочків у нирках. Якщо звужуються артеріоли, які несуть кров до клубочків, то сечі утворюється менше, якщо ті, які виносять кров з клубочків, — більше. Парасимпатична нервова система теж впливає на роботу нирок, регулюючи виділення NaCl.



Мал. 25.1. Нервова регуляція процесу дихання

Гуморальна регуляція процесів метаболізму

Гуморальна регуляція — це координація фізіологічних функцій організму за допомогою гормонів — специфічних речовин, що переносяться різними рідинами організму (кров, лімфа, тканинна рідина). Гуморальну регуляцію здійснюють ендокринні залози (залози

внутрішньої секреції), які і є виробниками гормонів. Ендокринні залози виділяють речовини, які вони виробили, у кров.

Одна з особливостей гуморальної регуляції — робота її регуляторних речовин у взаємодії, адже гормони не діють поодинці, а тільки в комплексі. Одні з них прискорюють певні процеси у клітинах та тканинах, а інші — уповільнюють. Це дозволяє дуже тонко регулювати швидкість і напрямки процесів, які контролюються гуморальною регуляцією. Наприклад, рівень глюкози в крові людини контролюється дією двох гормонів підшлункової залози — інсуліну й глюкагону. Інсулін знижує рівень глюкози, а глюкагон, навпаки, його підвищує.

Взаємодія нервової та гуморальної систем регуляції

Усі процеси, які перебігають в організмі людини, не відокремлені один від одного, а відбуваються у тісній взаємодії. Системи регуляції цих процесів є дуже надійними і зазвичай дублюють одна одну. Тому в разі пошкодження однієї з них регуляція може здійснюватися іншою.

Взаємозв'язок двох типів регуляції проявляється в тому, що нервова й гуморальна системи впливають одна на одну. Так, нервова система може спричиняти зміну інтенсивності виділення біологічно активних речовин, а дія гормонів може зумовлювати виникнення нервових імпульсів і регулювати роботу окремих частин нервової системи. Наприклад, коли людина потрапляє в небезпечну ситуацію, сигнали від нервової системи спричиняють викид гормонів, які мобілізують ресурси організму для його порятунку. У таких випадках людина може піднімати дуже важкі предмети або стрибати на велику відстань, що є неможливим для неї в нормальному стані.

Існує і зворотній вплив. Унаслідок якоїсь радісної події, наприклад перемоги у змаганнях, в організмі відбувається викид гормонів, що діють на головний мозок і спричиняють виникнення позитивних емоцій.

Отже, тепер ви знаєте

1. Які органи в організмі людини здійснюють гуморальну та нервову регуляцію? 2. Як відбувається гуморальна регуляція процесів метаболізму? 3. Як взаємодіють між собою нервова і гуморальна регуляції? 4*. Які переваги і недоліки мають нервова і гуморальна регуляції метаболізму?

Запитання та завдання

5*. Навіщо організму людини дві системи регуляції? 6*. Чи зможе організм людини вижити, якщо у ньому буде порушена (наприклад, у результаті захворювання) гуморальна система регуляції? Обґрунтуйте свою відповідь.

Обмін речовин в організмі людини

Отримує з навколишнього середовища	Утворюються в організмі	Виділяє в навколишнє середовище
Кисень, вода, органічні й неорганічні речовини, енергія (у складі продуктів харчування)	Білки, ліпіди, вуглеводи, нуклеїнові кислоти, АТФ	Вуглекислий газ, піт, вологе повітря з легень, сеча, кал, тепло

Особливості обміну речовин різних груп організмів

Гетеротрофи	Фотоавтотрофи	Хемоавтотрофи
Енергію для життєдіяльності отримують у результаті окиснення органічних речовин		
Карбон для синтезу власних органічних речовин отримують:		
з органічних речовин інших організмів	з неорганічних речовин, використовуючи енергію Сонця	з неорганічних речовин, використовуючи енергію хімічних реакцій
Процеси, що відбуваються:		
Клітинне дихання	Фотосинтез Клітинне дихання	Хемосинтез Клітинне дихання

Схема фотосинтезу

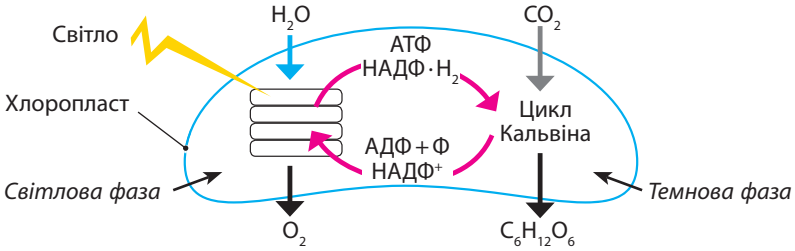
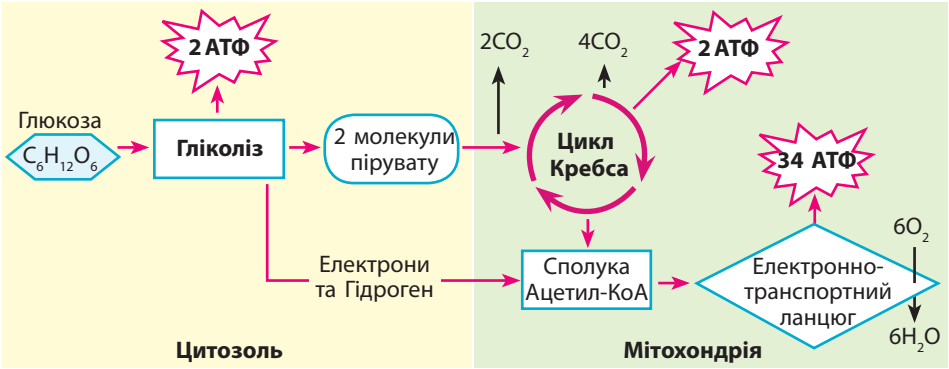


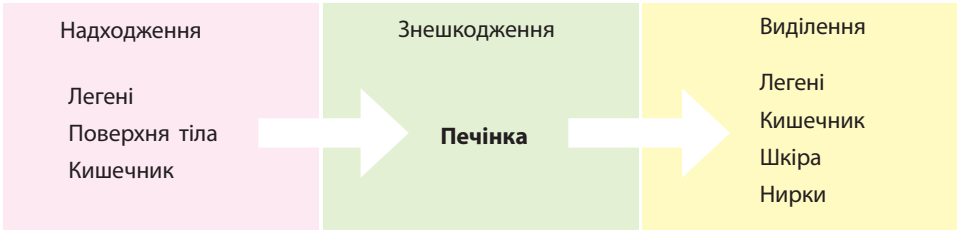
Схема клітинного дихання



Токсичні речовини

- Органічні
- Неорганічні
- Токсини
- Токсиканти
- Природні
- Штучні

Знешкодження токсичних речовин в організмі людини



Завдання до теми

Завдання для індивідуальної роботи

1. Поясніть, чому проблема йододефіциту поширена в одних регіонах (наприклад, у гірських) і майже відсутня в інших (наприклад, у приморських).

2. Охарактеризуйте особливості енергетичного обміну клітин автотрофних та гетеротрофних організмів на прикладі конкретних видів тварин і рослин.

3. Поясніть, як органічні речовини виконують структурну функцію в клітинах, на прикладі білків, ліпідів і вуглеводів.

4. Проаналізуйте етикетки на пляшках з мінеральною водою, яка є у продажу, та складіть рекомендації щодо використання різних її видів для людей з різним станом здоров'я.

Завдання для роботи у групах

5. Проаналізуйте рівень небезпеки та способи захисту від токсичних сполук однієї з груп живих організмів, які трапляються на території України (змій, комах, павуків, грибів, рослин тощо), та представте результати у вигляді презентації.

6. Складіть три варіанти місячного харчового раціону людини для різного бюджету (починаючи від прожиткового мінімуму) таким чином, щоб урахувати потреби людини в енергії, вітамінах та мінеральних речовинах. Візьміть до уваги, що різні способи приготування їжі спричиняють утрату різної кількості корисних речовин у продуктах харчування. Представте результати у вигляді презентації.

Перевірте свої знання з теми «Обмін речовин і перетворення енергії».

Видатні українські вчені

Буланкін Іван Миколайович (1901–1960)

Біохімік, доктор біологічних наук. Працював у Харківському університеті, довгі роки був його ректором. Основні роботи вченого присвячені біохімії білків. Досліджував будову й фізико-хімічні властивості білків для пояснення механізмів денатурації. Вивчав питання старіння колоїдів, фотосинтезу, обміну білків і нуклеїнових кислот. Автор понад 160 наукових публікацій.

Дудка Ірина Олександрівна (1934–2017)

Міколог, доктор біологічних наук, професор, завідувач відділу мікології інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного, член-кореспондент НАН України. Вивчала проблеми біології та таксономії водних грибів. Автор і співавтор понад 500 наукових праць, у тому числі понад 30 монографій. Тричі ставала лауреатом Державної премії України, лауреат премії ім. М. Г. Холодного НАН України.

Липський Володимир Іполитович (1863–1937)

Флорист, систематик рослин, ботанікогеограф, член Київського товариства природодослідників. Вивчав флору Бессарабії, Кавказу. Одним із 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.

Клоков Михайло Васильович (1896–1981)

Ботанік, систематик, вивчав флору судинних рослин, професор, доктор біологічних наук. Поет і літературний критик (псевдонім Михайло Доленґо). Працював у Харківському університеті та Інституті ботаніки АН УРСР. Описав понад 500 нових видів рослин, із них понад 380 — із території України. Автор понад 140 наукових праць. Лауреат Державної премії України.

Медведєв Сергій Іванович (1899–1979)

Ентомолог, доктор біологічних наук, професор Харківського університету. Автор закону сезонної та зональної зміни стацій. Описав понад 300 нових видів комах. Засновник харківської ентомологічної школи. Автор понад 200 наукових публікацій, у тому числі п'яти монографій у серії «Фауна СРСР». На честь С. І. Медведєва було названо 29 видів комах.

Окснер Альфред Миколайович (1898–1973)

Ботанік, доктор біологічних наук, член-кореспондент НАН України. Описав близько 100 нових таксонів рослин, дослідник ліхенофлори України, засновник усесвітньо відомої української школи історичної географії криптогамних рослин.

Палладін Олександр Володимирович (1885–1972)

Біохімік, професор, академік АН УРСР та АН СРСР. Працював у галузі біохімії. Засновник української школи біохіміків. У 1946–1962 роках — президент АН УРСР. Першим розпочав вивчення біохімії нервової системи. Уперше в СРСР розпочав біохімічні дослідження вітамінів. Є засновником низки наукових напрямів, серед них — нейрохімія, біохімія харчування, порівняльна й еволюційна біохімія, біохімія спорту тощо.

Установи

Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України

Заснований 1921 р. у м. Києві. Основні напрями діяльності: систематика, екологія, охорона та моніторинг фітобіоти й мікобіоти, дослідження особливостей організації рослин і грибів на організмовому, клітинному й молекулярному рівнях у різних умовах середовища. В інституті працює 2 академіки та 5 членів-кореспондентів НАН України, 28 докторів та 72 кандидати наук.

Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України

Заснований 1930 р. у м. Києві. Основні напрями діяльності: вивчення фауни України, дослідження філогенії та систематики тваринного світу України, розробка наукових основ охорони та раціонального використання ресурсів тваринного світу, розробка основ захисту та підвищення продуктивності рослин і тварин. В інституті працює 1 академік та 3 члени-кореспонденти НАН України, 17 докторів та 73 кандидати наук.

Інститут біохімії ім. О. В. Палладіна НАН України

Заснований 1925 р. у м. Харкові. Переведений у м. Київ 1931 р. Основні напрями діяльності: дослідження білкових та надмолекулярних систем, з'ясування біохімічних механізмів регуляції метаболізму, розробка сучасних технологій у різних галузях медицини, промисловості й сільського господарства. В інституті працює 2 академіки та 4 члени-кореспонденти НАН України, понад 20 докторів та 80 кандидатів наук.

Тема 3

Спадковість і мінливість

26 Основні поняття та методи генетики

Які способи розмноження існують у живих організмів? Чому діти схожі на своїх батьків? Чому в рідних братів і сестер різна зовнішність? Які організми називають гаплоїдними, а які — диплоїдними?

Що вивчає генетика?

Генетика — це наука, яка вивчає спадковість і мінливість живих організмів. Таку назву цієї науки запропонував англійський учений В. Бетсон (1906 р.).

Спадковість — це здатність організмів у процесі онтогенезу формувати ознаки (характерні риси тощо), що властиві батьківським організмам та більш віддаленим предкам. Прикладами спадкових ознак є рудий колір волосся, який діти отримують від батьків, однакова кількість крил і особливості їхньої будови у різних поколінь мухи дрозофіли, однакові форма й забарвлення плодів фруктів певного сорту (мал. 26.1).

Мал. 26.1. За спадковими ознаками (формою й забарвленням плодів) розпізнають сорти яблук

Мінливість — це властивість організму формувати у процесі онтогенезу унікальний фенотип (сукупність характеристик, властивих індивіду на певній стадії розвитку). Прикладами мінливості є поява листків конюшини з чотирма лопатями, народження білої ворони у сірих батьків, несхожість рідних братів в одній родині.

Основні поняття генетики

До переліку основних понять у генетиці можна віднести *ген, геном, генотип, фенотип, домінантний* і *рецесивний алелі*.

Ген — це окрема ділянка ДНК, яка відповідає за утворення однієї або кількох ознак організму. Сукупність генетичної інформації соматичної клітини організму називають **генотипом**. Генотип включає як ядерні, так і позаядерні гени, які входять до складу мітохондрій, пластид або плазмід (наприклад, у дріжджів). Часто генотипом називають сукупність алелей тільки тих генів, які розглядаються у певному дослідженні або в певній задачі.

Схожим до генотипу здається поняття геном. Але, насправді, це різні поняття. За визначенням геном — це сукупність усієї спадкової інформації організму, що включає як гени, так і некодуючі ділянки ДНК. Власне **геном** — це перелік усіх генів і некодуючих ділянок ДНК ядерного гаплоїдного набору хромосом та ДНК позахромосомних елементів (в еукаріотів) та усієї ДНК, що міститься в клітині (у прокаріотичних організмів).

Сукупність властивостей та ознак організму, що сформувалися в результаті взаємодії генотипу із зовнішнім середовищем, називають **фенотипом**. Фенотип ніколи не відображає генотип повністю. Він виявляє лише ту його частину, яка реалізується в певних умовах існування.

Дуже важливим для розуміння основ генетики є поняття алеля. **Алель** є одним із можливих станів (варіантів) гена. Таких варіантів у різних генів може бути кілька. Існують гени, які представлені лише одним варіантом (алелем). Є й гени з двома, трьома або багатьма алелями. Різні алелі одного гена завжди розташовані на одній і тій самій ділянці хромосоми. Місце розташування гена на хромосомі називають *локусом*.

Як ви знаєте, у диплоїдних організмів хромосоми є гомологічними (кожна хромосома представлена двома копіями). Для таких організмів застосовують поняття *гомозигота*, *гетерозигота* та *гемізигота*.

Якщо алелі одного гена, що розташовані в різних гомологічних хромосомах, є однаковими, організм називають **гомозиготою** (за

певним геном). Якщо алелі в гомологічних хромосомах різні — це **гетерозигота**. Якщо в парі хромосом присутній тільки один алель гена (зазвичай це буває у статевих хромосомах) — це **гемізигота**.

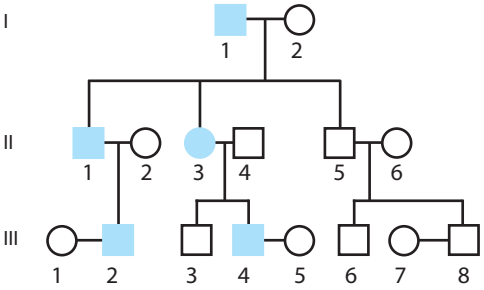
До основних понять генетики належать також поняття **домінантність** і **рецесивність**, які визначають форму взаємовідносин між різними алелями одного гена. За таких взаємовідносин один з алелів (домінантний) маскує у гетерозиготі прояв іншого алеля (рецесивного).

Методи генетичних досліджень

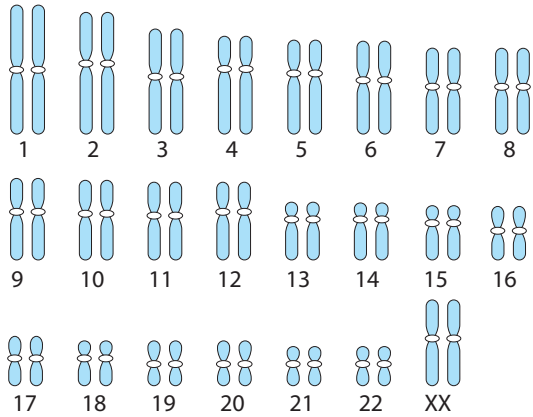
Генетика використовує велику кількість методів для проведення досліджень, основними з яких вважають гібридологічний, генеалогічний, популяційно-статистичний, цитогенетичний, біохімічний і близнюковий. Ці методи є традиційними і застосовуються вже багато років.

Класичні методи генетичних досліджень

Назва	Суть методу
Генеалогічний	Вивчення родоводів організмів (мал. 26.2). Це дає змогу простежити характер успадкування різних станів певних ознак у ряді поколінь
Популяційно-статистичний	Встановлення частоти зустрічальності алелей у популяціях організмів та генетичної структури популяцій
Гібридологічний	Схрещування (гібридизація) організмів, які відрізняються за певними станами однієї чи кількох спадкових ознак. Нащадків, одержаних від такого схрещування, називають гібридами
Цитогенетичний	Вивчення хромосомного набору (каріотипу) організмів (мал. 26.3)
Біохімічний	Вивчення особливостей біохімічних процесів у організмів з різними генотипами
Близнюковий	Вивчення монозиготних близнят (організмів, які походять з однієї зиготи) та порівняння їх з дизиготними близнятами (які утворюються з різних зигот). Досліджуючи такі організми, можна з'ясувати роль чинників довкілля у формуванні фенотипу особин: різний характер їхнього впливу зумовлює розбіжності у прояві тих чи інших станів певних ознак. Цей метод дає змогу визначити роль спадковості й середовища у розвитку різних ознак та захворювань



Мал. 26.2. Приклад родоводу



Мал. 26.3. Хромосомний набір людини

В останні роки найбільш поширеними стали відносно нові методи молекулярної біології: секвенування генів, полімеразна ланцюгова реакція, застосування генетичних маркерів. Вони засновані на новітніх технологіях і дозволяють суттєво збільшити ефективність генетичних досліджень. Адже вони працюють напряму з ДНК, в якій зберігається спадкова інформація.

Монозиготні близнята завжди однієї статі. У них однакова група крові, вони дуже схожі один на одного, і вони складають приблизно 1/3 частину від усіх близнят, що народжуються. Дизиготні близнята у генетичному сенсі схожі як рідні брати й сестри і можуть бути як одностатевими, так і різностатевими.

Отже, тепер ви знаєте

1. Яка наука вивчає спадковість і мінливість? 2. Які основні поняття використовує генетика? 3. Що таке ген, генотип, фенотип, геном? 4. Які методи використовує генетика? 5*. Чому близнюковий метод дозволяє виявити роль генотипу і впливу середовища у формуванні ознаки?

Запитання та завдання

6. Складіть список переваг і недоліків генеалогічного методу для здійснення генетичних досліджень. 7*. У середині XX століття вчені навчилися диференційовано забарвлювати хромосоми (коли барвник по-різному забарвлює певні ділянки хромосом). Це значно полегшило виявлення хромосомних аномалій. Чому?

27 Закономірності спадковості. Гібридологічний аналіз

Хто сформулював закони спадковості? Які позначення використовуються у складанні схеми схрещувань? Які алелі генів називають домінантними, а які — рецесивними?

Закономірності спадковості

Основні закономірності спадковості були сформульовані Грегором Менделем у середині XIX століття. Він представив їх у вигляді кількох законів. Крім того, він створив наукову основу сучасного гібридологічного аналізу.

Гібридологічний аналіз та основні типи схрещувань

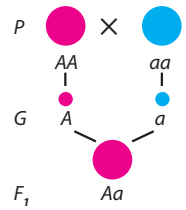
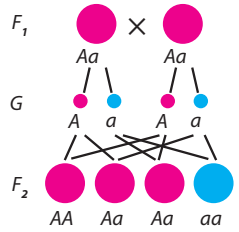
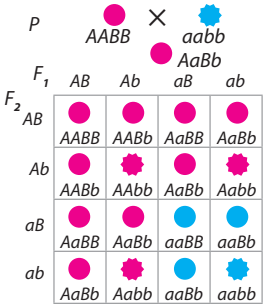
Гібридологічний аналіз — це дослідження характеру успадкування ознак за допомогою системи схрещувань. Його основою є гібридизація, яка полягає в схрещуванні організмів, які різняться між собою за однією чи кількома спадковими ознаками, наприклад, за забарвленням насінин, формою крил, довжиною ніг тощо. Нащадків, одержаних від такого схрещування, називають **гібридами**.

Для здійснення дослідів із генетики й селекції вчені схрещують організми й 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.

Аналізуюче схрещування

У ході досліджень генетики часто здійснюють так звані аналізуючі схрещування. **Аналізуюче схрещування** — це схрещування особини з невідомим генотипом з особиною, гомозиготною за рецесивними алелями всіх досліджуваних генів (див. с. 113). Розглянемо його на конкретному прикладі. Таке схрещування дозволяє виявити гетерозиготних особин, тому що у разі схрещування з ними гомозиготної рецесивної форми, і серед нащадків першого покоління буде спостерігатися розщеплення у співвідношенні 1 : 1. А якщо досліджувана особина була домінантною гомозиготою, то розщеплення спостерігатися не буде (згідно з правилом одноманітності гібридів першого покоління).

Закони Г. Менделя (основні закономірності спадковості)

Назва закону	Формулювання закону	Приклад
Закон одноманітності гібридів першого покоління	Під час схрещування гомозиготних особин, що різняться за однією парою альтернативних ознак, у першому поколінні всі нащадки будуть однаковими за фенотипом (досліджуваною ознакою) і генотипом	
Закон розщеплення спадкових ознак у нащадків гібрида	Під час схрещування гомозиготних особин, що різняться за однією парою альтернативних ознак, у другому поколінні нащадків спостерігається розщеплення за фенотипом у співвідношенні 3 : 1 і за генотипом у співвідношенні 1 : 2 : 1	
Закон незалежного комбінування спадкових ознак	Під час схрещування гомозиготних організмів за двома й більше парами альтернативних ознак у другому поколінні нащадків спостерігається незалежне успадкування й комбінування ознак, якщо гени, які кодують ці ознаки, розташовані у різних парах гомологічних хромосом	

Отже, тепер ви знаєте

1. Які закони сформулював Грегор Мендель? 2. Наведіть формулювання законів Г. Менделя. 3. Що таке гібридологічний аналіз? 4. Які бувають типи схрещувань? 5*. Навіщо потрібне аналізуюче схрещування? Складіть схему прикладу аналізуючого схрещування, наведеного у параграфі.

Запитання та завдання

6. Згадайте, що таке неповне домінування. Чи потрібно проводити аналізуюче схрещування у випадку неповного домінування? 7*. Наведіть приклад, коли успадкування ознаки не відбувається за законами Г. Менделя і поясніть причини цього. 8*. Складіть схему схрещування, яке було описано у прикладі аналізуючого схрещування.

Схеми схрещування

Основні позначення

Батьківський організм	*P*
Гібриди першого покоління	F_1
Гібриди другого покоління	F_2
Гамети	*G*
Знак схрещування	×
Материнська особина	♀
Батьківська особина	♂
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* × *aaBB* — формули генотипів батьків

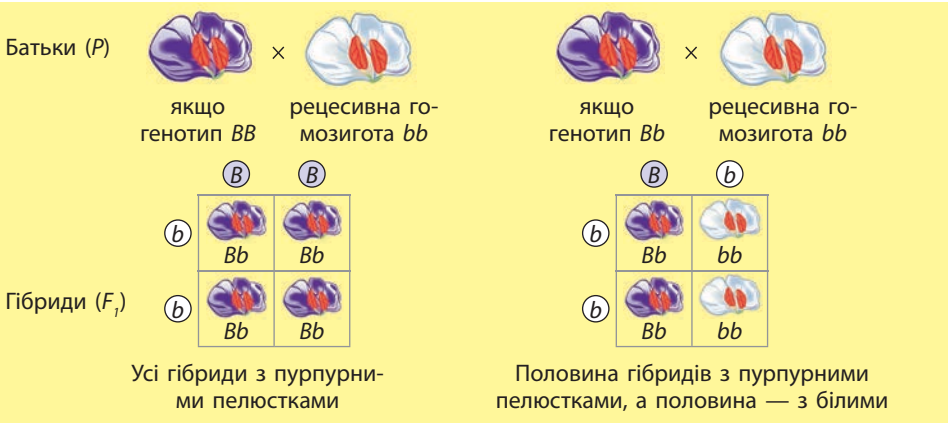
Гамети (*G*) *Ab* *aB* — типи їхніх гамет

Гібриди (F_1) *AaBb* — генотипи першого покоління

Приклад аналізуючого схрещування

Якщо рослина, яку ми досліджуємо, має пурпурні пелюстки, то в неї може бути два різні генотипи, які забезпечують такий фенотип: *PP* і *Pp*.

Для того щоб визначити, який саме генотип вона має, необхідно схрестити її з рослиною, що має білі пелюстки, тобто генотип *pp*. Якщо в результаті такого схрещування отримають нащадків тільки з пурпурними пелюстками, то це означає, що рослина, яку досліджували, мала генотип *PP*, а якщо половина з них буде з білими пелюстками (генотип *pp*), а половина — з пурпурними, то досліджувана рослина мала генотип *Pp*.



Символи, що використовують для складання родоводів

Чоловіки	□
Жінки	○
Мають досліджувану ознаку	■ ●
Пробанд	□ ○
Шлюб	□—○
Брати й сестри	○ □ ○

Монозиготні близнята	□ □ ○
Дизиготні близнята	□ □ ○ ○
Особисто обстежені	□! ○!
Померлі	⊞ ⊕
Гетерозиготні носії рецесивної ознаки	◧ ◐ ⊡ ⊙

28 Сучасні молекулярно-генетичні методи досліджень спадковості людини

Які методи молекулярної біології вам відомі? Які нуклеотиди входять до складу ДНК? Як відбувається процес реплікації, та який фермент його здійснює?

Сучасні молекулярно-генетичні методи досліджень

Молекулярно-генетичні методи досліджень спадковості людини працюють переважно з молекулами ДНК і білків. Вони використовують біохімічні властивості цих молекул, у першу чергу те, що ДНК і білки є біополімерами. Їх широко використовують у різноманітних наукових дослідженнях та в медицині.

Сучасні молекулярно-генетичні методи можна умовно поділити на кілька груп:

- виокремлення й очищення потрібних молекул,
- ампліфікація (копіювання) ДНК,
- гібридизація,
- обробка даних і моделювання.

Зазвичай усі ці методи використовують у комплексі. До найбільш поширених технологій зараз належать секвенування ДНК, полімеразна ланцюгова реакція, генетичні маркери та ДНК-мікрочіп.

Секвенування ДНК

Метод **секвенування ДНК** полягає у визначенні послідовності нуклеотидних основ (аденіну, тиміну, гуаніну й цитозину) на певній ділянці ДНК для подальшої ідентифікації такої ділянки і з'ясування складу РНК та білків, які можуть бути на ній закодовані. Кількість нуклеотидних основ у ДНК еукаріотів дуже велика, тому її визначають за допомогою спеціальних приладів — *секвенаторів* (мал. 28.1), які здій-

Мал. 28.1. Секвенатор — прилад для здійснення секвенування ДНК

снюють цей процес автоматично. Це дозволило в процесі реалізації проекту «Геном людини» здійснити секвенування ДНК всіх хромосом людини, хоча загальний розмір її геному становить 3,2 мільярди пар нуклеотидів.

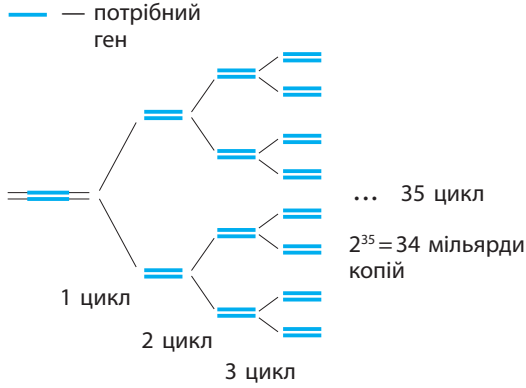
Секвенування ДНК широко використовують для діагностики спадкових захворювань і в судовій медицині для встановлення осіб або ідентифікації біологічного матеріалу.

Полімеразна ланцюгова реакція

Полімеразна ланцюгова реакція (ПЛР) є методом, завдяки якому можуть більш ефективно працювати всі інші технології роботи з ДНК. Її головне завдання — збільшити кількість молекул ДНК, необхідних для їх аналізу. Якщо молекул досліджуваної ДНК для аналізу замало, то з допомогою ПЛР їхню кількість можна збільшувати в мільйони разів. І вже після цього можна аналізувати цю ДНК за допомогою будь-якого методу.

ПЛР використовує принцип комплементарності ДНК. Цю реакцію здійснює фермент полімераза, який у клітині виконує процес реплікації. Він прикріплюється до позначеного місця на нитці ДНК і синтезує копію однієї з її ділянок. Для позначення місця, де полімераза починає синтез, використовують спеціальні коротенькі ланцюжки ДНК — *праймери*, які визначає дослідник.

Після синтезу спочатку підвищують температуру розчину. Висока температура руйнує водневі зв'язки, завдяки чому старий і новий ланцюги ДНК розходяться. Полімераза в цей час не працює. Потім температуру знижують, і полімераза знову може працювати. Після цього починається новий цикл синтезу, але тепер уже на двох ланцюгах ДНК (мал. 28.2). Після повторення цього циклу 30–40 разів кількість ДНК стає достатньою для аналізу, навіть якщо спочатку зразок містив лише одну молекулу ДНК. Цю технологію широко використовують у діагностиці різних захворювань і в судовій медицині. Крім того, за допомогою ПЛР вдається вилучати ДНК з кісток уже вимерлих організмів, що дає змогу читати і їхні геноми. Саме так було прочитано геном неандертальця.



Мал. 28.2. Схема полімеразної ланцюгової реакції

Застосування генетичних маркерів

Метод **генетичних маркерів** полягає в ідентифікації певних генів, ділянок ДНК, хромосом або окремих особин виду за допомогою притаманних лише їм сполучень нуклеотидів. **Генетичні маркери** (або *ДНК-маркери*) — це поліморфні (ті, які мають кілька варіантів) ознаки, які виявляють на рівні нуклеотидної послідовності ДНК під час здійснення досліджень. Таким чином визначають, які з варіантів маркерів є у певних особин популяції, і завдяки цьому можна з'ясувати структуру й історію цієї популяції та порівняти її з іншими популяціями.

Найчастіше для виявлення генетичних маркерів застосовують секвенування ДНК і полімеразну ланцюгову реакцію.

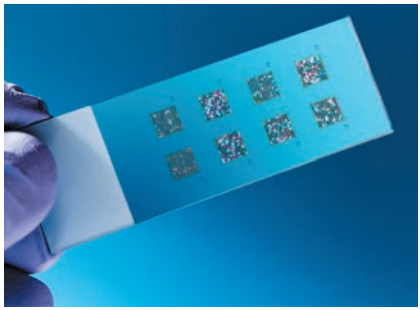
Генетичні маркери можуть розташовуватися в екзонах або інтронах структурних чи регуляторних генів. Вони можуть траплятися і в некодуючих ділянках геному людини, якими є інвертовані повтори, мікросателітні локуси тощо.

Ці маркери широко використовують у популяційних дослідженнях. Їх вивчення дозволяє встановити родинні зв'язки різних популяцій людей та їхню історію розвитку (включаючи міграції та схрещування з іншими групами).

ДНК-мікрочіп

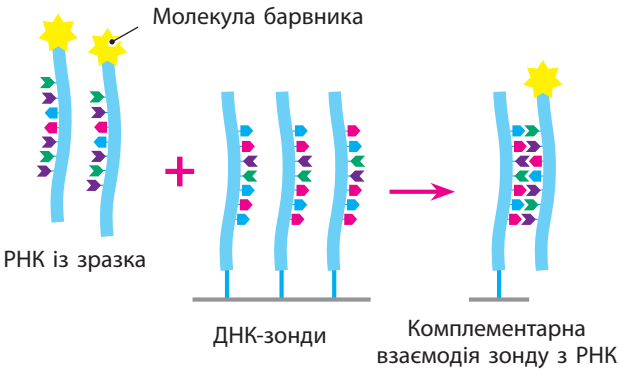
Метод ДНК-мікрочіп визначає, які саме з генів у клітині працюють. Крім того, він дозволяє оцінити й рівень активності генів (який із них працює більш, а який менш інтенсивно).

Суть методу **ДНК-мікрочіп** полягає в тому, що на спеціальній платі розташовується (за допомогою складного роботизованого механізму) велика кількість *зондів* — невеликих молекул ДНК, з якими взаємодіють молекули РНК, що наявні у досліджуваних клітинах (мал. 28.3). Зондами можуть бути гени як усього геному (на одній скляній платі їх можна розмістити до 40 тисяч), так і певної його частини, яка задіяна у дослідженні. Місце кожного із зондів на платі чітко визначено, що є дуже важливим для здійснення аналізу взаємодії молекул РНК із зондами, бо такий аналіз здійснюється автоматично за допомогою спеціального пристрою.

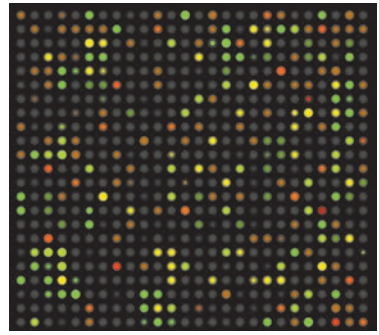


Мал. 28.3. Розміщення ДНК-зондів на скельці

Усі РНК досліджуваних клітин мітять спеціальними сигнальними молекулами,



Мал. 28.4. Взаємодія зонду і молекули РНК на мікрочипі



Мал. 28.5. Результат методу ДНК-мікрочіпу — виявлено комплекси РНК і ДНК-зондів

які забезпечують їхнє забарвлення. Якщо досліджувані клітини зруйнувати і вилити отриманий розчин на поверхню плати, то всі РНК будуть взаємодіяти із зондами, що їм відповідають (мал. 28.4). Після промивки плати, коли всі зайві молекули будуть видалені, лазерний детектор легко знайде сигнальні молекули, що прикріплені до молекул РНК, які зчепилися із зондами відповідних генів, і можна буде визначити, які гени в клітинах працювали (мал. 28.5).

Така технологія дозволяє, наприклад, з'ясувати, які гени в раковій клітині працюють, а які ні, порівняно зі здоровою, або які саме гени «вимикаються» (перестають працювати) або змінюють свою активність у разі певного спадкового захворювання.

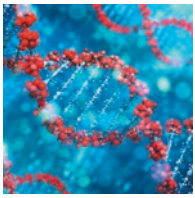
Отже, тепер ви знаєте

1. Які молекулярно-генетичні методи використовують під час вивчення спадковості людини? 2. Що таке секвенування ДНК? 3. Як здійснюють полімеразну ланцюгову реакцію? 4. Навіщо потрібні генетичні маркери? 5*. Складіть список обов'язкових компонентів розчину, в якому можна здійснити полімеразну ланцюгову реакцію.

Запитання та завдання

6. На конкретних прикладах поясніть, як методи молекулярної генетики можна використати в судовій медицині. 7*. Запропонуйте спосіб використання методу ДНК-мікрочіпу для порівняння активності роботи одного гена у двох різних тканинах.

29 Організація спадкового матеріалу еукаріотичної клітини

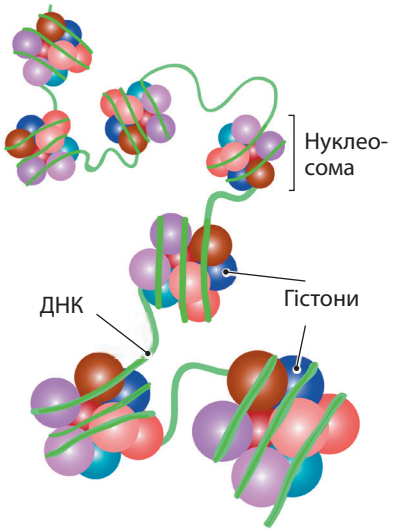


Що таке ген? Що таке геном? Які організми відносять до прокаріотичних, а які — до еукаріотичних? У яких структурах клітин розташований спадковий матеріал в еукаріотів? Яку будову має ген? Які функції виконують структури гена — промотор і термінатор?

Особливості геномів еукаріотів. Ядерний геном

Геноми еукаріотів поділяються на дві великі частини — *ядерну* і *позаядерну*. Основна частина генів еукаріотів зосереджена у ядерній частині геному. **Ядерна частина** — це гени, що розташовані в хромосомах ядра клітини.

Хромосоми є складними комплексами, що складаються з лінійної молекули ДНК і великої кількості спеціальних білків *гістонів*. Ці білки дозволяють дуже компактно розміщувати молекулу ДНК. Вони утворюють нуклеосоми — круглі структури, навколо яких обертається нитка ДНК (мал. 29.1). Крім того, вони відіграють важливу роль у регуляції роботи генів.



Мал. 29.1. Взаємодія ДНК з нуклеосомами

Характерною рисою еукаріотів є те, що більша частина ДНК в їхніх геномах є некодуючими ділянками, тобто ділянками, які не містять працюючих генів. Спочатку таку ДНК назвали сміттєвою, бо думали, що вона не потрібна організму. Але потім виявилося, що вона може відігравати важливу роль у регуляції роботи геному й еволюційних процесах. Проте, остаточно роль цих ділянок ДНК ще не з'ясовано.

Ще однією характерною рисою геномів еукаріотичних організмів є наявність довгих ділянок повторюваних нуклеотидних послідовностей різної довжини. Їхні функції ще недостатньо вивчені.

Позаядерний геном еукаріотів

Позаядерна частина геному — це гени, що розташовані в пластидах і мітохондріях (мал. 29.2). Молекула ДНК цих органел має форму кільця, вона не пов'язана з білками (не містить гістонів) і за своєю будовою дуже схожа на бактеріальну хромосому. Одна мітохондрія або пластида може містити по кілька копій цієї молекули ДНК. Деякі еукаріоти (наприклад, дріжджі) також можуть мати у своїх клітинах плазміди (маленькі кільцеві молекули ДНК).

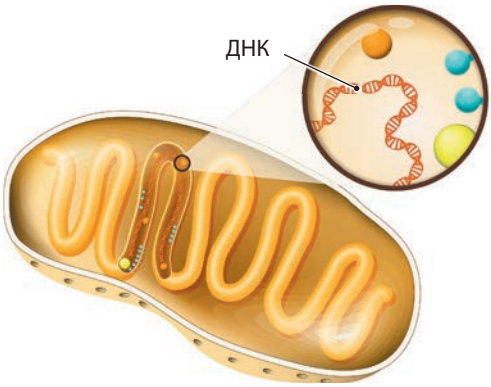
Молекули ДНК пластид і мітохондрій майже не містять некодуючих ділянок. У них зосереджені гени, які продукують речовини, що необхідні для функціонування цих органел (мал. 29.3).

Але не всі гени, продукти яких беруть участь у роботі мітохондрій і пластид, розміщені у позаядерному геномі. Так, мітохондрії людини містять усього 37 генів, але більша частина генів, необхідних для роботи мітохондрій, міститься у ядерній частині геному.

У геномах еукаріотів трапляються мобільні генетичні елементи (мобільні гени), які здатні переміщатися всередині геному. Ці гени не є структурними або регуляторними і їх часто розглядають як внутрішньогеномних паразитів.

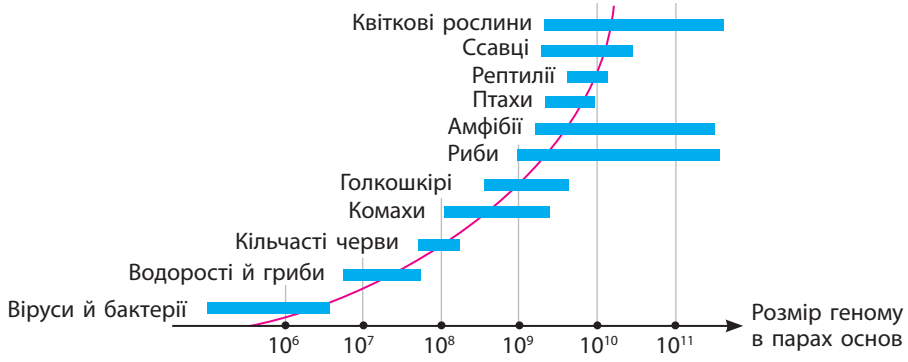
Розмір геному еукаріотів

Розмір геному організму визначається загальною кількістю пар нуклеотидів ДНК, які входять до його складу. Найменший розмір геному у вірусів. Він може бути меншим, ніж 2 тисячі пар нуклеотидів. У більш складних організмів і геном більший. Наприклад, у бактерії кишкової палички нуклеотидних пар — 4,6 млн.



Мал. 29.2. Місце розташування мітохондріального геному в мітохондрії

Мал. 29.3. Розташування генів і некодуючих ділянок у геномі мітохондрії



Мал. 29.4. Розмір геномів різних груп організмів

Але найбільшими є геноми еукаріотів (мал. 29.4). Так, розмір геному у дріжджів — 12,1 млн, у мухи дрозофіли — 175 млн, а у людини — 3,2 млрд пар нуклеотидів. На збільшення їхнього розміру впливає також наявність великої кількості некодуючих ділянок.

Число генів у геномах різних організмів теж є різною:

- у найпростіших вірусів — 2–3,
- у бактерій — кілька тисяч.

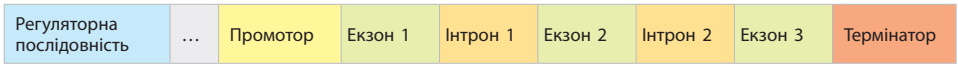
Еукаріоти мають найбільшу кількість генів:

- у тополі — 73 тисячі,
- у шовкопряда — 14 тисяч,
- у людини — понад 20 тисяч.

Число генів у геномах багатьох еукаріотів могло збільшуватися за рахунок поліплоїдизації, за якої число хромосом збільшується у кратну кількість разів за рахунок їх подвоєння.

Гени еукаріотів

Гени еукаріотів мають складну будову. Найкраще цю будову описує екзонно-інтронна модель (мал. 29.5). Гени еукаріотів поділені на певні ділянки, серед яких є промотор і термінатор та зазвичай — кілька екзонів та інтронів.



Мал. 29.5. Будова еукаріотичного гена

Інтрони — це послідовності нуклеотидів, які не містять інформації, необхідної для синтезу продукту гена (тобто молекули білка або РНК), а **екзони** — ділянки ДНК, що містять таку інформацію.

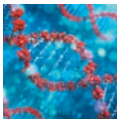
В еукаріотів під час реалізації спадкової інформації першою синтезується молекула РНК, яка містить копії всіх ділянок — і екзонів, і інтронів. А після цього відбувається процес її дозрівання, у ході якого інтронні ділянки видаляються з РНК.

Важливою частиною еукаріотичних генів є **регуляторні ділянки**, за допомогою яких клітина може прискорювати або уповільнювати синтез гена. Така будова дозволяє еукаріотичним організмам здійснювати дуже тонку регуляцію роботи своїх генів. Ділянки, що прискорюють роботу гена, називають **енхансерами**, а уповільнюють або припиняють — **сайленсерами**.

Кількість інтронів в одному гені може коливатися від нуля до кількох десятків. А довжина окремих інтронів — від кількох пар до декількох тисяч пар нуклеотидів.

У інфузорії *Oxytricha trifallax* число хромосом становить приблизно 16 000. Але розмір цих хромосом дуже маленький. У великому ядрі її клітини (макронуклеусі) розміщено приблизно 2000 копій геному. Таким чином, загальна кількість хромосом у макронуклеусі становить кілька мільйонів. Загальна кількість генів у геномі цього виду становить приблизно 18 000. Тому більшість хромосом містять тільки один ген, а найбільша кількість генів в одній хромосомі — 8. У звичайної інфузорії-туфельки (*Paramecium*) в ядрі міститься приблизно 200 хромосом.

Отже, тепер ви знаєте



1. Які особливості мають геноми еукаріотів? 2. У яких одиницях визначається розмір геному? 3. Скільки генів може міститися в геномі? 4. Які ділянки входять до складу генів еукаріотів? 5. Що таке інтрони й екзони? 6*. Які наслідки для роботи гена може спричинити втрата одного з екзонів унаслідок мутації?

Запитання та завдання

7. Чому пошкодження ДНК на ділянці інтрону не впливає на роботу гена? 8*. Інколи в еукаріотів шляхом зворотної транскрипції утворюються так звані псевдогени, які зазвичай не працюють. Вони виникають, коли на матриці зрілої РНК (яка містить тільки екзонні ділянки) синтезується ДНК, яка потім убудовується в геном. Чи можлива ситуація, коли такі псевдогени зможуть працювати як звичайні гени?

30 Гени структурні та регуляторні. Регуляція активності генів

Як відбувається реалізація спадкової інформації в еукаріотів? Що таке транскрипція і трансляція? Як відбувається дозрівання РНК? Що таке сплайсинг і де він відбувається? Які білки є складними?

Структурні й регуляторні гени

За функціями гени живих організмів можна поділити на дві великі групи: структурні й регуляторні. **Структурні гени** містять інформацію про будову молекул білків та РНК, які входять до складу органел або цитоплазми клітин. Багато які із цих білків і РНК беруть участь в утворенні структур клітини, що й дало назву цьому типу генів. До цієї групи входять також гени ферментів та речовин, які клітина виділяє у навколишнє середовище (наприклад, слиз або речовини нектару).

Регуляторні гени теж містять інформацію про структуру молекул білків або РНК. Але їхнє завдання — регулювати роботу структурних генів. Вони можуть її прискорити чи вповільнити. Або й зовсім припинити синтез продукту гена, який клітині на певний час не потрібен. Ці гени можуть діяти на різних етапах синтезу продуктів генів. Вони здатні впливати як на синтез або дозрівання РНК, так і на синтез білка.

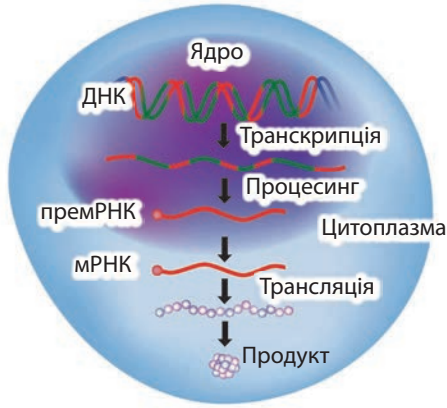
Навіщо потрібна регуляція роботи генів?

У геномі еукаріотів міститься кілька тисяч генів, але для життєдіяльності й виконання своїх функцій кожній окремій клітині потрібно набагато менше генів. Так, у ссавців нервовій клітині зорового нерва не треба виробляти ферменти слини або статеві гормони, а клітині м'язів не потрібний синтез гемоглобіну. Тому більша частина генів у клітинах є неактивною, «вимкненою».

Але й ті гени, які працюють не завжди, повинні працювати однаково інтенсивно. Якщо є потреба у виробленні травних ферментів, то гени, які їх виробляють, працюють активно. А коли потреба минає, інтенсивність їхньої роботи слід зменшувати. Таким чином клітини економлять ресурси організму.

Характерною особливістю еукаріотів є те, що кількість генів у них менша (часто набагато менша), ніж кількість білків, які синтезуються в їхніх клітинах. Це стало можливим завдяки тому, що з одного гена організм може отримувати кілька функціональних продуктів (молекул білків).

Саме для вирішення перелічених проблем і потрібні механізми регуляції реалізації спадкової інформації. Еукаріоти здійснюють таку регуляцію надзвичайно ефективно.



Мал. 30.1. Експресія генів у еукаріотів

Експресія генів

Унаслідок дії регуляторних механізмів змінюється експресія генів. **Експресія генів** — це процес, під час якого спадкова інформація певного гена використовується для синтезу його продукту (молекули білка або РНК) (мал. 30.1). Якщо експресія збільшується — продукту синтезується більше, а якщо зменшується — продукту синтезується менше.

Експресія може змінюватися як напряму (шляхом дії регуляторних генів), так і опосередковано (як побічний ефект дії іншого гена, наприклад, за умови недостатнього синтезу речовини, яка є субстратом для роботи ферменту).

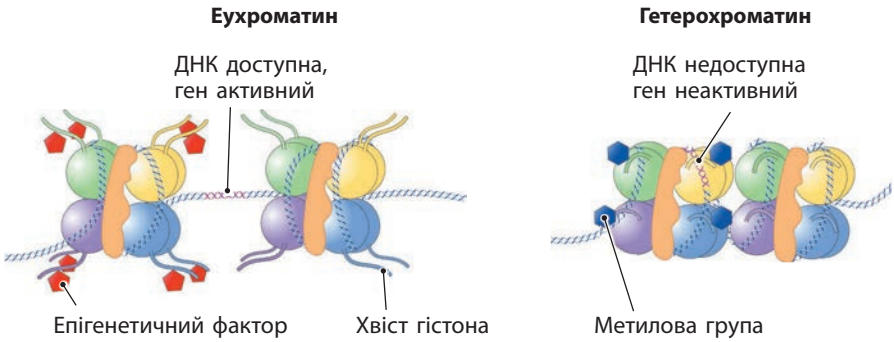
Регуляція активності генів

У клітинах регуляція реалізації генетичної інформації може відбуватися за допомогою кількох механізмів. Вони діють на різних рівнях реалізації спадкової інформації:

- на рівні хроматину,
- під час траскрипції,
- під час дозрівання та транспорту РНК,
- під час трансляції,
- після завершення трансляції (пост-трансляційна модифікація).

Регуляція на рівні хроматину

Цей тип регуляції може здійснюватися двома способами — структурним і хімічним (мал. 30.2). **Структурна регуляція** здійснюється за рахунок пакування певних ділянок ДНК за допомогою білків таким чином, щоб із них не можна було зчитати спадкову



Мал. 30.2. Регуляція роботи генів на рівні хроматину

інформацію. Так, на хромосомах розрізняють *гетерохроматинові* (щільно упаковані) та *еухроматинові* (не щільно упаковані) ділянки. На еухроматинових ділянках транскрипція можлива, а на гетерохроматинових — ні.

Хімічна регуляція відбувається за рахунок *модифікації* деяких *нуклеотидів* у ланцюжках ДНК. Якщо до них приєднується метильний радикал (CH_3), то зчитування інформації з такої ділянки ДНК стає неможливим.

Ще одним способом хімічної регуляції є *ацетилювання* білків-гістонів, навколо яких намотуються нитки ДНК в хромосомах. Наявність у них додаткової ацетильної групи також робить неможливим зчитування інформації з ділянки.

Регуляція на рівні транскрипції

Під час транскрипції регуляція роботи гена відбувається внаслідок взаємодії продуктів регуляторних генів (зазвичай білків) з певними структурами генів: промотором або регуляторними ділянками. Це дозволяє змінювати швидкість роботи генів або «вмикати» чи «вимикати» їх.

Регуляція під час дозрівання РНК та трансляції

Як ви знаєте, в еукаріотів після транскрипції відбувається *процесинг* (дозрівання РНК). Він відбувається в ядрі клітини, коли видаляються інтрони, а екзони комбінуються і з'єднуються один з одним. Під час процесингу відбуваються процеси вирізання інтронів, «зшивання» екзонів (сплайсинг) та додавання певних структур до початку і кінця молекули РНК.

Для більшості генів є можливим *альтернативний сплайсинг* — отримання кількох можливих варіантів РНК із синтезованої в ході транскрипції молекули.

Регуляція під час трансляції відбувається переважно на етапі ініціації. В цей момент різні фактори можуть приєднуватися до мРНК і блокувати синтез білкової молекули або, навпаки, розпочинати його.

Мал. 30.3. Варіанти утворення різних білків з однієї молекули внаслідок роботи білка-шаперона

Пост-трансляційна регуляція

Зазвичай цей процес відбувається у вигляді пост-трансляційної модифікації. *Пост-трансляційна модифікація* — це зміна білкової молекули після її утворення в процесі трансляції. Її здійснюють спеціальні білки. Наприклад, *білки-шаперони* формують просторову будову білка, модифікуючи його вторинну й третинну структури (мал. 30.3). Інші білки можуть додавати до молекули складних білків небілкову частину (наприклад, гем у молекулі гемоглобіну).

Гени еукаріотів, які необхідні для підтримання основних життєвих функцій і які активно працюють практично в усіх клітинах організму, отримали спеціальну назву — «гени домашнього господарства». Це гени, які синтезують продукти, потрібні для відтворення та реалізації спадкової інформації, здійснення основних метаболічних процесів та життєвого циклу клітини.

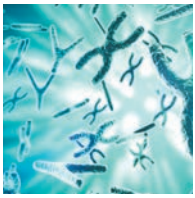
Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке структурні й регуляторні гени? 2. Навіщо потрібно регулювати роботу генів? 3. На яких рівнях відбувається регуляція роботи генів еукаріотів? 4*. Навіщо в еукаріотів стільки рівнів регуляції роботи генів?

Запитання та завдання

5. Укажіть захворювання, які виникають унаслідок порушення роботи білків-шаперонів. 6*. Дія багатьох антибіотиків побудована на їхньому впливі на регуляцію роботи генів у бактерій. Чому під час уживання людиною вони не впливають на регуляцію роботи її генів?

31 Поняття про каріотип. Хромосоми. Хромосомний аналіз



Де розташовані хромосоми? Які клітини називають статевими, а які — соматичними? Чи різниться кількість хромосом у статевих і соматичних клітинах?

Хромосомна теорія спадковості

Хромосомна теорія спадковості була запропонована майже відразу після перевідкриття законів Г. Менделя. Її запропонували Т. Бовері та В. Саттон (1902–1903 р.). Але свій сучасний вигляд вона отримала дещо пізніше завдяки роботам Т. Х. Моргана та його колег. Ця теорія дозволила зосередити увагу вчених на ядрі клітини як місці зберігання спадкової інформації і на хромосомах як на носіях цієї інформації.

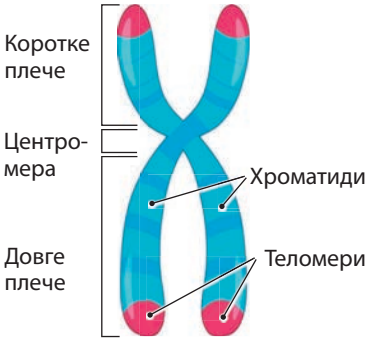
Основні положення хромосомної теорії спадковості:

• Гени містяться в хромосомах. Кожна пара хромосом є групою зчеплення генів. Кількість груп зчеплення дорівнює гаплоїдному числу хромосом.

• Гени розташовані в хромосомі лінійно.

• Між гомологічними хромосомами можуть відбуватися кросинговери (обмін ділянками між несестринськими хроматидами гомологічних хромосом).

• Частота кросинговеру прямо пропорційна відстані між генами.



Мал. 31.1. Будова хромосоми

Хромосоми

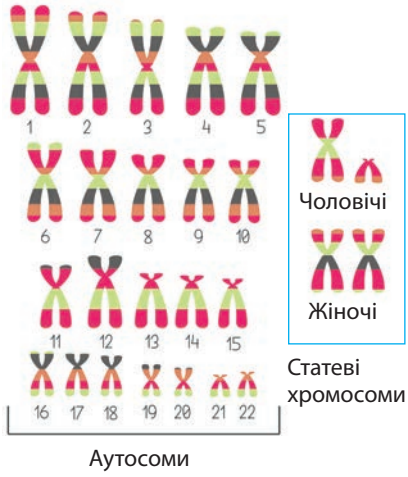
Кожна з хромосом є довгою молекулою ДНК, яка утворює складний комплекс із білками *гістонами*. Більшу частину свого існування хромосоми перебувають у неконденсованому стані й мають вигляд тонких ниток. Лише під час клітинного поділу вони конденсуються й утворюють чітко окреслені **хромосоми.**

Під час поділу клітини майже всі хромосоми мають *X*-подібну форму (мал. 31.1). Така

форма зумовлена тим, що в цей момент кожна з хромосом складається з двох однакових ниток (*хроматид*), які з'єднані між собою в одній ділянці, що називається *центромерою*, а частини хроматид від цієї ділянки до їхніх кінців — *плечами*. Кінцеві ділянки плечей хромосом називають *теломерами*.

За довжиною плечі можуть бути приблизно однаковими або різними. У такому випадку розрізняють довге й коротке плече хромосоми.

У більшості еукаріотів кожна з хромосом має парну їй *гомологічну* хромосому. Гомологічні хромосоми дублюють одна одну. У кожній із хромосом такої пари однакові ділянки є алельними генами.



Мал. 31.2. Ідіограма каріотипу людини (аутосоми представлені однією хромосомою з кожної пари)

Каріотип

Сукупність усіх хромосом клітини утворює її хромосомний набір. Сукупність ознак цього набору (кількість і форма хромосом, розташування центромер тощо), яка дозволяє його ідентифікувати, називають **каріотипом**. Каріотип можна зобразити у вигляді схеми — ідіограми (каріограми), на якій хромосоми розташовані за порядком зменшення довжини. Каріотип є одним із критеріїв виду, який дозволяє визначити належність до нього особин. Каріотип людини містить 22 пари аутосом (мал. 31.2) і дві статеві хромосоми (*XX* у жінок і *XY* у чоловіків).

Статеві та нестатеві хромосоми

Статеві хромосоми можуть бути одного або двох типів. Якщо у певного виду статеві хромосоми одного типу, то стать особини визначається тим, скільки статевих хромосом міститься в її хромосомному наборі — одна чи дві. Якщо статеві хромосоми двох типів, то одна стать має дві однакові статеві хромосоми (*гомогаметна стать*), а друга — дві різні (*гетерогаметна стать*).

Наприклад, у людини і двокрилих комах 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*).

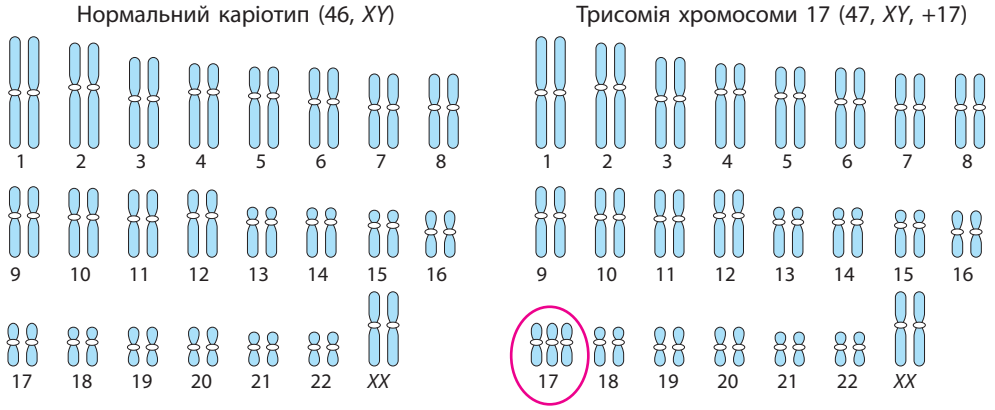
Плоїдність наборів хромосом

У більшості клітин еукаріотичних організмів усі хромосоми наявні у вигляді гомологічних пар. А от у статевих клітинах, які ці організми утворюють, хромосоми представлені лише в одному екземплярі, без своєї гомологічної пари. Такий набір хромосом називається **гаплоїдним**. Хромосомний набір соматичних клітин називається **диплоїдним**. Це пов'язано з особливостями статевого розмноження. У ході цього процесу новий організм утворюється в результаті злиття двох статевих клітин своїх батьків. Якби в статевих клітинах не відбувалося зменшення числа хромосом, то кожне наступне покоління мало б удвічі більше хромосом, ніж їхні батьки.

У природі трапляються випадки, коли кількість хромосом у деяких окремих клітин або цілих організмів змінюється у кратну кількість разів. Це явище називається **поліплоїдією**.

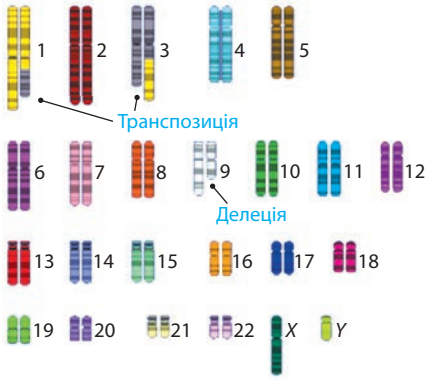
Учені досить часто виявляють триплоїдні (з трьома наборами хромосом), тетраплоїдні (з чотирма наборами), гексаплоїдні (із шістьма наборами) організми. Трапляються й організми з іще більшою плоїдністю.

Інколи зміна плоїдності стосується не всіх хромосом, а лише окремих пар. Наприклад, додається або зникає лише одна хромосома. Це явище називається **анеуплоїдією** (мал. 31.3). Відсутність



Мал. 31.3. Приклад анеуплоїдії у людини

у каріотипі однієї з гомологічних хромосом називають **моносомією**, а двох — **нулісомією**. Наявність зайвої хромосоми дістала назву **трисомії**.



Мал. 31.4. Каріотип людини із забарвленими хромосомами, деякі з яких мають пошкодження

Хромосомний аналіз

У наукових дослідженнях, селекції й медицині (в останній — для діагностики спадкових захворювань) широко використовують хромосомний аналіз. **Хромосомний аналіз** — це процес дослідження й аналізу числа й особливостей будови хромосом певного каріотипу. Під час здійснення такого аналізу конкретний каріотип порівнюють з нормальним каріотипом певного виду. З'ясовують, чи не змінена плоїдність набору. Виявляють відсутність певних хромосом або, навпаки, наявність зайвих.

Важливу інформацію для хромосомного аналізу надає технологія диференційного забарвлення хромосом (мал. 31.4). Завдяки неоднорідності пакування ДНК в її різних ділянках обробка хромосом спеціальними барвниками забарвлює ці ділянки по-різному. І розташування зон різного забарвлення на хромосомах є унікальним для кожного виду організмів. Аналіз забарвлених хромосом дозволяє досить легко встановити втрату чи подвоєння ділянок хромосоми або їхній поворот на 180°.

Отже, тепер ви знаєте

1. Які основні положення хромосомної теорії? 2. Яку будову мають хромосоми? 3. Що таке каріотип? 4. Які бувають статеві хромосоми? 5. Що таке плоїдність? 6*. Як можна використовувати хромосомний аналіз?

Запитання та завдання

7. Яку кількість наборів хромосом будуть мати гептаплоїдні та октаплоїдні клітини? 8*. Зробіть хромосомний аналіз каріотипу, який зображено на мал. 31.4, і визначте, які порушення мають хромосоми людини з таким каріотипом. Укажіть, якої статі ця людина. Враховуйте, що на малюнку кожна з пар хромосом має своє забарвлення, а номер відповідної пари хромосом розташований справа від неї.

32 Мутації та їхні властивості

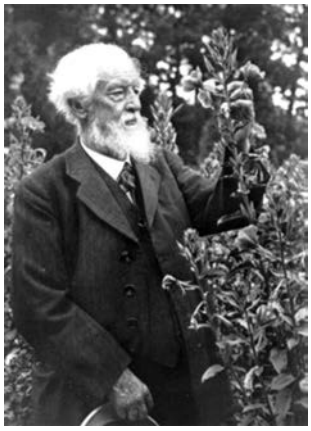
Яка речовина зберігає спадкову інформацію організмів? Які особливості будови притаманні цій речовині? Які нуклеотиди є у складі живих організмів? Чим різняться між собою чоловічі та жіночі гамети?

Мутації та їхні властивості

Мутацією (від латин. *mutatio* — зміна) називають зміну ознаки, яка зумовлена порушеннями спадкових структур, перебудовою генетичного апарату. Мутації змінюють генотип особини. Вони виникають раптово й спричинюють появу в організмі ознак, відмінних від вихідної форми.

Вченим такі зміни були відомі давно. Гуго де Фріз (мал. 32.1) запропонував термін «мутація». Крім того, він сформулював основні положення теорії мутацій (1901–1903), указавши їхні основні властивості:

- мутації виникають раптово, як дискретні зміни ознак;
- нові форми є стійкими;
- на відміну від неспадкової мінливості мутації не утворюють неперервних рядів і не зосереджуються навколо якогось середнього типу; вони є якісними змінами;
- мутації проявляються по-різному; вони можуть бути і шкідливими, і корисними;
- ймовірність виявлення мутацій залежить від числа досліджених особин;
- одні й ті самі мутації можуть виникати повторно.



Мал. 32.1. Гуго де Фріз (1848–1935), голландський ботанік, генетик

Класифікації мутацій

Існує кілька варіантів класифікації мутацій:

- за **типом прояву ознаки** в гетерозиготі: домінантні (спричиняють появу домінантної ознаки) й рецесивні (спричиняють появу рецесивної ознаки);

• за **локалізацією в клітині:** ядерні (змінюють гени, розташовані в ядрі клітини) й цитоплазматичні (змінюють гени, розташовані в цитоплазмі клітини);

• залежно від **причини виникнення:** спонтанні (причини їх виникнення досі не встановлено) та індуковані (виникають унаслідок дії на генетичний матеріал зовнішніх факторів);

• за **видом клітин**, у яких вони виникають: соматичні (у соматичних) та генеративні (у гаметах); соматичні можуть передаватися нащадкам лише за умови вегетативного розмноження, генеративні — за умови звичайного статевого розмноження.

Точкові, хромосомні та геномні мутації

Однією з найбільш поширених класифікацій мутацій є їх розподіл за рівнем організації спадкового матеріалу, на якому відбувається мутація. За цієї класифікації мутації поділяють на точкові (генні), хромосомні та геномні.

Класифікація мутацій за рівнем організації спадкового матеріалу

Тип мутацій	Які зміни спричиняють	Які бувають	Приклади мутацій
Точкові (генні)	Заміна, втрата чи додавання пари нуклеотидів. Змінюють тільки один ген	*Нонсенс*-мутації — викликають появу стоп-кодону всередині мРНК, яка кодує молекулу білка. *Міссенс*-мутації — змінюють одну амінокислоту в молекулі білка на іншу. *Сайлент*-мутації — не спричинюють заміну амінокислоти в молекулі	Міодистрофія Дюшена — нонсенс-мутація, яка блокує синтез білка у м'язах і викликає їхню деградацію. Серповидноклітинна анемія — міссенс-мутація, за якої в молекулі гемоглобіну одна з молекул глутаміну замінюється на валін
Хромосомні	Заміна, втрата, додавання чи зміна місця розміщення ділянки хромосоми. Можуть змінювати чи порушувати роботу кількох генів	*Делеція* — втрата ділянки хромосоми. *Дуплікація* — подвоєння ділянки хромосоми. *Інверсія* — перевертання ділянки хромосоми на 180°. *Транслокація* — перенесення ділянки на іншу (негомологічну до неї) хромосому	Синдром котячого крику — спадкове захворювання людини внаслідок утрати ділянки п'ятої хромосоми

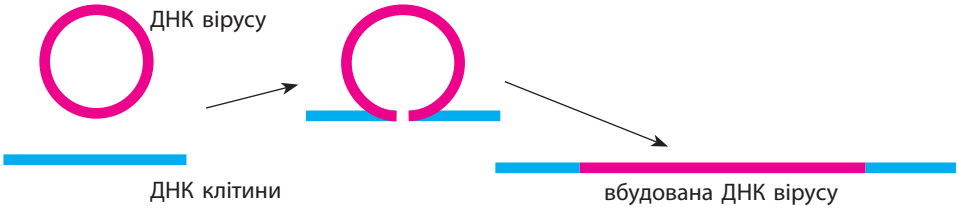
Тип мутацій	Які зміни спричиняють	Які бувають	Приклади мутацій
Геномні	Зміна кількості окремих хромосом чи всього хромосомного набору. Можуть порушувати роботу сотень і тисяч генів	Поліплоїдія, гетероплоїдія, моносомія. *Робертсонівська транслокація* — об'єднання двох хромосом в одну	Синдром Дауна — спадкове захворювання людини внаслідок трисомії у 21-й парі хромосом

Мутагенні фактори

Фактори, які здатні індукувати мутаційний ефект, називають **мутагенними**. Встановлено, що будь-які фактори зовнішнього і внутрішнього середовища, які можуть порушувати гомеостаз, здатні викликати мутації. Традиційно їх поділяють на три великі групи: фізичні, хімічні та біологічні.

Групи мутагенних факторів

Група мутагенних факторів	Найбільш поширені фактори групи	Механізм дії
Фізичні	Рентгенівське та ультрафіолетове випромінення, висока температура, ультразвук	Відбуваються розриви ниток ДНК, порушується її структура; в клітині утворюються вільні радикали (молекули або атоми, які мають один чи два неспарені електрони) які взаємодіють з нуклеотидами і білками хромосом
Хімічні	Формальдегід, колхіцин, хлороформ, діоксин, сполуки Плюмбуму, Меркурію, алкоголь, наркотичні речовини	Відбуваються розриви ниток ДНК, порушується її структура; окремі нуклеотиди вступають у реакції з різноманітними речовинами
Біологічні	Віруси кору, грипу та інші; токсини, які виробляють живі організми, мобільні генетичні елементи	Токсини діють за тим самим механізмом, що й хімічні мутагени. Віруси можуть убудовуватися в ДНК клітини після свого проникнення в неї (мал. 32.2). Якщо вони вбудовуються на ділянці працюючого гена, то порушують його роботу. Мобільні генетичні елементи є ділянками ДНК, які здатні самостійно переміщуватися всередині хромосоми або між різними хромосомами. Якщо вони потрапляють на ділянку працюючого гена, то порушують його роботу



Мал. 32.2. Вбудовування вірусу в ДНК клітини

Мал. 32.3. Породи домашніх тварин, що були отримані за участі мутантних особин

Головоногий молюск наутилус має очі достатньо складної будови, дуже схожі за будовою на очі його родичів — восьминогів і кальмарів. Але є суттєва різниця в їхній будові. В очах наутилуса відсутній кришталик, що робить його зір суттєво погіршим. Така особливість виникла через мутацію одного з тих регуляторних генів, які відповідають за розвиток ока. За оцінками вчених, ця мутація мала місце більш, ніж 400 млн років тому.

Мутагенні фактори широко застосовують у селекційній практиці з метою отримання нових сортів рослин і порід тварин (мал. 32.3). Так, на рослини діють критичними температурами, іонізуючим випромінюванням, хімічними речовинами (найбільш поширений — алкалоїд колхіцин).

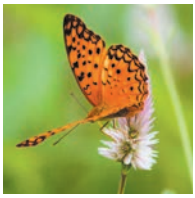
Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке мутації? 2. Які властивості мають мутації? 3. Які бувають мутації? 4. Які бувають мутагени? 5*. На конкретних прикладах поясніть, які наслідки можуть мати точкові мутації.

Запитання та завдання

6. Чому для популяції організмів шкідливі соматичні мутації менш небезпечні, ніж шкідливі генеративні мутації? 7*. Яким чином можна зменшити ризик впливу на ваш організм хімічних мутагенів?

33 Біологічні антимутаційні механізми



Яка речовина в клітині є носієм спадкової інформації? У якому вигляді зберігається спадкова інформація? Що таке реплікація?

Причини й можливі наслідки пошкодження ДНК

Молекула ДНК, як і будь-яка інша молекула, може зазнати пошкоджень. 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. Часто молекули ДНК пошкоджує ультрафіолетове й радіоактивне випромінення. Суттєвою небезпекою є деякі хімічні сполуки. Крім того, причиною пошкодження може бути помилка під час реплікації. Наприклад, замість одного нуклеотиду в ланцюг випадково може потрапити інший. Хоча таке трапляється 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 частина молекули білка. Зрозуміло, що така молекула не зможе працювати й виконувати свої функції.

Процеси репарації ДНК

Для того щоб виправляти такі помилки, в клітинах існує спеціальний механізм. Його називають репарацією ДНК.

Репарація ДНК — це ціла низка процесів, за допомогою яких клітина знаходить і виправляє пошкодження у своїй ДНК. Здійснюють ці процеси складні комплекси ферментів, до складу яких входить відразу кілька білків.

Одні з цих білків знаходять місце пошкодження, інші — розплітають цю ділянку ДНК і видаляють помилковий нуклеотид. А потім на це місце поміщається правильний нуклеотид. Репараційна система

вважає правильним той нуклеотид, який розташований у старому ланцюзі ДНК. Цей ланцюг ферменти можуть упізнати за «мітками» на нуклеотидах (до деяких із них приєднуються метильні групи $-CH_3$).

Для інших типів пошкоджень ДНК теж існують групи ферментів, які знаходять їх та виправляють.

Захист геному людини від шкідливих мутагенних впливів

Для захисту геному людини від впливу мутагенів існує кілька механізмів. Жоден із них не дає повної гарантії від пошкоджень, але разом вони суттєво знижують ризик ураження геному мутагенами.

Основні механізми захисту геному людини від дії мутагенів

Механізм захисту	Опис дії механізму
Адекватна поведінка	Завдяки своїй розумовій діяльності людина може визначати ситуації, коли вона може зіткнутися з дією мутагену, й уникати їх. Наприклад, не відвідувати місця з підвищеним радіаційним фоном та не споживати речовини, які містять хімічні мутагени (алкогольні напої, тютюн, наркотики)
Покриви тіла	Шкіра є достатньо надійним засобом захисту, який перешкоджає потраплянню в організм багатьох видів мутагенів (у першу чергу хімічних і біологічних)
Захисні речовини	У клітинах наявна велика кількість речовин, які можуть зв'язувати молекули хімічних мутагенів (наприклад, аскорбінова кислота здатна зв'язувати вільні радикали). У такий спосіб захисні речовини запобігають контакту мутагенів із ДНК клітин
Структура геному	Більшість ділянок ДНК у геномі людини, як і в усіх еукаріотів, є некодуючою. Тому їх пошкодження мутагенами не має критичних наслідків
Репараційні системи	Система репарації ДНК в клітинах, яка описана вище, відновлює пошкоджені мутагенами ділянки

Отже, тепер ви знаєте

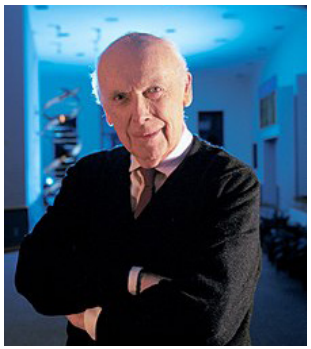
1. Які причини можуть викликати пошкодження ДНК? 2. Які наслідки може мати пошкодження ДНК? 3. Що таке репарація? 4. Як відбувається процес репарації? 5*. Які фактори можуть вплинути на процес репарації?

Запитання та завдання

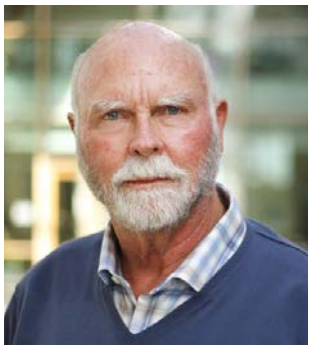
6. Складіть список правил, дотримання яких зменшить ризик пошкодження вашого геному мутагенами. 7*. Проаналізуйте ситуацію у вашому регіоні та зробіть висновок, який тип мутагенів (фізичні, хімічні чи біологічні) становить для місцевого населення найбільшу небезпеку. Висновок обґрунтуйте.

34 Геном людини

Що таке ген? Що таке геном? Які особливості мають геноми еукаріотичних організмів? Як регулюється робота генів у клітинах еукаріотів?



Мал. 34.1. Джеймс Уотсон (нар. 1928 р.), американський біолог, лауреат Нобелівської премії (1962 р.)



Мал. 34.2. Крейг Вентер (нар. 1946 р.), американський біолог, генетик і підприємець

Міжнародний проект «Геном людини»

Розвиток молекулярно-генетичних технологій у другій половині XX століття дав змогу докладно вивчити людський геном. Для здійснення цього дослідження 1990 року було створено міжнародний проект «Геном людини».

Проект здійснювався під керівництвом Джеймса Уотсона (мал. 34.1). Паралельно аналогічний проект виконувався приватною компанією «Селера Джіномікс» під керівництвом Крейга Вентера (мал. 34.2).

Головним завданням проекту було визначення послідовності ДНК хромосом людини та локалізація (визначення місця розташування) всіх її генів. Основним методом, що використовувався у цих дослідженнях, було секвенування молекул ДНК.

Перший неповний варіант розшифрування геному було представлено 2000 року. Повна версія — 2003 року. Але деякі ділянки ДНК (центромери і теломери хромосом та деякі специфічні ділянки) ще потребують додаткових досліджень і не можуть вважатися повністю розшифрованими. Найбільший об'єм секвенування ДНК в межах проекту було виконано в університетах США, Канади й Великої Британії.

Особливості геному людини

Дослідження геному людини дозволило з'ясувати, що 22 аутосоми, статеві хромосоми *X* та *Y*

і мітохондріальна ДНК разом містять приблизно 3,234 мільярда пар нуклеотидів. До складу геному входять гени (частина з них кодує білки, а частина — РНК), регуляторні послідовності (вони регулюють роботу генів), повтори (послідовності ДНК, які повторюються кілька разів поспіль), транспозони (мобільні генетичні елементи), псевдогени та вірусна ДНК.

Кількість генів у геномі людини виявилася меншою, ніж очікували. Якщо білків у організмі людини знайшли понад 100 тисяч, то генів, які синтезують білки, виявилося трохи більше, ніж 20 тисяч. Це стало можливим завдяки тому, що під час дозрівання мРНК з однієї її молекули клітина може утворити кілька варіантів для синтезу різних білків. У середньому з кожної молекули мРНК організм людини синтезує 6 різних білків.

Транспозони є ділянками ДНК, які здатні до самостійного пересування (транспозиції) та розмноження в межах геному. Їх можна розглядати як внутрішньогеномних паразитів, бо корисних продуктів вони не синтезують, а ресурси клітини для власного відтворення використовують.

Псевдогени є непрацюючими аналогами структурних генів, які втратили можливість реалізовувати свою генетичну інформацію. Частіше за все вони виникають шляхом зворотної транскрипції молекул РНК. Псевдоген містить усю потрібну інформацію для синтезу відповідного білка або РНК, але не містить регуляторних послідовностей. Тому він не може відтворити цю інформацію.

Найбільша кількість генів (2058), які кодують білки, у людини розташована на хромосомі 1, а найменша (13) — у мітохондріальній ДНК. Серед хромосом найменша кількість таких генів (71) розташована на *Y*-хромосомі.

Отже, тепер ви знаєте

1. Коли тривав проект «Геном людини»? У чому полягає його сутність? 2. Який розмір має геном людини? 3. Які компоненти входять до геному людини? 4. Що таке транспозони, псевдогени? 5*. У чиїх соматичних клітинах — чоловіка чи жінки — міститься більше генів? Обґрунтуйте свою точку зору. 6*. Чому важливим є розшифрування геному людини?

Запитання та завдання

6. Запропонуйте пояснення, чому в мітохондріальній ДНК людини відсутні псевдогени. 7*. Чи можуть транспозони приносити користь організму? Обґрунтуйте свою точку зору.

35 Закономірності спадкової і неспадкової мінливості людини

Що таке спадковість і мінливість? Де зберігається спадкова інформація в організмі людини? Скільки пар хромосом містять клітини людини? Що таке кросинговер? У яких випадках клітини діляться шляхом мейозу?

Різноманіття форм мінливості

Ви вже знаєте, що **мінливість** є властивістю живих організмів змінюватися. Ці зміни можуть відбуватися як із самим організмом протягом його існування, так і зі зміною поколінь у кожного з видів живих організмів. Учені 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.

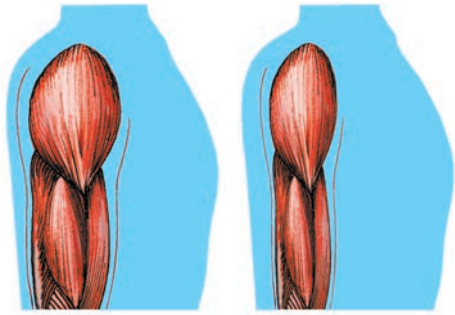
Спадкова мінливість, у свою чергу, поділяється на комбінативну і мутаційну. За **комбінативної** мінливості не змінюється структура ДНК. Відбувається лише перекомбінування алелів різних генів. За **мутаційної** мінливості структура ДНК змінюється.

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 і та сама людина у віці одного, шести, двадцяти і сімдесяти років виглядає зовсім по-різному.

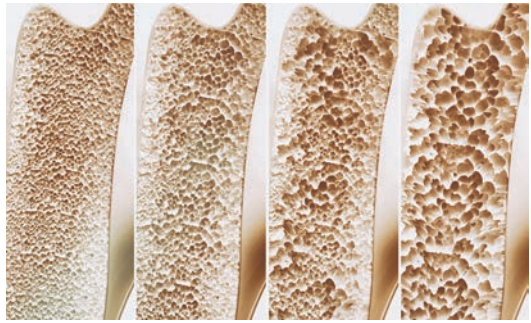
Онтогенетична мінливість виникає в клітинах організму завдяки регуляції роботи генів. «Вмикання» і «вимикання» генів у ході онтогенезу людини відбувається з урахуванням конкретних умов існування. Тому навіть у монозиготних близнят набори активних і неактивних генів, що утворюються протягом життя, суттєво різняться між собою, хоча їхні генотипи в момент розходження бластомерів і утворення двох зародків є ідентичними.

Модифікаційна (фенотипова) мінливість

Неспадкову мінливість ще називають *фенотиповою*, або *модифікаційною*. **Модифікації** — це фенотипові зміни, які виникають під впливом умов середовища. Модифікаційні зміни ознаки не успадковуються,



Мал. 35.1. Розмір м'язів руки в умовах різних фізичних навантажень



Мал. 35.2. Зміна структури кістки в результаті порушення обміну речовин

але її діапазон (*норма реакції*) генетично зумовлений і успадковується. Модифікаційні зміни не викликають змін генотипу. Модифікаційна мінливість відповідає умовам існування, є пристосувальною.

Внаслідок цієї мінливості в організмі змінюється інтенсивність ферментативних реакцій, що зумовлюється зміною інтенсивності їх біосинтезу.

Характерною рисою модифікаційної мінливості є **оборотність** — зникнення змін в організмі у разі зникнення специфічних умов середовища, що призвели до появи модифікації.

Прикладами модифікаційної мінливості є:

- зміна маси тіла людини за умови зміни кількості їжі;
- зміна забарвлення шкіри у людини під дією сонячних променів;
- відмінності розміру м'язів в умовах різних фізичних навантажень (мал. 35.1);
- перебудова структури кісток людини під впливом частих навантажень або внаслідок порушення обміну речовин (мал. 35.2).

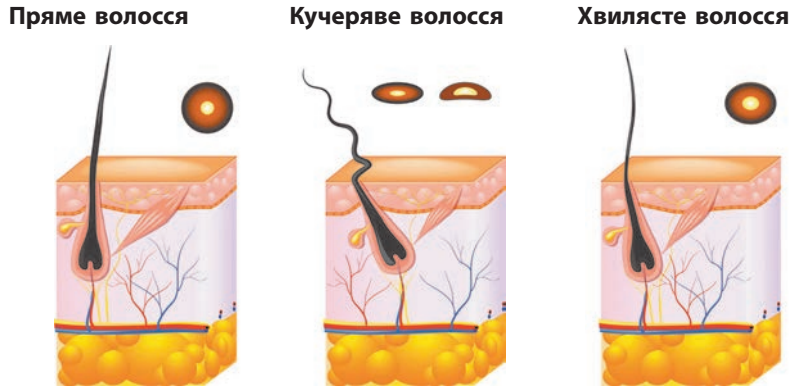
Комбінативна мінливість

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.

У людини комбінативна мінливість відбувається під час процесів:

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

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



Мал. 35.3. Поява нової форми волосся в дитини у порівнянні з батьками

Прикладами комбінативної мінливості є:

• народження дитини з II(A) групою крові у батьків з групами крові I(0) і IV(AB);

• народження дітей із хвилястим волоссям у батьків, волосся одного з яких пряме, а іншого — кучеряве (мал. 35.3).

Мутаційна мінливість

Мутаційна мінливість виникає внаслідок порушення структури ДНК або спадкових структур клітини (наприклад, зміна числа хромосом у результаті геномних мутацій). Ви вже знайомі 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 відзначити, що в людини нащадкам буде передано лише ті мутації, які виникли у статевих клітинах.

Мутаційна мінливість відбувається у людини постійно. Часто вона має важливі наслідки. Наприклад, поява білявого волосся в європейців була зумовлена мутацією, яка виникла кілька тисяч років тому на території скандинавського півострова. Наслідком мутації була й поява здатності споживати свіже молоко в дорослому віці. У цьому випадку ген, який повинен був відключати синтез ферменту лактази, перестав працювати. Ця мутація виявилася корисною і поширилася (мал. 35.4).

Різні мутації в геномі людини інколи можуть мати однакові наслідки. Так, приблизно 8 % населення Соломонових островів, розта-

Мал. 35.4. Кількість населення, не здатного споживати свіже молоко в дорослому віці

шованих у Тихому океані, мають біляве волосся (мал. 35.5). А носіями цього алеля є 26 % населення. Та цей алель не є алелем гена, який відповідає за біляве волосся у європейців. Хоча ця мутація також припиняє синтез меланіну у волоссі, але виникла вона в іншому гені.

Мал. 35.5. Мешканець Соломонових островів з білявим волоссям

Отже, тепер ви знаєте

1. Які форми мінливості є у людини? 2. Унаслідок чого може виникати модифікаційна мінливість у людини? 3. Які процеси є причинами комбінативної мінливості? 4. Мутації генів у яких клітинах передаються нащадкам у людини? 5*. Яке значення для людини має онтогенетична мінливість?

Запитання та завдання

6. У давніх мисливців мутація, яка дозволяє синтез ферментів для процесу травлення молока, була шкідливою. Але кілька тисяч років тому вона стала корисною і поширилася. Чому? 7. Проаналізуйте карту (мал. 35.4) і поясніть, у якому регіоні з'явилася мутація, розподіл якої серед населення вона відображає. Відповідь обґрунтуйте.

36 Типи успадкування ознак у людини

Де в клітинах організму людини розміщена ДНК? Як можуть взаємодіяти між собою різні гени? Які закони сформулював Г. Мендель? Які алелі називають домінантними, а які — рецесивними?

Механізми успадкування ознак у людини

Успадкування різних ознак у людини може забезпечуватися різними механізмами. Частина ознак є **моногенними** (тобто визначається дією одного гена). Їх успадкування відбувається згідно із законами Г. Менделя та хромосомною теорією спадковості.

Інші ознаки можуть утворюватися як результат взаємодії двох або кількох генів. Вони називаються **полігенними,** або **мультигенними**. Значна частина з них є результатом взаємодії великої кількості генів.

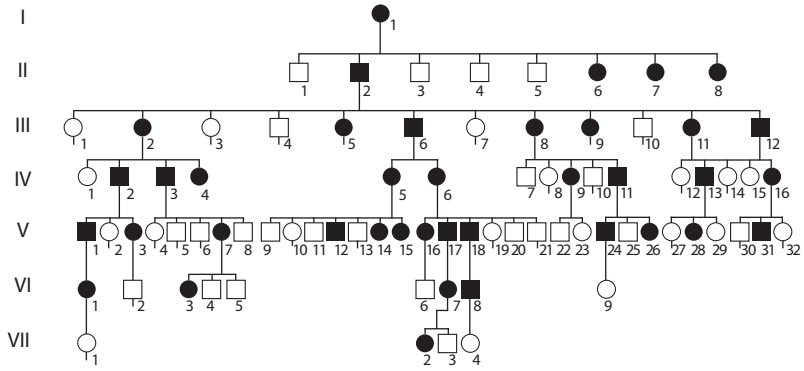
У людини також спостерігається **позахромосомне** успадкування. Воно пов'язане з генами, які розташовані в ДНК мітохондрій. Ці гени відповідають за синтез РНК і білків, потрібних для функціонування мітохондрій. Крім того, у складі ДНК мітохондрії є невеличка некодуюча ділянка (так званий *контрольний регіон*), яка широко застосовується генетиками в генетико-популяційних дослідженнях. Ця ділянка є таким зручним об'єктом завдяки тому, що всі мутації, які в ній виникають, є нейтральними, а сама мітохондріальна ДНК передається тільки по жіночій лінії. Такі дослідження використовувалися, наприклад, для визначення послідовності й часу заселення різних регіонів планети давніми людьми.

Моногенне успадкування ознак

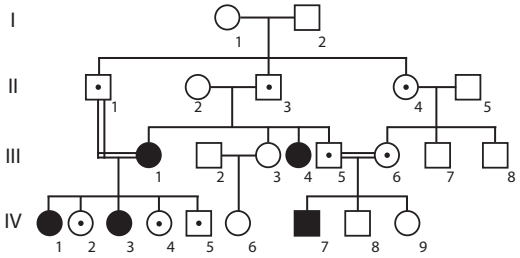
Моногенні ознаки у людини успадковуються за кількома різними механізмами. Конкретний механізм успадкування ознаки залежить від того, в якій із хромосом (аутосомі чи статевій хромосомі) розташований відповідний ген та якою (домінантною чи рецесивною) є досліджувана ознака. Крім того, на прояв гена може впливати стать людини. Деякі з них починають працювати тільки за певного рівня статевих гормонів. Так, молочні залози формуються у представників і чоловічої, і жіночої статі. Але розвиватися вони починають тільки за умови досягнення потрібного рівня жіночих гормонів в організмі в період статевого дозрівання.

Механізми успадкування моногенних ознак у людини

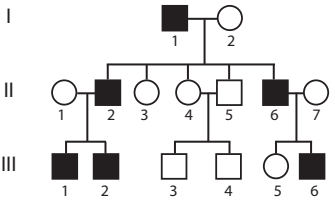
Тип успадкування	Механізм успадкування ознаки	Приклади ознак
Аутосомно-домінантне (мал. 36.1)	Ознака визначається домінантним алелем гена, що розташований в аутосомі. Ознака проявляється у кожному поколінні незалежно від статі	Брахидактилія
Аутосомно-рецесивне (36.2)	Ознака визначається рецесивним алелем гена, що розташований в аутосомі. Ознака проявляється незалежно від статі, але її прояв може відбуватися не в кожному поколінні	Синій колір очей, дальтонізм за синім кольором
Зчеплене зі статтю, домінантне	Ознака визначається домінантним алелем гена, який розташований у *X*-хромосомі. Ознака проявляється в кожному поколінні незалежно від статі	Нефрогенний нецукровий діабет
Зчеплене зі статтю, рецесивне	Ознака визначається рецесивним алелем гена, який розташований у *X*-хромосомі. Ознака завжди проявляється у чоловіків, а у жінок проявляється тільки в гомозиготному стані	Дальтонізм за червоним і зеленим кольором
Залежне від статі, аутосомне	Ознака визначається геном, який розташований в аутосомі, але може проявлятися тільки у представників певної статі	Гени, які визначають особливості первинних і вторинних статевих ознак
Голандричне (мал. 36.3)	Ознака визначається геном, який розташований у *Y*-хромосомі. Завжди проявляється у чоловіків	Гіпертрихоз вушних раковин



Мал. 36.1. Схема аутосомно-домінантного успадкування на прикладі родоводу успадкування брахидактилії



Мал. 36.2. Схема аутосомно-рецесивного успадкування



Мал. 36.3. Схема голандричного успадкування

Полігенне успадкування ознак

Відомо багато випадків, коли ознака або властивості організму визначаються двома або більшою кількістю різних генів, 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, епістаз і полімерія. Крім того, окремо розглядають модифікуючу дію гена (плейотропію), яка проявляється у визначенні одним геном різних ознак.

Під час **комплементарної** взаємодії генів розвиток ознаки відбувається лише у випадку, коли кожний із неалельних генів має хоча б по одному домінантному алелю. У людини за механізмом комплементарної взаємодії успадковуються відтінки волосся.

У разі **епістатичної** взаємодії генів домінантний або рецесивний алель одного гена пригнічує прояв домінантного алеля іншого гена. Відповідно, розрізняють домінантний і рецесивний епістаз. Для людини прикладом епістатичної взаємодії генів є дія рецесивного алеля гена Бомбей, який блокує утворення антигенів групи крові АВ0 на мембранах еритроцитів. У цьому випадку людина має групу крові I (0) незалежно від свого генотипу.

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*. Полімерна взаємодія

генів може бути двох типів — **некумулятивна** (ступінь прояву ознаки не залежить від кількості домінантних алелів) і **кумулятивна** (ступінь прояву ознаки тим більший, чим більше домінантних алелів). У людини за механізмом кумулятивної полімерії успадковується колір шкіри.

Прикладом **мультигенних** ознак, що утворюються як результат взаємодії комплексу генів, є зріст людини, хоча ця ознака може змінюватися і під впливом мутації окремого гена (наприклад, за недостатнього синтезу гормону росту), але у нормальній ситуації на неї впливає цілий комплекс генів.

Мал. 36.4. Африканські пігмеї

Дуже добре це видно на прикладі африканських пігмеїв (мал. 36.4). Для них низький зріст був важливим пристосуванням до життя у тропічному лісі. І для досягнення цієї мети змінювалися алелі в декількох генів комплексу, що вдалося визначити методами молекулярної біології. Але зіставивши результати дослідження двох груп пігмеїв з різних регіонів, учені довели, що комплекси генів зросту цих груп пігмеїв змінювалися різними способами. Таким чином, для досягнення однієї мети мультигенна ознака може змінюватися різними шляхами.

Отже, тепер ви знаєте

1. Які механізми успадкування ознак існують у людини? 2. Як успадковуються моногенні ознаки? 3. Які ознаки є полігенними? 4. Де містяться гени, які забезпечують у людини нехромосомне успадкування? 5*. Чому різні зміни в комплексі генів, які визначають зріст пігмеїв, мали однаковий результат — зменшення росту?

Запитання та завдання

6. На конкретному прикладі поясніть, як може відбуватися зчеплене зі статтю рецесивне успадкування. 7*. Дальтонізм за певним кольором виникає, якщо порушується робота гена, який відповідає за синтез відповідного білка опсину. Чому дальтонізм за різними кольорами у людини має різні механізми успадкування?

37 Генетичний моніторинг у людських спільнотах

Які існують методи біологічних досліджень? Що таке спостереження? Що таке моніторинг? Чим моніторинг відрізняється від експерименту? Які існують методи генетичних досліджень?

Особливості генетичного моніторингу людини

Генетичний моніторинг — це система спостережень, спрямованих на відслідковування, виникнення та поширення спадкових порушень у популяціях. Він забезпечує системне спостереження за станом генофонду популяцій, дає можливість оцінювати наявний мутаційний процес та прогнозувати його зміни.

Система генетичного моніторингу почала розвиватися із 60-х років XX століття після так званої «талідомідної катастрофи», коли негативна дія лікарського препарату талідоміду стала причиною народження кількох тисяч дітей з вадами розвитку. Але хоча цей випадок і став приводом для створення системи генетичного моніторингу, спостереження за подібними до талідоміду речовинами не входить до кола завдань сучасного генетичного моніторингу. Це пов'язано з тим, що талідомід є тератогеном — речовиною, яка порушує процеси розвитку зародка, але не змінює його спадкові ознаки (мал. 37.1).

Мал. 37.1. Наслідки дії талідоміду, який застосовували в кінці 50 — на початку 60-х років XX ст.

Завдання і методи генетичного моніторингу

Основним завданням генетичного моніторингу є контроль генетичних вад, які виникають у популяції, та попередження їх виникнення. У рамках цього завдання генетичний моніторинг виконує такі завдання:

- визначення спрямованості спадкової мінливості в популяціях людини;
- визначення інтенсивності мутаційного процесу;

• оцінювання стабільності спадкових структур як окремих особин, так і популяцій у цілому;

• визначення генетичного складу популяцій;

• прогнозування кількості людей зі спадковими захворюваннями;

• оцінка шкідливого впливу факторів навколишнього середовища на генофонд популяції.

Для контролювання спадкової мінливості в популяціях необхідно оцінювати *коефіцієнт імбридингу*, величину *генетичного вантажу*, інтенсивність *мутаційного процесу* в певній популяції, зміну проявів спадкових ознак залежно від зовнішніх умов.

Під час проведення генетичного моніторингу часто застосовують такі методи:

• облік домінантних мутацій, які чітко відрізняються від норми (визначаються візуально);

• облік хромосомних аномалій (визначаються під час тотального контролю новонароджених або проведення вибіркових досліджень);

• визначення частоти мутацій у білках сироватки крові;

• визначення частоти хромосомних порушень у лімфоцитах периферичної крові.

Одним із найефективніших способів генетичного моніторингу є спостереження за індикаторними фенотипами, які виникають у результаті дії мутагенних факторів і проявляються як домінантні ознаки.

Значення генетичного моніторингу

Регулярний аналіз даних генетичного моніторингу дозволяє ефективно контролювати ситуацію та оперативно реагувати на зміну частоти спадкових порушень у часі або на певній території. Генетичний моніторинг застосовують для виявлення потенційної мутагенної дії нових лікарських препаратів, різноманітних побутових засобів, харчових добавок та інших речовин.

Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке генетичний моніторинг? 2. Коли й чому почала розвиватися система генетичного моніторингу? 3. Які завдання має генетичний моніторинг? 4. Які методи застосовує генетичний моніторинг?

Запитання та завдання

5. Чому бажано постійно проводити генетичний моніторинг популяцій людини? 6*. Запропонуйте список характеристик, яким повинна відповідати ознака для можливості її використання як генетичного маркера в генетичному моніторингу.

38 Особливості генофонду людських спільнот

Що таке геном? Що таке популяція? Які фактори називають мутагенними? Чому може змінюватися частота алелів у популяції? Навіщо здійснювати генетичний моніторинг людських популяцій?

Генофонд

Генофонд — це сукупність усіх можливих варіантів генів певного виду організмів у конкретній популяції або у виду в цілому. Генофонд популяції дозволяє їй оптимально пристосовуватися до існуючих умов існування.

Якщо ген представлений у певній популяції тільки одним алелем, то популяція стосовно цього гена є **мономорфною**. А якщо алелів гена в популяції більше одного, то вона є **поліморфною**.

Генофонд з *високим рівнем поліморфізму* набагато краще забезпечує здатність популяції до виживання в умовах змін навколишнього середовища. Це відбувається завдяки тому, що відбір у популяції працює з великою кількістю можливих сполучень алелів, що підвищує шанси на швидке утворення комбінації, придатної для виживання у змінених умовах. А види з *низьким рівнем поліморфізму* потенційно є більш уразливими, бо їм важче пристосовуватися до умов, що змінюються.

Генофонд людини розумної (*Homo sapiens*), наприклад, формувався під впливом різних факторів. Місцем формування цього виду була Африка, природні умови якої суттєво вплинули на генофонд. Кілька разів виду в цілому або його окремим популяціям доводилося проходити крізь «пляшкове гирло» (різке скорочення чисельності під впливом стороннього фактору), що зменшувало поліморфізм генофонду. А схрещування з іншими видами (такими, наприклад, як денисівці й неандертальці), навпаки, поліморфізм генофонду збільшували.

Фактори, що впливають на генофонд

Як і в усіх інших живих організмів, популяції людини мають свої генофонди, які в сукупності утворюють генофонд нашого виду. Між собою генофонди людських спільнот можуть досить суттєво відрізнятися один від одного. На появу таких відмінностей впливає цілий ряд факторів.

Фактори, які впливають на генофонд популяцій людини

Фактор	Особливості дії фактору
Інтенсивність утворення нових мутацій	У певних районах можлива більш сильна дія мутагенних факторів, що збільшує кількість мутацій у популяції та сприяє появі нових варіантів. Саме підвищений рівень мутацій у Великій рифтовій долині в Африці міг стати причиною формування 1,5–2 млн років тому в цій місцевості роду Людина
Тиск природного добору	Дія біотичних або абіотичних факторів може змінювати частоти певних алелів як окремих генів, так і цілих генних комплексів. Так, саме вплив абіотичного фактору (сонячної радіації) є основною причиною більш темного або більш світлого забарвлення шкіри в різних людських популяціях. Більш темне забарвлення зменшує ризик розвитку раку шкіри під дією сильного ультрафіолетового опромінення. А світле забарвлення в умовах низького сонячного опромінювання полегшує синтез у шкірі вітаміну D і зменшує ризик розвитку рахіту
Взаємодія зі збудниками захворювань	Збудники захворювань часто впливають на частоти алелів генів, які відповідають за певні біохімічні або імунологічні ознаки. Наприклад, після епідемії чуми в Європі в XIV столітті в європейській популяції збільшилася частка людей з I (0) та II (A) групами крові, які виявилися дещо стійкішими до цього збудника
Міграції	Міграції з інших регіонів можуть привносити до популяції нові алелі. Прикладом цього є потрапляння до генофонду корінних американців одного з варіантів мітохондріальної ДНК, який виник на території Європи. Після його виникнення в Європі частина людей з таким варіантом ДНК (гаплотипом) мігрувала на схід Євразії і потрапила до популяції, яка стала предковою для жителів Америки
Ефект засновника	Через те що нові популяції засновує зазвичай відносно невелика група людей, це може бути причиною суттєвих змін частот деяких алелів або взагалі їх зникнення. Так, у групу, яка стала предковою для корінних американців, не потрапили люди з алелем B групи крові AB0. Тому до прибуття європейців у жителів Америки були тільки дві групи крові — I (0) і II (A)
Дрейф генів	Зміна частот алелів у результаті дрейфу генів відбувається під дією випадкового фактору, який знищує частину популяції без урахування пристосувальної цінності алелів, що може суттєво змінювати частоти їх окремих варіантів. Таким фактором було виверження супервулкану Тоба в Індонезії 75 тисяч років тому. Наслідком виверження стала загибель значної частини людей на території Азії та Африки, що суттєво змінило генофонди тих груп, яким удалося вижити в цій ситуації

Фактор	Особливості дії фактору
Статевий добір	Статевий добір може суттєво впливати на цілу низку генів. У першу чергу на ті, які пов'язані із зовнішнім виглядом і особливостями поведінки людини. Саме дією статевого добору пояснюють активне поширення особин з білявим волоссям на території Європи та значний розвиток борід на обличчі айнів (Японія) (мал. 38.1)

Мал. 38.1. Приклад дії статевого добору

Особливості формування генофондів

Дія комплексу наведених вище факторів створює для кожної людської популяції свою неповторну історію розвитку, що позначається на її генофонді. Слід відмітити, що для різних популяцій значення різних факторів було неоднаковим. Крім того, велике значення для генофонду конкретної популяції мали її контакти з іншими популяціями і географічні умови місця проживання.

Запозичення певних алелів з геному неандертальців представниками людини розумної принесли неафриканським популяціям нашого виду суттєву користь. Як показав докладний аналіз, популяції людини розумної отримали від неандертальців, зокрема, алелі трьох генів головного комплексу гістосумісності. Саме ці варіанти алелів забезпечують стійкість особини до низки вірусних інфекцій.

Мал. 38.2. Жителі Тибету

Мал. 38.3. Австралійські аборигени

Так, популяції людини, які заселяли східну Азію, свого часу зіткнулися з популяціями іншого виду — людини денисівської. Їхні контакти збагатили генофонд популяцій Азії, Австралії та Океанії новими алелями. Саме денисівські алелі дозволяють популяції, яка заселила Тибет (мал. 38.2), комфортно відчувати себе в умовах високогір'я. Цей приклад не є єдиним. Так, після виходу предків сучасної людини з Африки відбулося їх схрещування з неандертальцями. І невелика частина неандертальських алелів зараз присутня в геномах усіх неафриканських популяцій.

Мал. 38.4. Жителі Нової Гвінеї

Різні географічні умови по-різному впливають на популяції. Так, Австралія є рівнинним материком, на якому відсутні суттєві бар'єри для пересування людини. Тому генофонди австралійських аборигенів різних регіонів різняться не дуже сильно (мал. 38.3). А от Нова Гвінея — гористий острів. Навіть ті групи, які живуть на невеликій відстані одна від одної, можуть не контактувати одна з одною через наявність між їхніми місцями поселення непрохідних місцин. Тому генофонд цієї популяції більш різноманітний і диференційований (мал. 38.4).

Нещодавно розроблений метод пошуку сторонніх фрагментів ДНК (цей метод не використовує ДНК з викопних решток) підтвердив факти схрещування предків сучасної людини з неандертальцями і денисівською людиною. Він також дозволив з'ясувати, що наші предки схрещувалися з денисівцями як мінімум двічі.

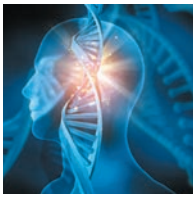
Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке генофонд? 2. Яку популяцію називають поліморфною? 3. Які фактори впливають на генофонд популяції? 4. Як може вплинути на генофонд ефект засновника? 5*. Яким чином формується генофонд популяції?

Запитання та завдання

6. Як може вплинути на генофонд популяції її тривала ізоляція від інших популяцій людини? 7*. Використовуючи додаткові джерела інформації, дізнайтеся, які фактори найбільш сильно вплинули на генофонд населення України.

39 Медична генетика



Які науки вивчають людину? Який каріотип має людина? Які методи можна використати для вивчення спадковості людини? Що таке мутації? Які бувають мутації?

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 й факторів середовища. Питаннями вивчення спадкових захворювань займається окремий розділ генетики людини — **медична генетика**, яку часто розглядають як окрему галузь медицини.

Надзвичайно важливою метою медичної генетики є дослідження механізмів виникнення спадкових захворювань. Це важка праця, але в деяких випадках генетики вже досягли значних успіхів.

Завдання і методи медичної генетики

Як і будь-яка галузь науки, медична генетика має свої завдання і методи досліджень, що їх використовує для виконання цих завдань. Основними завданнями медичної генетики є:

- діагностування спадкових захворювань;
- дослідження молекулярно-генетичних основ спадкових захворювань;
- аналіз поширення спадкових захворювань у різних популяціях;
- проведення медико-генетичного консультування;
- здійснення пренатальної (допологової) діагностики спадкових захворювань;
- виявлення факторів ризику розвитку захворювань зі спадковою схильністю.

Методи медичної генетики співпадають з методами генетики людини. Це такі методи: генеалогічний, близнюковий, цитогенетичний, популяційно-статистичний, а також увесь комплекс молекулярно-генетичних методів.

Основні напрями медичної генетики

У медичній генетиці існує три основні напрямки роботи, які пов'язані з різними аспектами роботи зі спадковими захворюваннями:

- профілактика спадкових захворювань;
- діагностика спадкових захворювань;
- лікування спадкових захворювань та їхніх наслідків.

Профілактика спадкових захворювань є найбільш розвиненим напрямком. Вона поділяється на соціальну, коли робота ведеться з усім населенням або певними соціальними групами, та індивідуальну, засновану на аналізі індивідуального генотипу чи родоводу з оцінкою персонального ризику народження дітей зі спадковими захворюваннями. Цей напрям не вимагає великих фінансових витрат, але дозволяє суттєво знизити ризики спадкових захворювань як для окремої родини, так і для популяції в цілому.

Діагностика спадкових захворювань може бути прямою або опосередкованою. **Пряма діагностика** ґрунтується на методах прямого аналізу ДНК людини, генних продуктів або каріотипу. **Опосередкована діагностика** будується на всіх інших методах, які не дають пряму інформацію щодо порушень на генному або хромосомному рівнях.

Лікування спадкових захворювань тривалий час залишалося найбільш складним для реалізації напрямком медичної генетики. Тривалий час перевага віддавалася корекції наслідків порушення роботи генів, наприклад, ліквідації морфологічного чи біохімічного дефекту, причиною якого було спадкове захворювання. Наприклад, спадкову полідактилію можна виправити хірургічно, а розвиток аномалій у разі фенілкетонурії попередити за допомогою певної дієти. Але останнім часом дедалі більш стрімкими темпами розвивається генна терапія. Головним її завданням є заміна дефектних генів на нормальні й повна ліквідація захворювання в окремої людини.

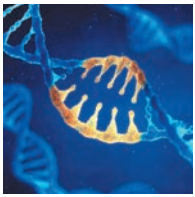
Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке медична генетика? 2. Які основні завдання медичної генетики? 3. Які методи може використовувати медична генетика?

Запитання та завдання

4. На конкретних прикладах покажіть основні напрямки роботи медичної генетики. 5*. Складіть список проблем, які слід вирішити для того, щоб замінити в організмі людини дефектний ген на нормальний.

40 Спадкові хвороби і вади людини



Що таке мутагени? Як діють мутагени? Як організм захищається від дії факторів, що можуть пошкодити ДНК? З якої кількості пар хромосом складається каріотип людини?

Спадкові та неспадкові захворювання

Як і в інших живих організмів, генетичні порушення в людини можуть відбуватися на різних рівнях організації спадкового матеріалу, що і стає причиною спадкових захворювань.

На відміну від спадкових захворювань природжені вади виникають не в результаті пошкодження ДНК. **Природжені вади** — це структурні порушення, які виникають до народження дитини і проявляються відразу або через певний час після її народження. Їх причиною є порушення процесу ембріогенезу під час внутрішньоутробного розвитку зародка. Причиною природжених вад може бути дія біологічних, хімічних або фізичних факторів.

Порушення на рівні геному і хромосом

Такі порушення у людини зазвичай є дуже тяжкими і рідко бувають сумісними з життям. Так, за умови утворення триплоїдної зиготи її розвиток розпочинається, але зародок зазвичай гине на ранніх стадіях. В окремих випадках таку вагітність удавалося зберегти до моменту пологів, але новонароджені з таким порушенням жили дуже недовго. Зміни кількості хромосом в окремих парах (трисомії та моносомії) теж відомі, але в 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. Але люди із синдромами Патау й Едвардса мають значні аномалії розвитку різних систем організму і живуть дуже недовго. Люди із синдромом Дауна живуть довше, але в них є проблеми зі здоров'ям.

Частіше трапляються порушення у числі статевих хромосом. Це пов'язано з тим, що *Y*-хромосома містить дуже мало генів, а зайві *X*-хромосоми інактивуються клітиною, перетворюючись на тільце

Барра. Тому генотипи *XYY* і *XXX* якихось особливих зовнішніх проявів не мають. Але за умови подальшого збільшення кількості статевих хромосом проблеми виникають. Спадковими захворюваннями є синдром Кляйнфельтера (генотип *XXY*) і синдром Шерешевського — Тернера (в геномі є лише одна *X*-хромосома).

Прикладом хромосомного порушення у людини є синдром Лежена, який виникає внаслідок утрати фрагмента хромосоми. Його ще називають синдромом котячого крику, бо плач багатьох дітей із цим синдромом схожий на котячий крик.

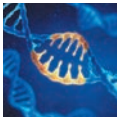
Порушення на рівні генів

За допомогою сучасних методів досліджень уже відкрито близько 5000 молекулярних захворювань, які є наслідком прояву мутантних генів.

Приклади генних захворювань людини

Захворювання	Відомості про захворювання
Фенілкетонурія	Виникає внаслідок пошкодження гена, розташованого на хромосомі 12. Призводить до неможливості переробки амінокислоти фенілаланіну. За відсутності лікування призводить до ураження нервової системи
Гемофілія	Виникає внаслідок пошкодження одного з генів, що відповідають за процес зсідання крові. Ці гени розташовані на *X*-хромосомі. Призводить до порушення процесів зсідання крові
Серповидноклітинна анемія	Виникає в результаті заміни нуклеотиду А на Т в гені, який розташований на хромосомі 11. Наслідком мутації є заміна в молекулі β-ланцюга гемоглобіну амінокислоти глутаміну на валін. Така молекула має відмінну форму і стає причиною зміни форми еритроцита, що зменшує площу його поверхні й погіршує здатність поглинати кисень

Отже, тепер ви знаєте



1. Що таке природжені вади? 2. Які причини можуть викликати природжені вади? 3*. Чому збільшення кількості *X*-хромосом у людини є менш небезпечним, ніж збільшення кількості будь-якої з аутосом?

Запитання та завдання

4. Відомі випадки народження дитини лише з однією статевою хромосомою, але завжди це хромосома *X*. Чому не народжуються діти з єдиною статевою *Y*-хромосомою? 5*. Запропонуйте й обґрунтуйте гіпотезу, яка пояснює чому народжуються діти з трисомією саме по 13-й, 18-й і 21-й хромосомах, а з трисомією по інших хромосомах гинуть іще на ембріональній стадії розвитку.

41 Захворювання людини зі спадковою схильністю, їхні причини

Що таке захворювання? Які причини розвитку спадкових захворювань? Які захворювання мають інфекційну природу? Які існують спадкові захворювання людини?

Причини виникнення захворювань зі спадковою схильністю

Захворювання людини можна поділити на три великі групи. Перша — захворювання, поява яких повністю залежить від спадкових порушень (синдром Дауна, синдром Шерешевского-Тернера тощо). Друга — захворювання, поява яких повністю зумовлена факторами зовнішнього середовища (опіки, переломи тощо). Третю групу утворюють захворювання, розвиток яких зумовлений взаємодією спадкових факторів і факторів середовища. Такі захворювання називають **захворюваннями зі спадковою схильністю**, або мультифакторіальними захворюваннями.

За своєю генетичною складовою ці захворювання є полігенними і виникають як результат дії багатьох генів. Слід відмітити, що для різних захворювань цієї групи ступінь спадкової зумовленості різний. У розвитку деяких із них спадковість і умови середовища відіграють приблизно однакову роль, а розвиток інших може бути зумовлений переважно спадковими або переважно зовнішніми факторами.

Основною причиною виникнення таких захворювань є формування відносно вразливого генотипу, завдяки якому в певних умовах різко підвищується ймовірність розвитку захворювання.

Захворювання зі спадковою схильністю

Існує багато захворювань зі спадковою схильністю, і їхня природа може бути різною:

- уроджені вади розвитку (гідроцефалія, косолапість тощо);
- психічні та нервові захворювання (шизофренія, епілепсія тощо);
- захворювання серцево-судинної системи;
- діабет;
- виразка шлунка та дванадцятипалої кишки;
- хвороба Альцгеймера;
- інші соматичні захворювання.

Способи вивчення захворювань зі спадковою схильністю

Для вивчення захворювань зі спадковою схильністю найчастіше використовують два методи — генеалогічний і близнюковий. Генеалогічний метод зазвичай застосовують тільки для попередньої оцінки успадкування, бо достатньо надійні результати з його допомогою можна отримати тільки для моногенних ознак. Під час застосування генеалогічного методу частіше за все для аналізу беруть велику кількість родин, де були виявлені люди, які страждають на відповідне захворювання. Це зумовлено тим, що знайти один родовід з великою кількістю поколінь та ще й з даними щодо певного захворювання досить складно.

Використання близнюкового методу є значно більш ефективним. Порівняння значної кількості пар монозиготних і дизиготних близнюків дозволяє досить точно визначати величину спадкової складової в розвитку певного захворювання.

Для розрахунку внеску спадковості у розвиток захворювання використовують формулу:

$$C = (M(\%) - D(\%))/(100 - D(\%)),$$

де $M(\%)$ — співпадіння (конкордантність) для монозиготних близнюків, а $D(\%)$ — співпадіння (конкордантність) для дизиготних близнюків.

Визначення внеску спадковості у розвиток деяких захворювань

Захворювання	Наявність захворювання в обох монозиготних близнюків (%)	Наявність захворювання в обох дизиготних близнюків (%)
Гіпертонія	26,2	10,0
Інфаркт міокарда	19,6	15,5
Інсульт	22,4	10,8
Ревматизм	26,0	10,5

Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке захворювання зі спадковою схильністю? 2. Як вони виникають? 3. Які захворювання людини мають спадкову схильність до виникнення?

Запитання та завдання

4. На конкретному прикладі поясніть, як можна дослідити захворювання зі спадковою схильністю. 5*. Складіть список рекомендацій для профілактики захворювань зі спадковою схильністю. 6*. Розрахуйте внесок спадковості для розвитку захворювань, наведених у таблиці у параграфі.

42 Медико-генетичне консультування. Діагностика та профілактика спадкових захворювань

Які типи успадкування ознак є в людини? Що таке спадкове захворювання? Які спадкові захворювання трапляються в людини? Як можна розрахувати внесок спадковості у розвиток певного захворювання?

Медико-генетичне консультування

Сьогодні відомо багато захворювань, механізми виникнення яких пов'язані зі спадковими порушеннями. Головним висновком за результатами вивчення таких захворювань є те, що спадкові захворювання людини набагато простіше попередити, ніж вилікувати. Тому для їх попередження створено систему медико-генетичного консультування.

Медико-генетичне консультування — це один з видів медичної допомоги населенню, який дозволяє попередити народження дітей зі спадковою патологією.

За допомогою медико-генетичного консультування можна здійснювати:

- діагностування спадкового захворювання та визначення типу його успадкування;
- розрахунок ризику (або повторного ризику у випадку вже виявленого спадкового захворювання у старшої дитини) народження хворої дитини;
- визначення можливих способів профілактики певного захворювання.

Медико-генетичне консультування в Україні здійснюють медико-генетичні кабінети, медико-генетичні центри і відповідні фахівці медичних інститутів, науково-дослідних інститутів та інститутів удосконалення лікарів.

Діагностика спадкових захворювань

Діагностику спадкових захворювань здійснюють за допомогою різноманітних методів. До таких методів належать:

- візуальне обстеження (візуальне виявлення характерних симптомів);

• ультразвукове дослідження (дослідження плоду за допомогою ультразвуку);

• цитогенетичний аналіз (аналіз хромосомного набору);

• біохімічний аналіз (визначення наявності й умісту певних сполук, які є маркерами захворювання);

• молекулярно-генетичне дослідження (виявлення аномалій за допомогою ДНК-зондів);

• імунологічне дослідження (аналіз імунологічних реакцій).

Профілактика спадкових захворювань

Профілактика спадкових захворювань є дуже важливою, оскільки витрати на неї незрівнянно менші, ніж витрати на лікування новонароджених зі спадковими вадами. Крім того, попередження народження дітей з такими захворюваннями дозволяє уникнути тяжких моральних переживань у батьків та родичів.

Ефективними заходами профілактики спадкових захворювань є:

• надання батькам елементарних знань про причини спадкових захворювань та можливість їх попередження;

• аналіз родоводу батьків і розрахунок ризику народження дитини зі спадковим захворюванням;

• пропагування здорового способу життя;

• утримання від надмірного вживання алкоголю, відмова від куріння та вживання наркотичних речовин;

• дотримання правил безпеки під час роботи з речовинами або приладами, які потенційно можуть мати мутагенний ефект.

Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке медико-генетичне консультування? 2. Хто може здійснити медико-генетичне консультування? 3. Які методи використовують у процесі визначення ризику появи спадкового захворювання? 4*. Як можна зменшити ризик народження дитини зі спадковим захворюванням?

Запитання та завдання

6. Чому медико-генетичне консультування має важливе значення для попередження поширення шкідливих мутацій у людини? 7*. Таке захворювання, як серповидноклітинна анемія, в гетерозиготному стані діагностувати складно, оскільки тільки частина молекул гемоглобіну в крові має аномальну форму і не може нормально переносити кисень. Які методи можна застосувати, щоб діагностувати це захворювання в людини, яка є носієм цього спадкового захворювання?

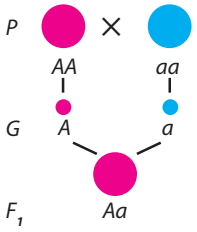
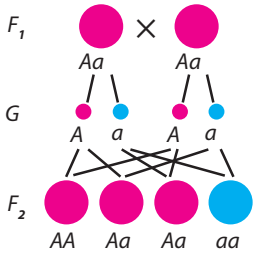
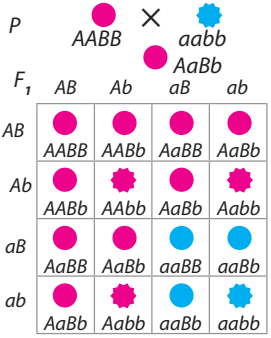
Класичні методи генетичних досліджень

- Генеалогічний
- Популяційно-статистичний
- Гібридологічний
- Цитогенетичний
- Біохімічний
- Близнюковий

Поширені молекулярно-генетичні методи дослідження

Секвенування ДНК	Встановлює послідовність нуклеотидних основ на певній ділянці ДНК
Полімеразна ланцюгова реакція	Збільшує кількість потрібних молекул ДНК до рівня, достатнього для проведення досліджень
Метод генетичних маркерів	Дозволяє ідентифікувати особини, визначати структуру популяцій тощо
ДНК-мікрочіп	Визначає, які саме з генів є активними в досліджуваних клітинах

Закони спадковості

Закон однотипності гібридів першого покоління	Закон розщеплення спадкових ознак у нащадків гібрида	Закон незалежного комбінування спадкових ознак
		

Форми мінливості

Неспадкова (зміни не передаються нащадкам)	Спадкова (зміни передаються нащадкам)	Онтогенетична (відбувається протягом життя особини)

Комбінативна (не змінюється структура ДНК або структура каріотипу)	Мутаційна (змінюється структура ДНК або структура каріотипу)

Мутагенні фактори

Фізичні	Хімічні	Біологічні
Рентгенівське та ультрафіолетове випромінення, ультразвук тощо	Формальдегід, діоксин, сполуки Плюмбуму, алкоголь, наркотичні речовини тощо	Віруси, токсини, які виробляють живі організми, мобільні генетичні елементи тощо

Типи успадкування моногенних ознак людини

- Аутосомно-домінантне
- Аутосомно-рецесивне
- Голандричне
- Зчеплене зі статтю, домінантне
- Зчеплене зі статтю, рецесивне
- Залежне від статі, аутосомне

Спадкові захворювання людини

Причини виникнення	Приклади захворювань
Зміна числа хромосом у геномі	Синдроми Патау, Едвардса, Дауна, Кляйнфельтера, Шерешевського — Тернера
Порушення структури окремої хромосоми	Синдром Лежена
Порушення структури окремого гена	Муковісцидоз, фенілкетонурія, гемофілія, серповидноклітинна анемія

Завдання до теми

Завдання для індивідуальної роботи

1. Обґрунтуйте твердження про те, що генотип людини є цілісною інтегрованою системою.

2. Поясніть молекулярні механізми мінливості у людини.

3. Дайте характеристику типам успадкування ознак у людини (повне та неповне домінування, кодомінування, аутосомно-рецесивне та аутосомно-домінантне, зчеплене, зчеплене зі статтю).

4. Порівняйте моногенне та полігенне успадкування ознак у людини.

Завдання для роботи у групах

5. Проаналізуйте позитивні та негативні аспекти профілактики та терапії спадкових захворювань людини, результати представте у вигляді презентації.

Теми навчальних проектів

Генетичний моніторинг у людських спільнотах.

Скринінг-програми для новонароджених.

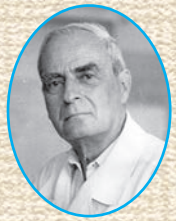
Генотерапія та її перспективи.

Перевірте свої знання з теми «Спадковість і мінливість».

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. Алексеєва 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.



Гершензон Сергій Михайлович (1906–1998)

Відомий учений, доктор біологічних наук, професор, академік НАН України. Працював у галузі генетики.

Досліджував хімічний мутагенез, мобільні генетичні елементи, зворотню транскрипцію. 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.

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 вчений здійснив відкриття в галузі фагоцитозу, за що 1908 року одержав Нобелівську премію.

Ремесло Василь Миколайович (1907–1983)

Видатний український учений-селекціонер. Працював у галузі селекції пшениці.

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.

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 Симиренка». 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.
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).

Юр'єв Василь Якович (1879–1962)

Видатний український учений-селекціонер. Автор майже 100 наукових публікацій. Займався питаннями методики й організації селекції, сортовипробування і насліництва сільськогосподарських культур. Вивів багато сортів озимої і ярої пшениці, проса, кукурудзи та інших культур.

Установи

Селекційно-генетичний інститут — Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення

Засновано у м. Одесі 1912 р. Основні напрями діяльності: дослідження актуальних питань селекції та насінництва сільськогосподарських культур, виведення нових сортів і гибридів пшениці, ячменю, соняшника, рапсу, сої, нуту, гороху, сорго та інших культур.

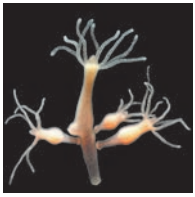
Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН

Засновано у м. Харкові 1908 р. Основні напрямки діяльності: дослідження актуальних питань селекції та насінництва сільськогосподарських культур, виведення нових сортів і гібридів соняшника, пшениці, ячменю, гороху та інших культур. На базі інституту створено Національний центр генетичних ресурсів рослин України. В інституті працює 15 докторів та 60 кандидатів наук.

Тема 4

Репродукція та розвиток організмів

43 Репродукція як механізм забезпечення безперервності існування видів



Які основні властивості є характерними для живих організмів? Які існують способи розмноження живих організмів? Як розмножуються ссавці? Які особливості розмноження є характерними для квіткових рослин?

Репродукція живих організмів

Репродукція — це здатність живих організмів до самовідтворення, утворення ними нащадків, які є засобом збереження видів і які забезпечують безперервність їхнього існування. Здатність до самовідтворення — це одна з ключових ознак живого, яка відрізняє живі організми від неживих систем.

Репродукція живих організмів відбувається у формі розмноження у різний спосіб. Слід відзначити, що здатність до репродукції мають не тільки клітинні організми, але й такі неклітинні форми життя, як віруси.

Форми розмноження живих організмів

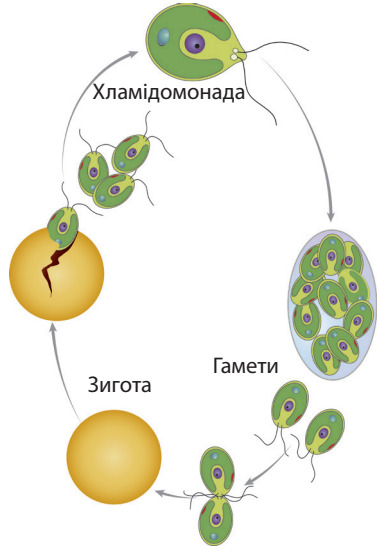
Основних форм розмноження живих організмів існує кілька. В першу чергу розрізняють статеве (під час якого утворюються статеві клітини) і нестатеве (під час якого статеві клітини не утворюються) розмноження.

Як окрему форму розмноження можуть розглядати вегетативне розмноження, виокремлюючи його з нестатевого. У такому випадку нестатевим вважають розмноження, під час якого утворюються спеціалізовані клітини, які не є гаметами (наприклад, зооспори водоростей або конідієспори грибів). А вегетативним вважають розмноження, під час якого утворюються багатоклітинні структури (бруньки у гідри, бульби картоплі тощо).

Нестатеве розмноження

Нестатеве розмноження — утворення нового організму з однієї або групи клітин вихідного материнського організму, в ході якого не утворюються статеві клітини і не відбувається статевий процес. У цьому випадку в розмноженні бере участь тільки одна батьківська особина, що передає свою спадкову інформацію дочірнім організмам.

Цей спосіб розмноження поширений в усіх груп живих організмів і є вихідним способом розмноження для клітинних форм. Суттєвою перевагою нестатевого розмноження є те, що в цьому варіанті продукувати нових нащадків можуть усі особини, тоді як у випадку статевого розмноження до цього здатні тільки самки.



Мал. 43.1. Статеве розмноження одноклітинного організму

Статеве розмноження

Статеве розмноження — тип розмноження, за якого утворюються спеціалізовані статеві клітини і відбувається статевий процес. Статеве розмноження спостерігається у представників більшості систематичних груп рослинного і тваринного світу (мал. 43.1).

За умови статевого розмноження утворення нового організму зазвичай відбувається за участі двох батьківських організмів, але у випадку гермафродитизму статевим шляхом може розмножуватися й одна особина. Під час статевого розмноження відбувається злиття статевих клітин — гамет чоловічого і жіночого організму. Таким чином, новий організм несе спадкову інформацію обох батьків.

Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке репродукція?
2. Навіщо репродукція потрібна живим організмам?
3. Чи здатні до репродукції віруси?

Запитання та завдання

4. Складіть список із 5–6 видів живих організмів вашої місцевості, які здатні до нестатевого розмноження. 5*. На конкретних прикладах поясніть, які переваги й недоліки у порівнянні з іншими способами розмноження має статеве розмноження?

44 Особливості процесів регенерації організму людини

Які організми здатні відновлювати втрачені частини тіла? Який процес покладено в основу вегетативного розмноження у тварин і рослин? Які тварини здатні відновлювати втрачені частини тіла?

Регенерація та її різновиди

Регенерація — це здатність живих організмів відновлювати свої пошкоджені або втрачені структури. Вона є однією з фундаментальних властивостей живих організмів, хоча й проявляється у різних організмів у різній мірі. Якщо одні організми можуть самовідновитися навіть після дуже сильних пошкоджень (гідри, планарії тощо), то інші здатні до регенерації у незначній мірі (нематоди).

Регенераційні властивості організму людини не є найвидатнішими, але він усе ж таки здатний до відновлення своїх пошкоджень. На рівень регенераційних властивостей впливає те, що людина є високорозвиненим видом зі складною поведінкою. А в процесі еволюції регенераційні властивості таких видів зменшувалися. Це було пов'язано з тим, що добре розвинена нервова система значно знижувала ризик отримання пошкоджень, для ліквідації яких і була потрібна регенерація.

Розрізняють дві форми регенерації — внутрішньоклітинна та клітинна. **Внутрішньоклітинна** відбувається всередині клітин за рахунок молекулярних механізмів і відновлює потрібні клітині органели та молекулярні структури. **Клітинна** регенерація відбувається на рівні організму за рахунок поділу клітин, що дозволяє повністю або частково відновлювати тканини й органи.

Залежно від завдань, які вирішує в організмі людини процес регенерації, розрізняють фізіологічну й репаративну регенерацію.

Фізіологічна регенерація

Фізіологічна регенерація призначена для відновлення структур організму, які зазнають пошкоджень у ході нормальних фізіологічних процесів. Цей тип регенерації відбувається протягом усього життя людини (мал. 44.1). Наприклад, за рахунок фізіологічної регенерації

відбувається постійна зміна епітелію кишкового тракту та покривного епітелію; цей самий процес є основою оновлення еритроцитів крові, час існування яких досить обмежений через відсутність ядра в клітині, тощо.

Але існують тканини, у яких оновлення шляхом клітинного поділу є неможливим. Наприклад, вузькоспеціалізовані клітини, такі, як нейрони. У цих випадках регенерація відбувається шляхом поступової заміни органел (є внутрішньоклітинною).

Мал. 44.1. Періодичність оновлення структур організму людини за рахунок фізіологічної регенерації

Репаративна регенерація

Репаративна регенерація розпочинається у випадку пошкодження або загибелі структур організму, які не є наслідком нормальних фізіологічних процесів. Такі пошкодження виникають у результаті захворювань або травм. У цьому випадку звичайна фізіологічна регенерація суттєво підсилюється і стає репаративною.

Репаративна регенерація може бути повною і неповною. У випадку повної регенерації пошкоджена тканина повністю замінюється новою і пошкодження зникає безслідно. У випадку неповної регенерації відновлення функцій відбувається за рахунок навколишніх тканин, а саме місце пошкодження заповнюється сполучною тканиною, яка формує рубець.

Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке регенерація?
2. Які існують форми регенерації?
3. Які бувають види регенерації?

Запитання та завдання

4. На конкретному прикладі поясніть, як відбувається неповна репаративна регенерація. 5*. Чому татуювання нанести відносно легко, а видалити надзвичайно важко?

45 Трансплантація тканин та органів у людини. Правила біологічної етики

Що таке імунітет? Як імунна система організму розпізнає сторонні біологічні об'єкти? Що таке антиген? Що таке антитіло? Що слід ураховувати під час переливання крові?

Трансплантація тканин та органів

Трансплантація — це пересадка реципієнту органа або тканини, які були взяті з організму донора. Пересаджувані органи й тканини називають *трансплантатами*. Трансплантація виконується хірургічними методами.

Сучасна медицина може успішно здійснювати трансплантацію багатьох органів і тканин людини: серця, нирки, кісткового мозку, легень, печінки, волосся, шкіри тощо.

У випадку, коли в організм реципієнту поміщають не живі органи і тканини, а їхні механічні або електронні аналоги, такі штучні аналоги називають *імплантами*, а сам процес **імплантацією**.

Основною проблемою трансплантації є подолання імунного бар'єру. Будь-які чужі органи й тканини імунна система організму розпізнає і починає атакувати, намагаючись знищити чужорідні клітини. Це стає причиною загибелі й відторгнення трансплантатів. Для попередження цього процесу лікарям доводиться пригнічувати в пацієнта роботу імунної системи за допомогою спеціальних препаратів.

Види трансплантації

Залежно від походження трансплантата виділяють кілька видів трансплантації.

Види трансплантації

Вид трансплантації	Особливості виду трансплантації
Клітинна інженерія та клонування	Ця технологія передбачає вилучення потрібних клітин з організму самого пацієнта і вирощування з них потрібних органів та тканин методами клітинної інженерії
Ізотрансплантація	Донором стає людина, повністю ідентична за геномом до реципієнта. Це можливо, коли донор і реципієнт є монозиготними близнюками

Вид трансплантації	Особливості виду трансплантації
Аутотрансплантація	Реципієнт є донором для самого себе. Цей метод широко використовують у випадках пересадки шкіри (особливо у випадку опіків, коли шкіру з непошкоджених ділянок пересаджують на пошкоджені) та кісткового мозку
Аллотрансплантація	У ролі донора виступає людина з генотипом, відмінним від генотипу реципієнта. Цей варіант застосовується найчастіше, бо його найлегше реалізувати практично. Для подолання проблем з імунною системою підбирають трансплантати, найбільш схожі за набором антигенів на органи донора
Ксенотрансплантація	Донором є не людина, а тварина. Крім проблем із відторгненням трансплантата, ця технологія вимагає урахування моральних та соціальних аспектів, бо використання таких трансплантатів може суперечити моральним чи релігійним переконанням реципієнта

Принципи біологічної етики

Трансплантація тканин і органів робить актуальною проблему біоетики — моральних аспектів застосування цих технологій. Основні принципи біоетики, яких бажано дотримуватися для недопущення етичних проблем, запропонували американські вчені Т. Л. Бічамп і Дж. Ф. Чілдрес. Такими принципами є:

• принцип автономії (індивід має право розпоряджатися своїм здоров'ям);

• принцип «не зашкодь» (вимагає мінімалізації шкоди за медичного втручання);

• принцип блага (лікар зобов'язаний здійснювати дії, спрямовані на покращення стану пацієнта);

• принцип справедливості (вимагає рівного ставлення до всіх пацієнтів і рівного доступу до ресурсів для медичної допомоги).

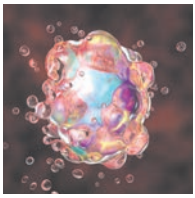
Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке трансплантація?
2. Які існують види трансплантації?
3. Які є основні принципи біоетики?

Запитання та завдання

4. Які переваги та недоліки має технологія трансплантації на основі клітинної інженерії та клонування? 5*. В яких випадках раціонально використовувати ксенотрансплантацію, враховуючи дуже сильну реакцію імунної системи на антигени інших організмів?

46 Ріст і розвиток. Старіння і смерть клітин



Які основні властивості є характерними для живих організмів? Якою може бути тривалість життя живих організмів? Які стадії розвитку можуть бути в життєвому циклі комах?

Ріст клітин

Ріст клітин живих організмів може відбуватися з різною швидкістю. Ця швидкість залежить від особливостей будови самої клітини (клітини прокаріотів діляться швидше) та умов зовнішнього середовища.

Межі росту клітин також можуть бути різними. У більшості випадків клітини ростуть тільки до певного розміру, і цей розмір є невеликим. Але в деяких випадках ріст клітини може бути практично необмеженим. Такий ріст часто спостерігається у грибів, які здатні утворювати гігантські багатоядерні міцелії.

Розвиток клітин

Поділ еукаріотичних клітин (у тому числі клітин людини) в більшості випадків здійснюється шляхом мітозу. Після поділу частка утворених клітин може бути різною. На ранніх стадіях ембріогенезу людини клітини після поділу знову діляться. Пізніше починається диференціація клітин і здатність до поділу зберігають лише деякі з них. Такі клітини, що зберігають здатність до поділу і залишаються недиференційованими, називають **стовбуровим клітинами**.

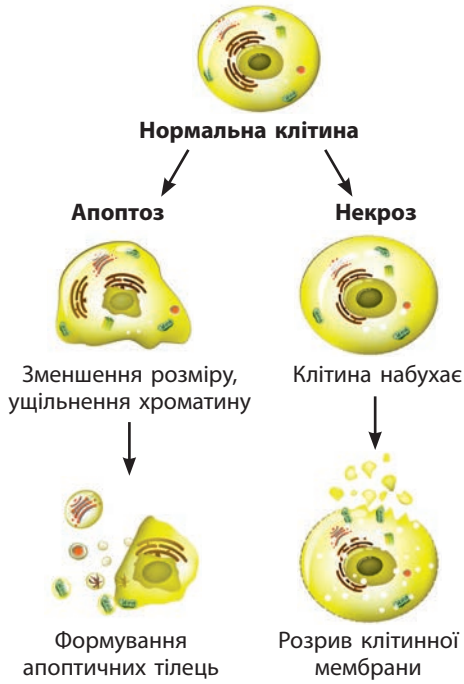
Диференціація клітин — це процес утворення спеціалізованих клітин, які отримують певні риси будови, що дають їм можливість виконувати потрібні функції з високою ефективністю. Досягається диференціація клітин за рахунок регуляції роботи генів. Геном клітини в цілому залишається незмінним, але активно працює у ньому лише певний комплекс генів. Диференціація клітин в організмі людини є необоротним процесом.

Старіння та смерть клітин

З часом клітини в організмі гинуть. Ця загибель може бути викликана як зовнішніми (висока чи низька температура, механічні пошкодження тощо), так і внутрішніми (старіння) причинами. Ста-

ріння клітин є важливим способом стабілізації кількості клітин в організмі. Регулюється воно складними молекулярно-генетичними механізмами. Тривалість життя окремих клітин в організмі людини є дуже різною. Так, клітини епітелію травного тракту живуть кілька діб, еритроцити — три місяці, а нейрони головного мозку — десятки років.

У багатоклітинних живих організмів (у тому числі й людини) вирізняють два основні способи загибелі клітин — апоптоз і некроз (мал. 46.1).

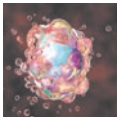


Мал. 46.1. Схема подій під час процесів апоптозу і некрозу клітин в організмі людини

Апоптоз — це запрограмована загибель клітин. Він ініціюється спеціальними молекулярними сигналами й відбувається за певним алгоритмом подій у клітині. У випадку апоптозу клітинна мембрана не руйнується. Після надходження сигналу до ядра клітини вона починає синтезувати білки, потрібні для руйнування її власних структур. У результаті апоптозу з клітин утворюються так звані апоптозні тільця, які поглинаються макрофагами або сусідніми клітинами.

Некроз — це випадкова або патологічна загибель клітин. Він може відбуватися під дією фізичних, хімічних або біологічних факторів і є менш упорядкованим, ніж апоптоз. Під час некрозу клітинна мембрана руйнується й уміст клітини потрапляє в зовнішнє середовище. Це часто стає причиною розвитку запалення.

Отже, тепер ви знаєте

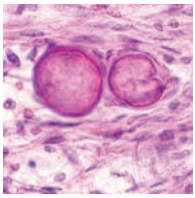


1. Якими можуть бути межі росту клітини?
2. Що таке диференціація клітин?
3. Які існують способи загибелі клітин в організмі людини?

Запитання та завдання

4. Яке значення для організму має старіння клітин? 5*. На конкретних прикладах поясніть різницю процесів апоптозу і некрозу.

47 Порушення клітинного циклу та їх наслідки

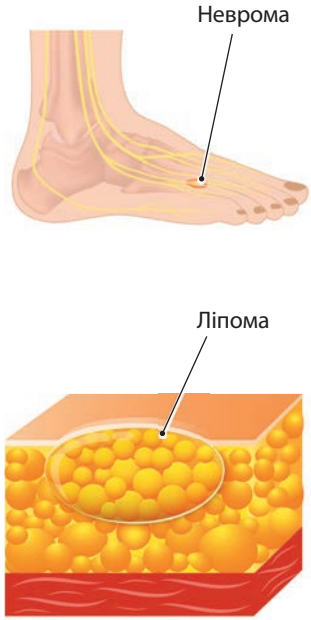


Що таке клітинний цикл? Які стадії виокремлюють у клітинному циклі? Що таке мітоз? Як регулюються ріст та диференціація клітин в організмі людини? Яким чином можуть регулюватися процеси обміну речовин у клітині?

Проблеми порушення клітинного циклу

Клітинний цикл у клітин організму людини є стандартним для ссавців. У більшості випадків він відбувається без відхилення. А тривалість інтерфази може бути різною й залежить від рівня спеціалізації клітини. Чим більш спеціалізована клітина, тим більша тривалість інтерфази її клітинного циклу.

Але в деяких випадках клітинний цикл може порушуватися. Це може бути причиною нестандартних варіантів поділу клітини (наприклад, амітозу чи ендомітозу). Але найбільшою загрозою для організму людини є ситуація, коли клітина втрачає контроль над своїми поділами і починає інтенсивно ділитися. Такі порушення стають причиною виникнення пухлин різної природи. Такі пухлини поділяють на дві великі групи — доброякісні та злоякісні.



Мал. 47.1. Доброякісні пухлини — ліпома та неврома

Доброякісні пухлини

Доброякісні пухлини — це новоутворення в організмі, що зумовлені неконтрольованим, але обмеженим розмноженням клітин, які не поширюються в сусідні тканини (не здатні до інвазії) та віддалені органи (не утворюють метастази).

За структурою доброякісні пухлини схожі на тканини, з яких вони виникли (мал. 47.1).

Ступінь їхньої диференціації суттєво вищій, ніж у клітин злоякісних пухлин. Доброякісні пухлини зазвичай ростуть повільно й обмежені сполучнотканинною капсулою. Вони не викликають болю, але можуть порушувати роботу органів, а в деяких випадках здатні перетворюватися на злоякісні пухлини.

Різноманітність доброякісних пухлин є високою. Їх класифікують за типом тканини, з якої вони утворилися.

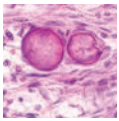
Поширені типи доброякісних пухлин

Назва пухлини	Тканина, з клітин якої утворюється
Аденома	Залозистий епітелій
Епітеліома	Епітеліальна
Фіброма	Сполучна
Неврома	Нервова тканина
Остеома	Кісткова
Хондрома	Хрящова
Ліпома	Жирова
Лімфома	Лімфатична
Міома	М'язова

Найбільш поширеними доброякісними пухлинами є міома матки (розвивається з м'язів матки), папіломи (розвиваються на поверхні шкіри або слизових оболонках), аденоми (розвиваються із залозистого епітелію різних залоз).

Для лікування доброякісних пухлин часто застосовують хірургічне втручання. У сучасній медицині популярною технологією лікування деяких типів таких пухлин стає кріокоагуляція, коли клітини пухлин руйнують за допомогою низьких температур.

Отже, тепер ви знаєте

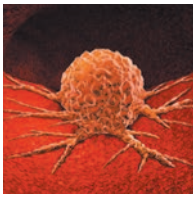


1. До яких наслідків може призводити порушення клітинного циклу? 2. Що таке доброякісна пухлина? 3. Які бувають доброякісні пухлини?

Запитання та завдання

4. Які методи використовують для лікування доброякісних пухлин? 5*. Чи можуть особливості будови та життєдіяльності тканини вплинути на ризик розвитку пухлини? Чому?

48 Онкогенні фактори та онкологічні захворювання



Що таке здоров'я? Що таке захворювання? До яких наслідків може призводити порушення клітинного циклу? Що таке доброякісна пухлина? Які фактори можуть бути причинами мутацій?

Онкогенні фактори

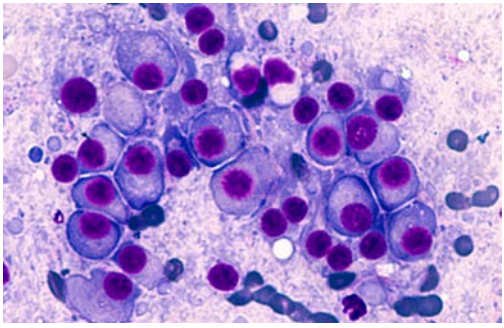
Онкогенні фактори — це фізичні, хімічні або біологічні фактори, дія яких стає причиною утворення в організмі доброякісних або злоякісних пухлин. Онкогенні фактори відрізняються високим різноманіттям.

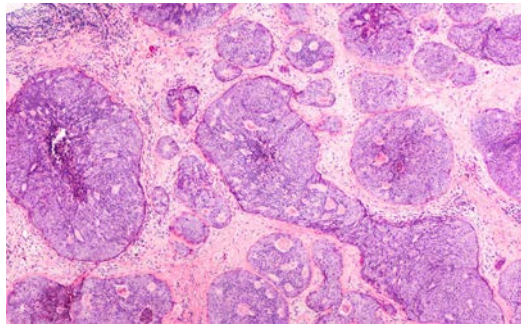
Онкогенні фактори

Група факторів	Фактори	Наслідки дії факторів
Фізичні	Іонізуюче та ультрафіолетове випромінення	Ультрафіолетове випромінення збільшує ризик раку шкіри, а дія іонизуючого випромінення може уражати будь-який орган чи тканину
Хімічні	Ароматичні вуглеводи (бензидин, бензпірен тощо), деякі сполуки Нітрогену, діоксин, спирти, речовини тютюнового диму тощо	Можуть уражати будь-який орган чи тканину з наступним формуванням пухлини
Біологічні	Деякі віруси, мобільні генетичні елементи, помилки систем репарації клітини, дія епігенетичних факторів	Можуть уражати будь-який орган чи тканину з наступним формуванням пухлини

Злоякісні пухлини

Злоякісні пухлини — це новоутворення в організмі, що зумовлені необмеженим і неконтрольованим розмноженням клітин (мал. 48.1), які поширюються в сусідні тканини (здійснюють інвазію) та віддалені органи (утворюють метастази). Щодо злоякісних пухлин часто використовують термін *ракова пухлина* або *рак* (мал. 48.2). Цей термін запропонував Гіппократ, який описав пухлину, що зовніш-





Мал. 48.1. Клітини злоякісних пухлин

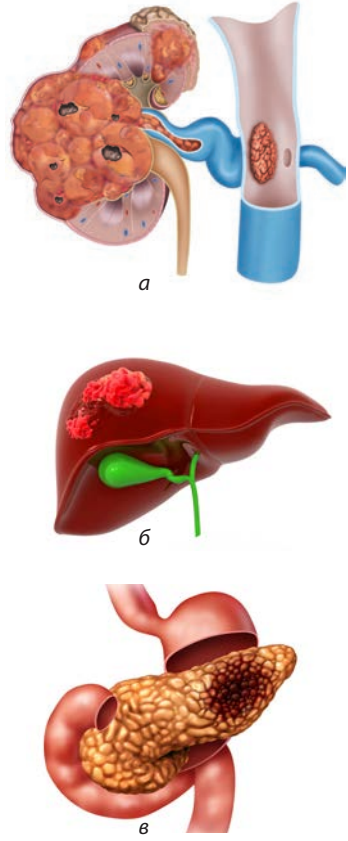
ньою формою була схожа на краба або рака завдяки місцевим метастазам, які проникали у сусідні тканини.

Характерними ознаками злоякісних пухлин є такі:

- швидкий неконтрольований ріст;
- проникнення в сусідні тканини з утворенням місцевих метастазів (інвазії);
- переміщення окремих клітин пухлини лімфатичними та кровоносними судинами у віддалені органи й тканини (утворення метастазів);
- отруйна дія на весь організм завдяки виробленню клітинами пухлини токсинів;
- фізичне виснаження, зменшення маси тіла;
- наявність механізмів «уникання» уваги імунної системи організму;
- наявність великої кількості мутацій у клітинах пухлини;
- низький рівень диференціації клітин пухлини;
- втрата здатності клітин до апоптозу;
- інтенсивне утворення кровоносних судин у пухлині.

Типи злоякісних пухлин

Злоякісні пухлини класифікують за типом клітин, які дають їм початок. Але клітини



Мал. 48.2. Розвиток ракової пухлини в нирці (*а*), печінці (*б*) і підшлунковій залозі (*в*)

в злоякісних пухлинах слабо диференційовані, тому серед них можна розрізнити клітини різних типів.

Поширені типи злоякісних пухлин

Назва пухлини	Структури, з клітин яких утворюється
Меланома	Меланоцити
Карцинома	Епітеліальна тканина
Саркома	Сполучна, кісткова, м'язова тканина
Гліома	Гліальні клітини
Лімфома	Лімфатична тканина
Лейкоз	Стовбурові клітини кісткового мозку

Різноманітність та способи лікування злоякісних пухлин

Способів лікування злоякісних клітин існує багато. І якщо захворювання виявлено на ранній стадії, шанси видужати у хворого дуже великі. А от якщо захворювання було виявлено на пізніх стадіях, ситуація значно ускладнюється. Хоча і в таких випадках людину часто вдається вилікувати. Тому в боротьбі з раком дуже важливою є рання діагностика і профілактика захворювання.

Основними способами лікування злоякісних пухлин є:

- хірургічне видалення пухлини;
- хіміотерапія (знищення клітин пухлини спеціальними препаратами);
- радіотерапія (знищення клітин пухлини за допомогою радіаційного опромінення);
- фотодинамічна терапія (руйнування клітин пухлини світлом з певною довжиною хвилі);
- гормональна терапія (деякі типи пухлин є чутливими до дії гормонів);
- імунотерапія (стимулювання імунної системи організму для підвищення її ефективності у боротьбі з пухлиною).

Найчастіше для підвищення ефективності лікування застосовують комбіновану терапію, за якої одночасно використовується кілька методів знищення пухлини.

Профілактика онкологічних захворювань

Онкологічні захворювання є дуже поширеними й небезпечними. Сучасна медицина розробила багато способів їх лікування, але досі

найкращим способом боротьби вважається профілактика. Простіше не допустити, ніж лікувати.

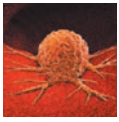
Профілактика цих захворювань спрямована на уникнення або ослаблення дії канцерогенних факторів. Це допомагає суттєво знизити ризик їх виникнення. Так, невживання канцерогенів у складі їжі суттєво зменшує ризик розвитку раку органів травної системи, матки і молочних залоз. Уникнення паління та регулярного перебування в приміщеннях, у яких палять, зменшує ризик захворювання раком легень, стравоходу, шлунка, сечового міхура тощо.

Мал. 48.3. Обстеження молочних залоз за допомогою спеціального приладу (мамографа) — один із поширених способів профілактики ракових захворювань

Деякі вірусні інфекції, малорухомий спосіб життя, стреси й нервові перевантаження, потрапляння в зони з підвищеним рівнем радіації теж спричиняють розвиток онкогенних захворювань. Тому запобігання дії цих факторів також є гарним профілактичним заходом.

Дуже важливою також є рання діагностика онкологічних захворювань. Шанси вилікувати рак на ранніх стадіях становлять більш ніж 90 %. Тому регулярне обстеження для виявлення ранніх стадій онкологічних захворювань також можна віднести до засобів профілактики важких форм раку (мал. 48.3).

Отже, тепер ви знаєте

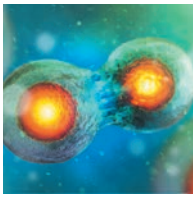


1. Що таке онкогенні фактори? 2. Що таке злоякісна пухлина? 3. Які бувають злоякісні пухлини? 4. У чому полягає профілактика онкологічних захворювань? 5*. Чому важлива профілактика будь-якого захворювання?

Запитання та завдання

4. Які фактори слід ураховувати під час лікування злоякісної пухлини? 5*. Що треба робити, щоб зменшити ризик виникнення злоякісних пухлин у своєму організмі? 6*. Дізнайтеся, в яких медичних закладах вашого регіону займаються профілактикою й лікуванням онкологічних захворювань. Які засоби профілактики онкологічних захворювань доступні у вашому регіоні? Складіть пам'ятку профілактичних дій, які слід виконувати кожній людині протягом життя.

49 Статеві клітини. Особливості гаметогенезу у людини



Які існують способи розмноження? Під час якого способу розмноження утворюються статеві клітини? Чому чоловічі й жіночі статеві клітини мають різний розмір?

Статеві залози і статеві клітини

Статевими залозами у людини є яєчка (у чоловіків) і яєчники (у жінок). **Яєчка** — овальні парні статеві залози, що містяться поза черевною порожниною у шкірному мішку (мошонці). Вони належать до залоз змішаної секреції: зовнішня функція — це утворення сперматозоїдів, а внутрішня — виділення гормону тестостерону.

Кожне яєчко складається приблизно з 1000 звивистих сім'яних канальців загальною довжиною до 300–400 м. Під час статевого дозрівання у сім'яних каналах яєчок утворюються чоловічі статеві клітини — **сперматозоїди**. З яєчок вони надходять до придатків, де дозрівають упродовж двох тижнів.

Яєчники — це парні статеві залози мигдалеподібної форми. У них утворюються й дозрівають жіночі статеві клітини — **яйцеклітини**. Яєчники також утворюють статеві гормони естрадіол і прогестерон. До черевної порожнини яєчники прикріплені кількома зв'язками. Розмір яєчника становить 3 × 2 × 1 см, а важить він близько 7 г.

Сперматозоїди — це рухливі клітини, які мають три відділи — головку, шийку й хвіст. У хвості містяться спеціальні білки, які забезпечують рух сперматозоїда. У результаті коливальних рухів хвоста сперматозоїд може самостійно рухатися головкою вперед зі швидкістю 2–3 мм за хвилину. В шийці зосереджені мітохондрії, що виробляють енергію, яка використовується для руху. Вона містить також видозмінену центросому, яка сприяє процесові поділу запліднення яйця. Головка клітини містить ядро зі спадковим матеріалом і спеціальну органелу — **акросому**. Вона потрібна для того, щоб сперматозоїд міг подолати оболонки яйцеклітини під час запліднення: ферменти, які містяться в акросомі, цю оболонку розчиняють.

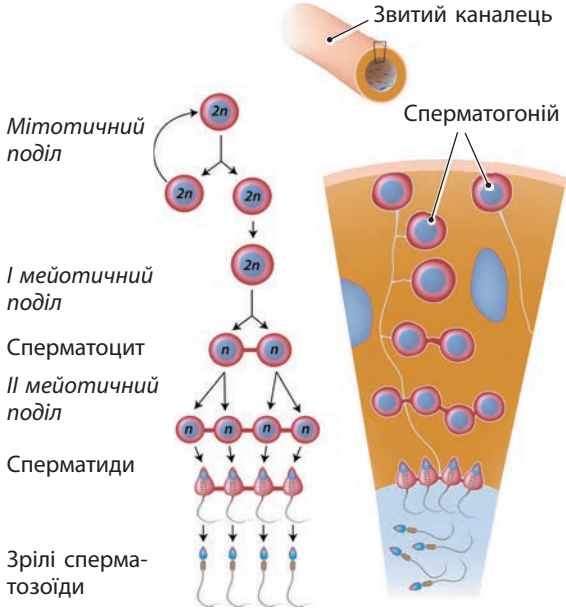
Яйцеклітина набагато більша, ніж сперматозоїд. Вона містить поживні речовини, які забезпечують перші поділи майбутнього зародка, і не має джгутика. Спадковий матеріал яйцеклітини міститься в ядрі. Зовні її оточують спеціальні оболонки, які утворюються під час розвитку яйцеклітини в яєчнику. Вони перешкоджають проникненню в яйцеклітину більш ніж одного сперматозоїда та сприяють укоріненню зародка в слизову оболонку матки.

Процес утворення статевих клітин у статевих залозах називають **гаметогенезом**. В яєчках відбувається сперматогенез, а в яєчниках — оогенез.

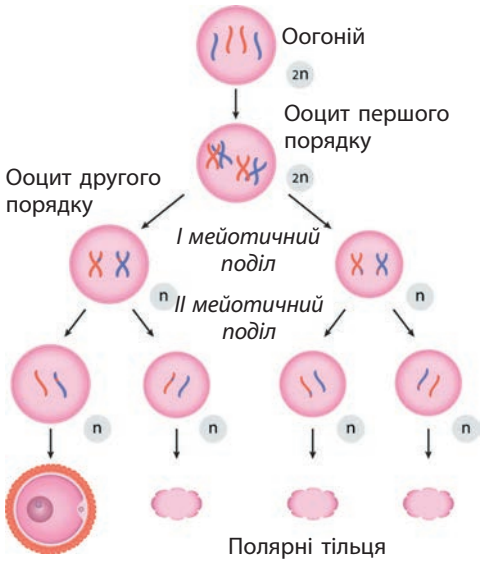
Сперматогенез у людини

Сперматогенез — це процес розвитку сперматозоїдів у людини (мал. 49.1). Він відбувається в сім'яних канальцях чоловічої статевої залози — сім'янику. Процес сперматогенезу складний, він завершується в період статевої зрілості утворенням сперматозоїдів — зрілих чоловічих статевих клітин, здатних до запліднення. Утворенню сперматозоїдів передує дворазовий (такий, що швидко настає один за одним) поділ, у результаті якого в ядрі статевої клітини залишається половина хромосом (23 замість 46).

Розрізняють чотири **періоди сперматогенезу**: розмноження, ріст, дозрівання й формування. У період розмноження сперматогонії (первинні чоловічі статеві клітини) кілька разів діляться шляхом мітозу. У період росту утворені клітини збільшуються в розмірах, а їхні ядра проходять першу фазу (профазу першого поділу) мейозу. У результаті вони стають сперматоцитами першого порядку. У період дозрівання проходять наступні фази мейозу, й утворюються сперматоцити другого порядку (після першого поділу) і сперматиди (після другого поділу). З одного сперматоциту першого порядку утворюються спочатку два сперматоцити дру-



Мал. 49.1. Сперматогенез у людини



Мал. 49.2. Оогенез у людини

гого порядку, а потім — чотири сперматиди. Під час періоду формування сперматиди перетворюються на зрілі чоловічі статеві клітини — сперматозоїди.

Оогенез у людини

Оогенез — це процес розвитку яйцеклітин (мал. 49.2). Цей процес пов'язаний з ростом і розвитком первинних фолікулів, розміщених у корковому шарі яєчника. Первинний фолікул складається з незрілої яйцеклітини, оточеної шаром епітеліальних клітин, і сполучною тканиною.

У першу (фолікулярну) фазу менструального циклу починається ріст одного або кількох первинних фолікулів, але стадії повного дозрівання досягає зазвичай один фолікул; інші зазнають регресу. Процес дозрівання фолікула за 28-денного менструального циклу вкладається в 14 днів (за 21-денного — у 10–11 днів).

Розрізняють три періоди оогенезу: розмноження, росту й дозрівання. У період розмноження відбувається збільшення кількості оогоніїв (первинних жіночих статевих клітин) шляхом мітотичних поділів. У період росту поділ оогоніїв припиняється, і вони утворюють ооцити першого порядку. Ооцити заглиблюються в тканини яєчника, вкриваються оболонками й утворюють фолікули. У кінці періоду росту в ооциті відбувається накопичення жовтка. Протягом періоду дозрівання відбувається два поділи мейозу, в результаті яких у ядрі статевої клітини залишається половина хромосом (23 замість 46). Після першого поділу утворюється ооцит другого порядку й перше полярне тільце, а після другого — зріла яйцеклітина і друге полярне тільце. Полярні тільця не беруть участі у процесах розмноження й виконують функцію видалення зайвого генетичного матеріалу.

Таким чином, на відміну від сперматогенезу, під час оогенезу з однієї вихідної клітини утворюється лише одна повноцінна зріла гамета. Крім того, характерною особливістю оогенезу є те, що періоди розмноження й росту гамет відбуваються ще в ембріональному періоді

розвитку організму дівчинки, а всі стадії сперматогенезу — після періоду статевого дозрівання хлопчика.

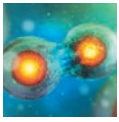
Мал. 49.3. Аномальні форми сперматозоїдів, що можуть виникнути за умови зловживання алкоголем

Вплив різних факторів на гаметогенез

Процес утворення гамет у людини залежить від генетичних, гормональних та інших факторів. Гаметогенез у людини регулюється чотирма генами, три з яких (*O*, *T*, *Tif*) розташовані на *X*-хромосомі, а один (R^{tif}) — на *Y*-хромосомі. Ген *O* відповідає за оогенез, а *T* — за сперматогенез. Ген *Tif* блокує роботу гена *T*, що дозволяє працювати гену *O*. Те, який з цих генів буде працювати, залежить від гена R^{tif}, локалізованого на *Y*-хромосомі. За наявності в клітині *Y*-хромосоми ген R^{tif} блокує ген *Tif*. У такій ситуації працює ген *T*, і організм виробляє сперматозоїди. Після початку продукування гамет тонку регуляцію цього процесу організм здійснює гормонально за допомогою ендокринної системи.

Але на гаметогенез можуть впливати й інші фактори. Вкрай негативну дію на цей процес чинять алкоголь, паління і вживання наркотичних речовин, а також деякі фактори середовища (радіаційне випромінення, певні хімічні речовини тощо). Ці фактори можуть порушувати процес формування сперматозоїдів (мал. 49.3), що стає причиною їх недостатньої рухливості й безпліддя. Вони становлять суттєву небезпеку і для ооцитів під час їхнього дозрівання й формування оболонок. Крім того, ці фактори суттєво підвищують кількість мутацій у статевих клітинах, що також погано позначається на їхній життєздатності й підвищує ризик народження дітей зі спадковими вадами.

Отже, тепер ви знаєте



1. Що таке гаметогенез? 2. Як відбувається сперматогенез у людини? 3. Як відбувається оогенез у людини? 4. Які фактори можуть негативно впливати на гаметогенез людини? 5*. Наведіть спільні та відмінні риси сперматогенезу й оогенезу.

Запитання та завдання

6. Алкоголізм може бути причиною мутацій у будь-яких клітинах організму. Але мутації, що виникають у гаметах, вважаються одними з найбільш небезпечних. Чому? 7*. Складіть перелік дій, які у повсякденному житті допоможуть знизити ризик пошкодження статевих клітин в організмі людини.

50 Запліднення. Порушення процесу запліднення у людини

Що таке статеве розмноження? Що таке статевий процес? Які бувають гамети? Які особливості будови гамет ссавців? Що таке зигота? Чому зовнішнє запліднення не є характерним для наземних тварин?

Запліднення у людини

Заплідненням у людини, як і в інших живих організмів, називають процес з'єднання (злиття) зрілої чоловічої (сперматозоїд) і жіночої (яйцеклітина) статевих клітин, у результаті якого утворюється одна клітина (зигота), що є початком нового організму.

Люди є представниками ссавців, і тому запліднення у них внутрішнє — воно відбувається в організмі жінки. У заплідненні беруть участь чоловіча (сперматозоїд) та жіноча (яйцеклітина) гамети. Запліднення зазвичай відбувається в матковій трубі. У цьому процесі виділяють кілька етапів.

Етапи запліднення у людини

Етап	Процеси, які відбуваються
Пенетрація	Подолання сперматозоїдом зовнішніх оболонок яйцеклітини — блискучої оболонки та променистого вінця. Для їх подолання використовуються спеціальні ферменти, що розташовані на поверхні та в акросомі гамет. Але ферментів одного сперматозоїда недостатньо для подолання оболонок. Тому запліднення можливе тільки за наявності достатньої кількості сперматозоїдів
Кортикальна реакція	Після проникнення одного зі сперматозоїдів усередину яйцеклітини відбувається виділення назовні специфічних ферментів, які змінюють конформацію білків блискучої оболонки, чим ущільнюють її і роблять неможливим проникнення в яйцеклітину інших сперматозоїдів
Утворення зиготи	Ядра гамет зливаються всередині яйцеклітини, утворюючи зиготу

Причини порушення процесів запліднення у людини

Причини порушення процесів запліднення можуть бути різноманітними. Їх виникнення може бути пов'язаним із проблемами в організмі як чоловіка, так і жінки.

Проблеми в організмі чоловіка, що можуть бути причиною порушення процесів запліднення:

• ендокринні порушення, які стають причиною загибелі сперматозоїдів або перешкоджають їх утворенню;

• інфекційні захворювання (паротит, бруцельоз, захворювання, які передаються статевим шляхом);

• утворення пухлин у яєчках (як доброякісних, так і злоякісних);

• розширення кровоносних судин в яєчках (варікоцеле), через яке температура статевих залоз підвищується понад 34 °С, що спричиняє загибель сперматозоїдів;

• вроджені аномалії розвитку статевих залоз;

• розлад сексуальних функцій (часто мають психологічні причини);

• запалення простати (різної природи);

• вплив зовнішніх фізичних або хімічних факторів, які пошкоджують клітини статевих залоз (радіаційне опромінення, токсичні сполуки тощо).

Проблеми в організмі жінки, що можуть бути причиною порушення процесів запліднення:

• ендокринні порушення, які стають причиною порушення розвитку і дозрівання яйцеклітин;

• порушення прохідності маткових труб після травм, абортів або інфекційних захворювань, що перешкоджає процесу запліднення;

• вроджені аномалії розвитку статевих залоз;

• гінекологічні захворювання;

• інфекційні захворювання (бруцельоз, захворювання, які передаються статевим шляхом);

• імунологічні порушення.

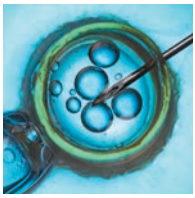
Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке запліднення? 2. Де відбувається процес запліднення у людини? 3. З яких етапів складається процес запліднення?

Запитання та завдання

4. Які фактори можуть перешкоджати заплідненню у людини? 5*. Складіть список профілактичних заходів, яких слід дотримуватися, щоб запобігти порушенню процесів запліднення у людини. 6*. Які лікарі займаються розв'язанням проблем порушення утворення статевих клітин у чоловіка й жінки, а також питаннями запліднення?

51 Особливості репродукції людини. Репродуктивна медицина



Де утворюються гамети в організмі людини? Які особливості будови мають сперматозоїди та яйцеклітини людини? Де відбувається утворення зиготи в організмі людини?

Особливості репродукції людини

Існування людини, як і будь-якого іншого біологічного виду, є можливим тільки у випадку, коли буде відбуватися процес репродукції (розмноження) з появою особин нових поколінь. Репродукція у людини є складним процесом, на який може впливати велика кількість факторів. Ці фактори можуть бути небіологічними (фізичні фактори, токсичні речовини тощо), біологічними (захворювання, травми, порушення обміну речовин) або соціальними.

Соціальна складова відіграє у репродукції людини надзвичайно важливу роль. Саме соціальні фактори сильно впливають на рішення людини щодо народження дитини та кількості дітей у родині. Умови життя людських родин теж багато в чому формуються під впливом соціально-економічних факторів, а це впливає як на психологічний стан людей, так і на стан їхнього здоров'я. Недостатнє харчування, постійна стресова ситуація, невпевненість у майбутньому можуть стати причиною розладів у роботі репродуктивної системи і виникненні безпліддя.

Репродуктивне здоров'я

За визначенням ВООЗ (Всесвітньої організації охорони здоров'я), репродуктивне здоров'я — це стан повного фізичного, розумового і соціального благополуччя в усіх питаннях функцій і процесів репродуктивної системи людини.

Гарне репродуктивне здоров'я людини означає, що вона здатна до зачаття дітей, має можливість сексуальних відносин без ризику захворювань, які передаються статевим шляхом, і може планувати кількість дітей, які в неї будуть. Репродуктивне здоров'я жінок також передбачає безпеку вагітності та пологів, виживання дитини та благополуччя матері.

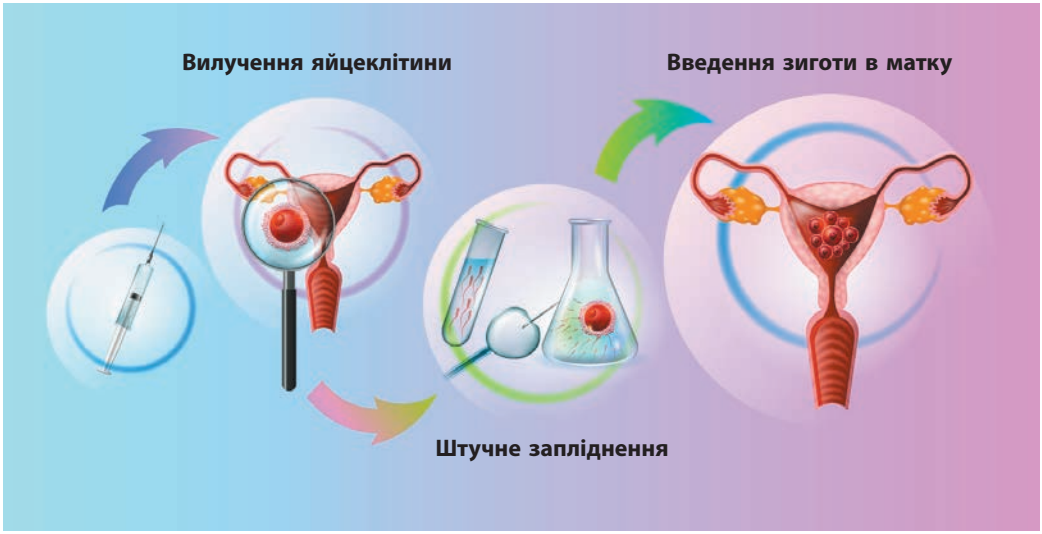
Репродуктивна медицина

Небіологічними та біологічними факторами, які можуть бути причиною порушення репродукції у людини, займається репродуктивна медицина.

Репродуктивна медицина — це галузь медицини, яка займається профілактикою, діагностикою та лікуванням безпліддя у людини. Вона базується на використанні найновіших розробок з ендокринології, хірургії, генетичної інженерії та інших галузей. Гарно відпрацьованими і популярними технологіями репродуктивної медицини є технології штучного запліднення — екстракорпоральне та інтракорпоральне запліднення.

Екстракорпоральне запліднення — це процес, під час якого відбувається запліднення яйцеклітини поза межами організму людини (так зване «запліднення в пробірці») (мал. 51.1). Вперше таке запліднення було застосовано 1978 року у Великій Британії. Екстракорпоральне запліднення може здійснюватися у тих випадках, коли через захворювання чоловіка або жінки неможливе запліднення природним шляхом (непрохідність маткових труб, пошкодження сім'яних протоків тощо).

Інтракорпоральне запліднення — це процес, під час якого відбувається запліднення яйцеклітини безпосередньо в організмі людини шляхом штучного введення сперми до матки за допомогою спеціаль-



Мал. 51.1. Схема екстракорпорального запліднення

ного катетора. Його використовують у деяких випадках чоловічого безпліддя та в ситуації, коли має місце імунологічне безпліддя (через агресивну атаку імунною системою жінки сперматозоїдів).

Перспективи репродуктивної медицини

Репродуктивна медицина є галуззю, яка зараз активно розвивається. Основні її перспективи пов'язані з розв'язанням таких питань, як подолання безпліддя, регуляція народжуваності, зменшення ризику виникнення патологій вагітності, зниження дитячої та материнської смертності.

Для подолання безпліддя використовуються допоміжні репродуктивні технології (наприклад, штучне запліднення). Ці методи дозволяють здійснювати запліднення як усередині організму жінки, так і за його межами. Новітні розробки у цій галузі дають можливість мати дітей парам, які ще донедавна не могли про це й мріяти.

Проблеми патологій вагітності, дитячої та материнської смертності тісно пов'язані з екологічними й соціальними проблемами. Забруднення навколишнього середовища, соціальна дискримінація жінок, відсутність доступу до освіти і медичної допомоги дуже негативно впливають на репродуктивне здоров'я населення.

Біосоціальна сутність людини та її репродукція

Для життєдіяльності людини надзвичайно важливим є вплив як біологічних, так і соціальних факторів. Взаємодія біологічної та соціальної складової позначається у тому числі й на репродукції людини. Основою репродуктивної поведінки є інстинктивні програми, які закріплювалися мільйони років у процесі еволюції людини. Але їх конкретний прояв може суттєво змінюватися у різному соціальному середовищі. Крім того, на репродукцію людини впливає й рівень розвитку технологій у суспільстві.

Наприклад, основою землеробства у Європі були соха, а потім плуг. Робота з ними потребувала високих фізичних навантажень, і, відповідно, основну обробку землі здійснювали чоловіки. Це сприяло поширенню і закріпленню в культурній традиції моногамних браків (один чоловік і одна жінка). Таким чином забезпечувалася найбільш ефективна передача як генетичного, так і матеріального спадку своїм нащадкам.

А в багатьох країнах Африки основою землеробства була обробка землі мотикою. Саме через це на гербах кількох африканських країн (Ангола, Мозамбік, Танзанія тощо) зображено мотику.

У такому випадку основну обробку землі здійснювали жінки і діти. Тому перевагу в передачі генетичного і матеріального спадку мали чоловіки, у яких було багато жінок і дітей. Це сприяло закріпленню в місцевій культурній традиції полігенних шлюбів (один чоловік і кілька жінок).

Проблеми регуляції розмноження у людини

Регуляція розмноження у людини може здійснюватися за допомогою як біологічних, так і соціальних факторів. До поширення технологій сучасної медицини (гігієна, щеплення, антибіотики тощо) чисельність населення регулювалася переважно біологічними факторами. Так, у 1910 році у віці до 1 року помирало 24 % дітей у Київській, 21 % — у Харківській, 20,9 % — у Херсонській, 17,2 % — у Полтавській губерніях. До 5 років тоді в середньому не доживало 43 % дітей. Основною причиною смертності були хвороби, а в періоди неврожаїв щей й голод.

Успіхи медицини різко знизили смертність. Так, за даними ООН, в Україні у 2013 році смертність дітей до 5 років становила 1 % (в країнах Європи удвічі менше). Крім того, у більшості країн протягом останніх ста років суттєво покращилися умови існування. А люди звикли народжувати по шість-вісім дітей, бо тільки це дозволяло виживати за умов високої дитячої смертності. Тому чисельність населення нашої планети протягом XX століття стрімко зростала. А ємність екосистем планети не є безкінечною і прогодувати більше певної кількості людей вони не можуть. Тому проблема чисельності населення стала дуже актуальною.

Вирішенню проблеми регуляції розмноження у людини сприяє підвищення рівня освіти населення, розвиток репродуктивної медицини, урбанізація (у великих містах народжуваність зменшується) та низка інших факторів.

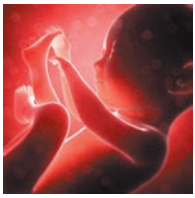
Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке репродукція? 2. Які фактори можуть впливати на репродукцію людини? 3. Які завдання вирішує репродуктивна медицина? 4. Що таке екстракорпоральне та інтракорпоральне запліднення?

Запитання та завдання

5. У яких випадках виникає потреба в екстракорпоральному та інтракорпоральному заплідненні у людини? 6*. Які проблеми можуть виникати під час проведення штучного запліднення?

52 Ембріогенез людини. Чинники, що впливають на процеси росту й розвитку людини



Як розмножуються ссавці? Що таке зигота? Що таке ембріон? Чому в людини таке тривале дитинство? Які фактори можуть впливати на розвиток живих організмів?

Онтогенез і чинники, що на нього впливають

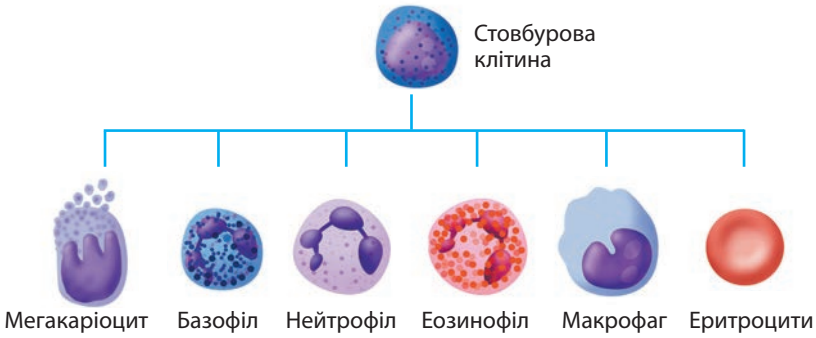
Онтогенез людини — це індивідуальний розвиток організму від моменту зародження до природної смерті. Термін «онтогенез» був запропонований німецьким ученим Е. Геккелем (1866 р.).

В основі онтогенезу певного організму лежить процес послідовної та необоротної реалізації його спадкової інформації. На реалізацію цієї інформації (і, відповідно, на перебіг онтогенезу) може впливати багато різних чинників. До них відносять умови навколишнього середовища, нейрогуморальну та гормональну регуляцію тощо.

Ембріональний період розвитку

Ембріональний (зародковий) період триває від моменту утворення зиготи до народження дитини (мал. 52.1). Він поділяється на три підперіоди: початковий (перший тиждень), зародковий (2–8 тижні) і період розвитку плоду (з 9 тижня до народження). У цей період з однієї клітини формуються всі тканини й системи органів організму (мал. 52.2).

Мал. 52.1. Ембріональний розвиток людини



Мал. 52.2. Диференціація клітин під час утворення тканин

Зародковий розвиток людини має декілька етапів: дроблення, утворення зародкових листків і оболонок, утворення тканин (гістогенез) і органів (органогенез). Через чотири-п'ять днів після запліднення одношаровий зародок з порожниною всередині потрапляє до порожнини матки. Після цього він занурюється в її слизову оболонку й прикріплюється до неї. Цей процес називається **імплантацією**.

На наступному періоді внутрішньоутробного розвитку формуються три зародкові оболонки, які утворюються із частини клітин зародка. Зовнішня оболонка має ворсинки з капілярами, через які зародок живиться й дихає. Внутрішня оболонка тонка й прозора, вона утворює міхур, порожнина якого заповнена плідною рідиною, що захищає зародок від механічних ушкоджень. Зовнішня й середня оболонки беруть участь в утворенні плаценти разом зі слизовою оболонкою матки.

На 10–14-й день після запліднення формуються зародкові листки, з яких потім утворюються всі органи й тканини.

У процесі розвитку частини зародка взаємодіють між собою. Така взаємодія є причиною так званої **ембріональної індукції**. Суть цього явища полягає в тому, що у певних ділянках зародка функціонують так звані клітини-організатори. Ці клітини виділяють певні сигнальні молекули, які й викликають диференціацію прилеглих клітин у відповідні органи й тканини. Якщо такі клітини-організатори вилучити або перенести в іншу частину зародка, то розвиток звичайних клітин цієї зони зародка піде зовсім іншим шляхом.

Плодом називають організм починаючи від 9-го тижня внутрішньоутробного розвитку й до моменту народження. Плід має своє навколишнє середовище, яке складається із зародкових оболонок, на-

вколоплідних вод і пуповини. **Пуповина** — це шнуроподібний орган, що відходить від плаценти і з'єднує плід з материнським організмом.

Постембріональний період

Постембріональний період — це період життя людини після народження (мал. 52.3). Його можна розділити на кілька етапів, тривалість яких відрізняється у чоловіків та жінок.

У житті людини виділяють такі вікові періоди:

• Період немовляти (перші 10 днів): відбувається перебудова організму, що зумовлена адаптацією до життя поза організмом матері. Руйнуються структури, пов'язані з обміном речовин через плаценту.

• Грудний період (10 днів — 1 рік) характеризується найвищими в постембріональному періоді темпами росту й розвитку всіх систем органів, а також зміцненням опорно-рухового апарата, формуванням великої кількості умовних рефлексів.

• Раннє дитинство (1–3 роки): спостерігаються високі темпи росту й розвитку всіх систем органів; початок самостійних активних рухів; перехід на харчування дорослою їжею; розвиток молочних зубів; початок використання мовлення. У кінці періоду темпи росту вповільнюються.

• Перше дитинство (4–7 років): уповільнюються темпи росту; відбувається активне накопичення інформації про навколишній світ; формуються вміння та навички, необхідні для самостійної життєдіяльності; розвиваються постійні зуби.

• Друге дитинство (8–12 років у хлопчиків, 8–11 років у дівчаток): відносно невисокі темпи росту; продовжується активне на-

Мал. 52.3. Постембріональний розвиток чоловіків і жінок

копичення інформації про навколишній світ та формування вмінь і навичок, необхідних для самостійної життєдіяльності.

• Підлітковий період (13–16 років у хлопців, 12–15 років у дівчат): початок періоду статевого дозрівання; різке збільшення темпів росту; суттєві гормональні перебудови в організмі; початок функціонування статевих систем.

• Юнацький період (17–21 рік у хлопців, 16–20 років у дівчат): завершення періоду статевого дозрівання; зменшення темпів розвитку та закінчення росту тіла; статеві системи виходять на нормальний режим функціонування.

• Зрілий вік (перший період — 22–35 років у чоловіків, 21–35 років у жінок): найбільш продуктивний період життя; розвиток здібностей досягає найвищого рівня, робота всіх систем організму є найбільш ефективною.

• Зрілий вік (другий період — 36–60 років у чоловіків, 36–55 років у жінок): дуже продуктивний період; досить високі фізичні можливості поєднуються з багатим досвідом і дозволяють досягати найвищих результатів. У кінці періоду спостерігається поступове згасання функцій репродуктивної системи.

• Похилий вік (61–74 роки у чоловіків, 56–74 роки у жінок): стан організму суттєво залежить від особливостей способу життя, яке людина вела в попередні періоди. Репродуктивні функції у чоловіків продовжують згасати, у жінок припиняються взагалі.

• Старечий вік (75–90 років): в організмі відбуваються структурні, функціональні та біохімічні зміни, які значною мірою обмежують його можливості.

• Довгожительство (більш ніж 90 років): в організмі тривають структурні, функціональні та біохімічні зміни, які обмежують його можливості.

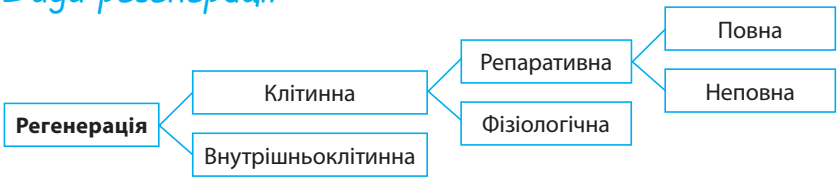
Отже, тепер ви знаєте

1. Що таке онтогенез? 2. Які періоди розвитку виділяють у людини? 3. Які процеси відбуваються під час ембріонального розвитку? 4. Навіщо потрібні зародкові оболонки? Як вони взаємодіють між собою? 5*. Які процеси відбуваються під час постембріонального розвитку?

Запитання та завдання

6. Чи відрізняється тривалість періодів життя у чоловіків і жінок? Як це можна пояснити з точки зору еволюції людини? 7*. Які чинники можуть впливати на тривалість періодів життя людини?

Види регенерації



Види трансплантації

Вид	Особливості
Аутотрансплантація	Реципієнт є донором для самого себе
Ізотрансплантація	Донором є людина з генотипом, повністю ідентичним до генотипу реципієнта
Аллотрансплантація	Донором є людина з генотипом, відмінним від генотипу реципієнта
Ксенотрансплантація	Донором є тварина
Клітинна інженерія та клонування	Вирощування потрібних реципієнту органів і тканин із клітин, вилучених з організму самого пацієнта

Пухлини

Доброякісні — зумовлені неконтрольованим, але обмеженим, розмноженням клітин, не поширюються в сусідні тканини та віддалені органи.

Злоякісні — зумовлені необмеженим і неконтрольованим розмноженням клітин, поширюються в сусідні тканини та віддалені органи (утворюють метастази).

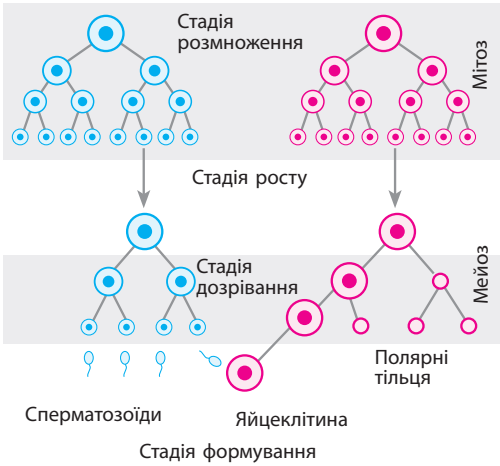
Онкогенні фактори

Фізичні	Хімічні	Біологічні
Іонізуюче та ультрафіолетове випромінення тощо	Ароматичні вуглеводні, діоксин, деякі сполуки Нітрогену, речовини тютюнового диму тощо	Деякі віруси, мобільні генетичні елементи, помилки систем репарації клітини тощо

Причини порушення процесів запліднення

- ендокринні порушення
- інфекційні захворювання
- неінфекційні захворювання органів статевої системи
- вроджені аномалії розвитку статевої системи
- розлад сексуальних функцій
- пошкодження клітин статевих залоз зовнішніми факторами (радіація, токсичні сполуки тощо)

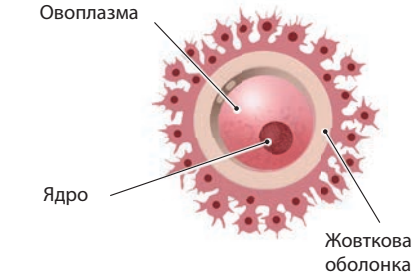
Гаметогенез у ссавців



Гамети тварин

Сперматозоїд ссавців

Будова яйцеклітини



Штучне запліднення

Екстракорпоральне — запліднення яйцеклітини відбувається поза межами організму людини («запліднення в пробірці»).

Інтракорпоральне — запліднення яйцеклітини відбувається безпосередньо в організмі людини шляхом штучного введення сперми в матку.

Завдання до теми

Завдання для індивідуальної роботи

1. Поясніть значення регенерації для організму людини.
2. Складіть порівняльну характеристику розвитку чоловічих і жіночих статевих клітин.
3. Оцініть важливість профілактики онкологічних захворювань.
4. Поясніть, як спосіб життя впливає на формування людського організму та репродуктивне здоров'я.

Завдання для роботи у групах

5. Проаналізуйте біологічні та соціальні аспекти регуляції розмноження людини та представте свою точку зору на цю проблему у вигляді презентації.

Перевірте свої знання з теми «Репродукція та розвиток організмів».

Учені-біологи

Аристотель (384 рік до н. е. — 322 рік до н. е.)

Давньогрецький учений, син придворного лікаря, учень Платона, вихователь Александра (Олександра) Македонського. Аристотель створив першу природну класифікацію тварин (виділив групи рослин і тварин, висловив ідею про існування в природі поступових переходів від неживих тіл до рослин і від них — до тварин).

За згадками сучасників, Аристотель був людиною невисокою на зріст, слабким тілесно, хворобливим. Розмовляв швидко та мав дефект вимови (змішував звук «р» та «л»).

Геккель Ернст (1834–1919)

Німецький природодослідник і філософ. Розробив теорію походження багатоклітинних організмів (теорія гаструли), сформулював біогенетичний закон, побудував перше генеалогічне дерево тваринного царства.

Геккель відомий також як митець: за ескізами вченого було створено ілюстровану книгу «Атлас Природних Форм». Перше видання атласу містило 100 літографій різних організмів, багато з яких були вперше описані самим Геккелем.

Дарвін Чарльз (1809–1882)

Англійський науковець та мандрівник, що створив теорію еволюції, разом з Альфредом Расселом запропонував принципи природного добору. Більшість його праць присвячені проблемі походження видів. А нові види він, як справжній мандрівник, пізнавав й із гастрономічної точки зору (куштував страви з броненосців, страусів, агуті, ігуан).

Коупленд Херберт Фолкнер (1902–1968)

Американський біолог, що народився в сім'ї ботаніка Едвіна Коупленда. Він запропонував крім прокаріотів виокремлювати царство протистів (*Protista*, *Protoctista*), до якого увійшли всі еукаріоти, що не належать ні до багатоклітинних тварин, ні до вищих рослин.

У системі Херберта Коупленда було виділено чотири царства: Монери (дроб'янки), Протоктисти (нижчі еукаріоти), Тварини і Рослини.

Лінней Карл (1707–1778)

Шведський природодослідник (ботанік, зоолог, мінералог) та медик. Він — автор єдиної системи класифікації рослинного та тваринного світу, увів точну термінологію для описування біологічних об'єктів, увів в активний ужиток бінарну номенклатуру.
Учений самотужки перетнув Лапландію, здолавши за 5 місяців понад 2000 км пішки та верхи. У Швеції Ліннея цінять як одного з творців літературної шведської мови.

Лунін Микола Іванович (1854–1937)

Лікар, дослідник, автор учення про вітаміни. Відкрив існування вітамінів через дослід на мишах. Довгі роки працював лікарем-педіатром та отоларингологом, був викладачем, головним лікарем.
Протягом декількох десятиліть працював над розведенням та вдосконаленням собак породи «пойнтер».

Марґуліс Лінн (1938–2011)

Американська біологиня кафедри геологічних наук Масачусетського університету. Її найвідомішою працею стала ендосимбіотична теорія походження еукаріот та їх органел.
У 14 (!) років вона почала навчатися в Чиказькому університеті, а в 19 стала дружиною відомого в майбутньому астронома Карла Сагана. Її першу, нині класичну, статтю «Щодо походження мітотичних клітин» відмовилися друкувати 15 журналів.
Крім наукових публікацій, Лінн Маргуліс видала кілька книг, що пояснюють науку для популярної аудиторії, у співавторстві із сином, та збірку оповідань.

Мюнхгаузен Отто фон (1716–1774)

Німецький ботанік, натураліст, письменник, ректор Геттінгенського університету. Виділив гриби в окреме царство, щоправда, він об'єднав їх разом із губками і коралами.
Займався прикладною ботанікою, зокрема, створив один з перших англійських ландшафтних парків у Європі на території власного маєтку у Швеббері.

Уайттейкер Роберт (1920–1980)

Американський еколог. Опублікував п'ятицарствену систему органічного світу, в якій, разом з царствами *Monera* (прокаріоти), *Protista* або *Protoctista* (нижчі еукаріоти), *Plantae* (рослини) та *Animalia* (тварини), було виділено царство *Fungi* (гриби). Роботи Уайттейкера набули широкої популярності, а розроблена ним п'ятицарствена еколого-фізіологічна система стала загальновизнаною.

Практикум

Тема 1. Біорізноманіття

Лабораторна робота 1

Тема. Визначення таксономічного положення виду в системі органічного світу

Мета: удосконалити вміння визначати таксономічне положення організмів у системі органічного світу.

Обладнання й матеріали: зображення тварин та рослин, визначники рослин і тварин.

Хід роботи

1. Розгляньте малюнки й фотографії тварин, визначте їхнє таксономічне положення (вид, рід, родину, ряд, клас, тип та субдомен). Оформіть відповідь у вигляді таблиці.
2. Розгляньте малюнки й фотографії рослин, визначте їхнє таксономічне положення (вид, рід, родину, порядок, клас, відділ та субдомен). Оформіть відповідь у вигляді таблиці.
3. Сформулюйте висновок, у якому вкажіть, що потрібно враховувати під час визначення таксономічного положення виду.

Тема 2. Обмін речовин і перетворення енергії

Практична робота 1

Тема. Складання схем обміну вуглеводів, ліпідів та білків в організмі людини

Мета: закріпити знання про особливості обміну вуглеводів, ліпідів та білків в організмі людини, побудувати схему їхнього обміну.

Обладнання й матеріали: додаткові матеріали щодо обміну вуглеводів, ліпідів та білків в організмі людини.

Хід роботи

1. Укажіть, де відбуваються та яке мають значення наведені процеси обміну вуглеводів, ліпідів і білків. Витрачається чи запасається енергія під час кожного з процесів? Оформіть відповідь у вигляді таблиці:

Процес	Де відбувається	Значення для обміну речовин	Перетворення енергії (витрачається чи запасається)

Процеси: 1 — надходження органічних молекул в організм; 2 — розщеплення великих молекул вуглеводів, ліпідів і білків на малі молекули; 3 — всисання малих молекул, 4 — транспортування молекул вуглеводів, ліпідів, білків та продуктів їх розщеплення лімфою та кров'ю; 5 — синтез специфічних для організму молекул вуглеводів, ліпідів і білків; 6 — утворення структур клітини з молекул вуглеводів, ліпідів і білків; 7 — окиснення вуглеводів, ліпідів і білків; 8 — взаємоперетворення вуглеводів, ліпідів і білків у метаболічних процесах клітини; 9 — запасання вуглеводів, ліпідів і білків у клітинах організму; 10 — виведення з організму продуктів окиснення вуглеводів, ліпідів і білків.

2. Складіть схему обміну речовин. Для цього намалюйте шість блоків та назвіть їх. Між блоками залиште вільне місце.

Назви блоків: Травна система, Видільна система, Транспортна система, Дихальна система, Клітини різних органів тіла, Зовнішнє середовище (їжа, O_2, продукти обміну, CO_2).

3. Впишіть номери процесів під назвами систем органів, у яких вони відбуваються, і з'єднайте блоки стрілками, що показують напрямок переміщення речовин.

4. Сформулюйте висновок, у якому поясніть, чому обмін вуглеводів, ліпідів та білків в організмі людини є взаємопов'язаним.

Тема 3. Спадковість і мінливість

Лабораторна робота 2

Тема. Вивчення закономірностей модифікаційної мінливості

Мета: ознайомитися з модифікаційною мінливістю у живих організмів на прикладі біологічних об'єктів, навчитися будувати варіаційний ряд та варіаційну криву.

Обладнання й матеріали: колекції біологічних об'єктів (листків, хвоїнок, колосків, квітів, комах, плодів тощо), лінійка, лупа, терези, підручник, робочий зошит.

Хід роботи

1. Розгляньте колекцію біологічних об'єктів, відберіть поспіль (спеціально не добираючи) 15–20 із них.
2. Виберіть ознаку, яку ви будете досліджувати (довжину, ширину, масу, кількість зерен у колоску тощо).
3. Виміряйте величину обраної ознаки для всіх об'єктів, запишіть отримані значення.
4. Побудуйте варіаційний ряд, розташувавши всі виміряні величини за порядком від найменшої до найбільшої.
5. Побудуйте варіаційну криву, відклавши по горизонталі виміряні величини, а по вертикалі – їхню кількість.
6. Зробіть висновок, у якому проаналізуйте отримані дані та вкажіть, з якими характерними особливостями модифікаційної мінливості ви ознайомилися.

Практична робота 2

Тема. Розв'язування типових генетичних задач

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 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 утворяться в результаті схрещування, шляхом аналізу генотипів, що утвори-

лися внаслідок сполучення гамет у відповідних комірках решітки Пеннета.

Хід роботи

1. Для кожної задачі складіть схему схрещування й запишіть розв'язання.

Задача 1 (на моногібриде схрещування)
У квасолі алель чорного забарвлення насінин (*A*) домінує над алелем білого забарвлення (*a*). Визначте генотипи й фенотипи нащадків у схрещуванні *Aa* × *Aa*.

Задача 2 (на дигібридне схрещування)
У рослини один ген визначає висоту рослини (домінантний *A* — висока рослина, рецесивний алель *a* — карликова рослина), а другий ген — забарвлення плодів (домінантний *B* — червоні плоди, рецесивний алель *b* — жовті плоди). В обох випадках домінування повне. Схрестили рослини з генотипами *AaBb* і *aaBb*. Визначте генотипи й фенотипи нащадків першого покоління.

Задача 3 (на схрещування, зчеплене зі статтю)
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?

2. Зробіть висновок, указавши особливості складання схем схрещування для кожного з типів задач.

Тема 4. Репродукція та розвиток

Лабораторна робота 3

Тема. Вивчення будови статевих клітин людини

Мета: на прикладі сперматозоїдів та яйцеклітин людини вивчити особливості будови статевих клітин.

Обладнання й матеріали: мікроскоп, постійні мікропрепарати або фотографії сперматозоїдів та яйцеклітин людини, підручник, робочий зошит.

Хід роботи

1. Розгляньте під мікроскопом постійний препарат сперматозоїдів (за відсутності препаратів розгляньте малюнок або фотографію).
2. Намалюйте схему будови сперматозоїда та позначте його основні частини.
3. Розгляньте під мікроскопом постійний препарат яйцеклітини (за відсутності препаратів розгляньте малюнок або фотографію).
4. Намалюйте схему будови яйцеклітини та позначте її основні частини.
5. Зробіть висновок, у якому вкажіть, чим зумовлені відмінності у будові чоловічих і жіночих статевих клітин.

Лабораторна робота 4

Тема. Вивчення етапів ембріогенезу

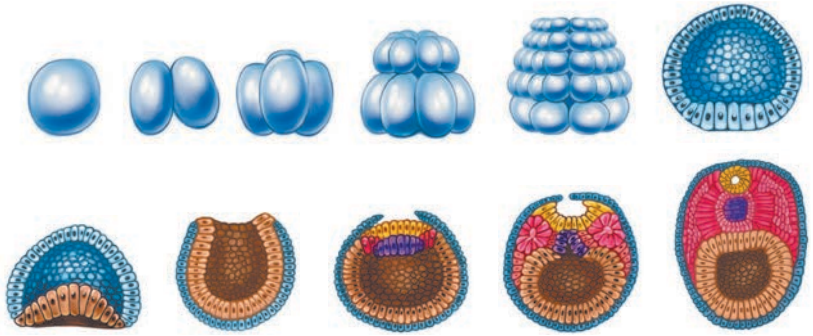
Мета: вивчити на практиці характерні особливості етапів ембріогенезу, встановити взаємозв'язки онтогенезу й філогенезу, сформувати уміння встановлювати спорідненість хребетних тварин.

Обладнання й матеріали: мікропрепарати ранніх стадій розвитку жаби й ланцетника, мікроскоп, таблиця «Ранні стадії ембріогенезу ланцетника».

Хід роботи

1. Повторіть будову мікроскопа та правила роботи з ним.
2. Підготуйте мікроскоп до роботи. Розгляньте мікропрепарат дроблення яйця жаби. Порівняйте побачене з малюнком. Підпишіть назви клітин.

3. Вивчіть на мікропрепаратах, муляжах, схематичних малюнках стадії ембріогенезу ланцетника. Підпишіть малюнки і зробіть позначення.



4. Заповніть таблицю, у якій укажіть стадії ембріонального розвитку, їхні основні особливості та зміни, які відбуваються з клітинами зародка на цих стадіях.

5. Укажіть відмінності дроблення від звичайного поділу клітин, ураховуючи, що обидва процеси відбуваються шляхом мітозу.

6. Як можна довести вплив одних частин зародка на інші?

7. Зробіть висновок, відповівши на запитання: які процеси відбуваються на стадії дроблення і яке біологічне значення вони мають?

Алфавітний покажчик

SAR 45, 47

Автотрофи 42, 43, 44, 45, 76
Активний центр ферменту 81
Алель 107
Альтернативний сплайсинг 125
Аморфеї 40, 43, 44, 48, 52
Анаболізм 66
Аналізуюче схрещування 110 113
Анеуплоїдія 128
Апоптоз 171
Аристотель 36
Археї 32, 56
Архепластиди 45
АТФ 72, 75, 78
Ацетил-КоА 74

Багатоклітинні 40, 41, 43
Багатоклітинні тварини 43, 52, 54
Бактерії 32, 37, 38, 82
Бактеріофаг 22
Безкисневий етап дихання 72, 73
Білатеральна симетрія 53
Білки 60, 64, 65, 80
Біологічна номенклатура 14
Біологічна система 4
Біологічна систематика 12, 13
Біологія 4
Біорізноманіття 56
Біотрансформація 96
Біохімічний метод 108
Біоценоз 5
Близнюковий метод 108
Бродіння 73
Брунькування 30

Вегетативна нервова система 100
Везикули 70, 71
Вид 16
Вібріони 28, 29
Віріон 20
Вироїди 22
Віруси 20, 38
Вітаміни 82, 84
Вода 86
Водневі бактерії 79
Воуз К. 38
Вторинноротi 55
Вуглеводи 61, 64, 65

Гаметогенез 179
Гаплоїдний набір хромосом 128
Геккель Е. 4, 36, 37
Гемізигота 108
Гемоперфузія 99
Гемофільтрація 99
Ген 107
Генеалогічний метод 108
Генетика 106
Генетичні маркери 116
Генетичний моніторинг 146
Геном 107
Генофонд 148
Геномні мутації 132
Гетерогаметна стать 127
Гетерозигота 108
Гетеротрофи 43, 49, 76
Гібридологічний метод 108
Гібридологічний аналіз 110
Гідробактерії 32
Гістони 118
Гліколіз 73
Гомогаметна стать 127
Гомозигота 107
Гормони 100, 101
Гранично допустима концентрація (ГДК) 89
Гриби 82
Грибоподібні організми 48
Групи токсичних речовин 95

Давні бактерії 32
Дарвін Ч. 36
Детоксикація 98
Джгутики 28, 29, 33, 43
Дигібридне схрещування 110
Диктіосоми 70
Диплоїдний набір хромосом 128
Дихальний ланцюг 73, 74
Діаліз 98, 99
Діалізний розчин 98
Діафоретики 40, 41, 42, 44, 45, 48
ДНК 62, 63
ДНК-віруси 21
ДНК-мікрочіп 116
Доброякісні пухлини 172
Домен 38, 40, 44
Домінантність 108

Едл С. 40
Екзони 121
Екологія 4
Екосистема 4
Екскавати 40, 41, 44, 48
Експресія генів 123
Екстракорпоральне запліднення 185
Ембріональна індукція 189
Ембріональний (зародковий) період 188
Ендоплазматична сітка 70
Енергетичний баланс 90
Енергетичний обмін 66
Енхансери 121
Епістатична взаємодія генів 144
Еуархеї 33
Еукаріоти 36, 38, 40, 44

Життєвий цикл вірусу 24

Залізобактерії 79
Запліднення 182
Зародковий розвиток 188
Захворювання зі спадковою схильністю 156
Збалансоване харчування 90
Зелені рослини 44
Злоякісні пухлини 174
Зовнішнє травлення 82

Імплантація 168
Інтракорпоральне запліднення 185
Інтрони 121

Кайнозой 57
Капсид 21
Каріотип 127
Катаболізм 66
Каталіз 80
Кисневий етап дихання 72, 73, 74
Кишечник 98
Класифікація ферментів 81
Клітина 68
Клітинна мембрана 33
Клітинна стінка 33
Клітинне дихання 72, 75
Коки 28, 29
Комахоїдні рослини 82
Комбінативна мінливість 139
Комірцеві джгутиконосці 43
Комплекс Гольджі 70
Комплементарна взаємодія генів 144
Концепція виду 16
Концепція сталого розвитку 9
Коупленд Г. 37
Кофактор 82
Кристи 69
Критерії виду 17
Кров 97

Ламарк Ж. Б. 4
Легені 97, 98
Лінней К. 13, 36
Ліпіди 62, 64, 65
Локіархеї 33
Локус 107
Лунін М. І. 84

Марґуліс Л. 38, 39
Матрикс 69
Медико-генетичне консультування 158

Медична генетика 152
Мезозой 57
Метаболізм 66, 67, 68, 91
Мікробіота 91
Мінеральні речовини 85, 86
Мінливість 107 138
Мітохондрії 69, 74
Міцелій 49
Множинний поділ 30
Мобільні гени 119
Модифікації 138
Модифікаційна мінливість 139
Моногенні ознаки 142
Моногібридне схрещування 110
Мономорфна популяція 148
Монофілетичний таксон 15
Мутагенні фактори 132
Мутаційна мінливість 140
Мутація 130
Мюнхгаузен О. 36

Надцарство 44
Найпростіші 37
Насінні рослини 46
Незамінні амінокислоти 77
Нейрогуморальна регуляція 100
Нейтралізація токсичних сполук 96
Неккер Н. 36
Некроз 171
Нестатеве розмноження 165
Несправжні гриби 42, 48, 50
Нефрон 97
Нирка 97, 98
Нітрифікуючі бактерії 79
Нуклеїнові кислоти 62, 64, 65
Нуклеосоми 118
Нулісомія 129

Обмін енергії 66
Обмін речовин 60, 66, 76, 87, 92
Одноклітинні 40, 41, 43
Онкогенні фактори 174
Онтогенез людини 188
Оогенез 180
Органели 68
Органічні речовини 60
Осмотрофи 30, 49, 82
Оцтовокисле бродіння 73

Палеозой 56, 57
Первинноротi 55
Печінка 96, 97
Питна вода 88
Піруват 72, 73, 74
Плазмодії 49
Пластиди 69
Пластичний обмін 66
Плід 189
Позаядерна частина геному 119
Полігенні (мультигенні) ознаки 142
Полігібридне схрещування 110
Полімерна взаємодія генів 144
Полімеразна ланцюгова реакція 115
Поліморфна популяція 148
Поліфілетичний таксон 15
Популяційно-статистичний метод 108
Порушення обміну 87, 88
Постембріональний період 189
Пост-трансляційна модифікація 125
Праймери 115
Природжені вади 154
Пріони 22
Проект «Геном людини» 136
Прокаріоти 28, 32
Простий поділ 30
Протеоархеї 33
Протерозой 56
Псевдогени 137
Псевдоплазмодії 49

Радіальна симетрія 53
Раціональне харчування 90
Регенерація 166
Регуляторна ділянка 82
Регуляторні гени 122
Репаративна регенерація 167
Репарація ДНК 134
Репродуктивна медицина 185
Репродукція 164
Рецесивність 108
Рибозими 80

Рибосоми 28, 68, 70
Рівні організації живого 6
РНК 62, 63, 80
РНК-віруси 21

Сайленсери 121
Самовідтворення 5
Самооновлення 5
Саморегуляція 5
Сарцини 29
Світлова фаза фотосинтезу 78
Секвенування ДНК 114
Секвенатор 114
Систематика 36
Систематичні категорії 14
Спадковість 106
Сперматогенез 179
Сперматозоїди 178
Спірили 29
Спірохети 29
Справжні гриби 43, 48
Справжні слизовики 43, 49, 50
Справжні тварини 52
Сталий розвиток 9
Статеве розмноження 165
Статеві залози 178
Стафілококи 29
Стовбурові клітини 170
Стероїди 62
Стрептококи 29
Строма 70
Структурна регуляція
роботи гена 123
Структурні гени 122
Субдомен 40, 44
Субстрат 81

Таксономія 14
Тварини 52, 82
Темнова фаза фотосинтезу 78
Терробактерії 32
Тетракоки 29
Тилакоїди 69
Тіобактерії 79
Токсиканти 92, 94
Токсини 92, 93
Токсичні речовини 92, 94, 98, 99
Токсичні сполуки 96, 97
Точкові (генні) мутації 131
Трансплантація 168
Транспозони 137
Трисомія 129

Уайттейкер Р. 37, 38

Фагова терапія 26
Фенотип 107
Ферменти 80, 85
Фізіологічна регенерація 166
Фотоавтотрофи 77
Фотосинтез 77

Харчовий раціон 91
Хемоавтотрофи 77
Хемосинтез 78
Хімічна регуляція роботи гена 124
Хромосомна теорія спадковості 126
Хромосоми 126
Хромосомні мутації 131
Хромосомний аналіз 129

Царство 44
Цикл Кальвіна 78
Цикл Кребса 73, 74
Цитогенетичний метод 108
Цитоплазма 71
Цитоскелет 71

Шкіра 97, 98
Штучна детоксикація 98

Ядерна частина геному 118
Ядро 69
Якість води 89
Яйцеклітини 178
Яєчка 178
Яєчники 178

Зміст

Знайомство з підручником ... 3

Вступ

1 Фундаментальні властивості живого ... 4
2 Стратегія сталого розвитку природи і суспільства ... 8

Тема 1. Біорізноманіття

3 Систематика — наука про різноманітність організмів ... 12
4 Концепції виду. Критерії виду ... 16
5 Неклітинні форми життя ... 20
6 Життєвий цикл вірусів. Значення вірусів у природі й житті людини ... 24
7 Прокаріотичні організми ... 28
8 Різноманіття прокаріотів. Бактерії та археї ... 32
9 Сучасні погляди на систему еукаріотичних організмів ... 36
10 Основні групи еукаріотів ... 40
11 Автотрофні еукаріоти ... 44
12 Справжні гриби та грибоподібні організми ... 48
13 Тварини ... 52
Формування біорізноманіття в процесі еволюції ... 56
Основні положення теми «Біорізноманіття» ... 58

Тема 2. Обмін речовин і перетворення енергії

14 Органічні речовини живих організмів ... 60
Міні-довідник. Біологічна роль органічних речовин ... 65
15 Обмін речовин та енергії в біологічних системах ... 66
16 Структури клітин, які забезпечують процеси метаболізму ... 68
17 Клітинне дихання ... 72
18 Особливості обміну речовин в автотрофних і гетеротрофних організмах ... 76
19 Роль ферментів у забезпеченні процесів метаболізму ... 80
20 Вітаміни, їхня роль в обміні речовин ... 84
21 Мінеральні речовини. Вода ... 86
22 Раціональне харчування та харчовий раціон ... 90
23 Токсичні речовини ... 92
24 Знешкодження токсичних сполук ... 96
25 Нейрогуморальна регуляція процесів метаболізму ... 100
Основні положення теми «Обмін речовин і перетворення енергії» ... 102
Біологічна наука в Україні ... 104

Тема 3. Спадковість і мінливість

26 Основні поняття та методи генетики ... 106

27 Закономірності спадковості. Гібридологічний аналіз 110
Міні-довідник. Схеми схрещування 112
28 Сучасні молекулярно-генетичні методи досліджень спадковості людини 114
29 Організація спадкового матеріалу еукаріотичної клітини 118
30 Гени структурні та регуляторні. Регуляція активності генів 122
31 Поняття про каріотип. Хромосоми. Хромосомний аналіз 126
32 Мутації та їхні властивості 130
33 Біологічні антимутаційні механізми 134
34 Геном людини 136
35 Закономірності спадкової і неспадкової мінливості людини 138
36 Типи успадкування ознак у людини 142
37 Генетичний моніторинг у людських спільнотах 146
38 Особливості генофонду людських спільнот 148
39 Медична генетика 152
40 Спадкові хвороби і вади людини 154
41 Захворювання людини зі спадковою схильністю, їхні причини 156
42 Медико-генетичне консультування. Діагностика та профілактика спадкових захворювань 158
Основні положення теми «Спадковість і мінливість» 160
Біологічна наука в Україні 162

Тема 4. Репродукція та розвиток організмів

43 Репродукція як механізм забезпечення безперервності існування видів 164
44 Особливості процесів регенерації організму людини 166
45 Трансплантація тканин та органів у людини. Правила біологічної етики 168
46 Ріст і розвиток. Старіння і смерть клітин 170
47 Порушення клітинного циклу та їх наслідки 172
48 Онкогенні фактори та онкологічні захворювання 174
49 Статеві клітини. Особливості гаметогенезу у людини 178
50 Запліднення. Порушення процесу запліднення у людини 182
51 Особливості репродукції людини. Репродуктивна медицина 184
52 Ембріогенез людини. Чинники, що впливають на процеси росту й розвитку людини 188
Основні положення теми «Репродукція та розвиток організмів» 192

Учені-біологи 194
Практикум 196
Алфавітний покажчик 202

Відомості про користування підручником

№ з/п	Прізвище та ім'я учня / учениці	Навчальний рік	Стан підручника	
			на початку року	в кінці року
1				
2				
3				
4				
5				

Навчальне видання

ЗАДОРОЖНИЙ Костянтин Миколайович

«БІОЛОГІЯ І ЕКОЛОГІЯ (РІВЕНЬ СТАНДАРТУ)»
підручник для 10 класу закладів загальної середньої освіти

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Редактор *І. Г. Шахова*. Технічний редактор *А. В. Пліско*.
Комп'ютерна верстка *А. О. Цибань*. Коректор *Н. В. Красна*.
Художнє оформлення *В. І. Труфен*.

В оформленні підручника використано ілюстрації *Д. В. Леонтьєва* (9.1, 9.4, 10.1, с. 59)
а також окремі зображення, розміщені в мережі Інтернет для вільного використання

Підписано до друку __.__.2018. Формат 70×90/16.
Папір офсетний. Гарнітура Шкільна. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 15,21. Обл.-вид. арк. 15,7. Тираж _____. прим. Зам. № ____.

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) 719-48-65, тел./факс (057) 719-58-67.

Надруковано у друкарні _____,
_____
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи _____
Тел. _____. E-mail: _____