

Навчальні заняття № 39 - 42

Тема: «Основні функції екскреції та осморегуляції»

План:

1. Основні функції екскреції та осморегуляції: виділення побічних продуктів метаболізму, регуляція концентрації йонів, виділення токсинів.
2. Продукти виділення: нітрогеновмісні продукти розпаду білків і нуклеїнових кислот (амоніак, сечова кислота, сечовина); кисень, як продукт фотосинтезу; вуглекислий газ, жовчні пігменти, токсини.
3. Способи виділення продуктів метаболізму клітиною: мембранний транспорт, екзоцитоз.
4. Різноманітність органів виділення багатоклітинних тварин, їх будова і функції. Еволюція видільної системи. Роль шкіри, легень, печінки і кишечника у виділенні продуктів обміну речовин.
5. Виділення води рослиною. Гутація. Транспірація. Регуляція транспірації. Кількісні показники транспірації. Екскреція шкідливих речовин у рослин – листопад
6. Роль виділення у підтриманні гомеостазу. Токсичний вплив продуктів обміну речовин на організми. Фактори порушення процесів виділення.
7. Єдність процесів обміну речовин і енергії. Взаємоперетворення речовин у організмі.
8. Відкритість біологічних систем. Процеси і результати обміну речовин у живих системах із погляду термодинаміки. Метаболічна інженерія.

1, 2. Екскреція та екскрети

У ході обміну речовин утворюються різні відходи, які повинні виводитися з організму. Якщо вони накопичуються понад певної концентрації, то виникає загроза порушення нормального перебігу фізіологічних процесів.

Екскреція — це виведення з організму кінцевих продуктів обміну речовин.

Екскрети — це кінцеві продукти обміну речовин у живих організмах, які більше не беруть участі у життєвих процесах.

Основні продукти екскреції у тварин:

- 1) вуглекислий газ, що утворюється в процесі клітинного дихання;
- 2) нітрогенвмісні продукти розпаду білків і нуклеїнових кислот — амоніак, сечовина і сечова кислота;
- 3) жовчні пігменти, які утворюються під час руйнування гема в печінці.

Виділення продуктів метаболізму клітиною

Переміщення речовин із клітини в зовнішнє середовище відбувається шляхом екзоцитозу. Цей процес дозволяє клітинам видаляти відходи, а також секретувати гормони і білки.

Видалення відходів у клітині здійснюють лізосоми, які руйнують відпрацьовані клітинні компоненти. Перетравлений матеріал вивільняється у позаклітинне середовище.

Клітини, які секретують біологічно активні речовини, формують спеціальні секреторні везикули. Такі везикули містять гормони, нейромедіатори або травні ферменти. Вони формуються з мембран комплексу Гольджі й вивільняють уміст назовні після надходження в клітину спеціального сигналу.

Різноманітність органів виділення

В одноклітинних тварин виділення відбувається безпосередньо через клітинну мембрану, у **нижчих безхребетних — через епідерміс**. У тварин, що стоять на вищому щаблі еволюції, розвинулися спеціальні органи, які виконують функцію екскреції. **Вуглекислий газ виділяється через легені, трахеї або зябра; вода, сечовина і солі — через шкіру (з потом) і нирки (із сечею). Екскреція жовчних пігментів відбувається через печінку і виводиться з організму з послідом.**

Органи виділення у тварин

Тварини	Органи виділення
Черви	Протонефридії, метанефридії
Членистоногі	Зелені залози, мальпігієві судини, трахеї
Риби, земноводні	Нирки, печінка, зябра, шкіра
Наземні хребетні	Нирки, печінка, легені, шкіра

Еволюція видільної системи у безхребетних

Шляхом дифузії через клітинну мембрану видаляють продукти обміну губки й кишковопорожнинні, які не мають спеціальних органів виділення.

Перші видільні органи — протонефридії — з'являються у плоских червів. Протонефридії регулюють переважно вміст води в організмі (мал. 50.1).

Більш досконалі органи виділення — метанефридії — з'являються у кільчастих червів. Метанефридій являє собою канал, внутрішній кінець якого відкривається в порожнину тіла воронкою з війками, а інший кінець відкривається назовні видільною порою. Рухами війок продукти обміну видаляються з організму.

У ракоподібних органами виділення є зелені залози, розташовані біля основи антен. Вони являють собою мішечки з каналом, який іде до сечового міхура. Сеча накопичується в сечовому міхурі, а потім виливається назовні.

У комах і павукоподібних є мальпігієві трубочки. Продукти обміну надходять туди з гемолімфи і по трубочках виводяться в травний тракт. Крім того, у комах є жирове тіло, де накопичуються шкідливі речовини.

У молюсків головними органами виділення є нирки, схожі на метанефридії.

Еволюція видільної системи у хребетних

Система виділення хребетних еволюціонувала від окремих ниркових каналців — нефронів — до спеціальних органів — нирок, які складаються з багатьох видільних каналців із загальною вивідною протокою. У наземних хребетних удосконалюються способи мінімізації втрати води шляхом її зворотної реабсорбції.

Переднирки круглоротих і деяких риб схожі на метанефридії кільчастих червів.

Первинні, або тулубні, нирки є в більшості риб і земноводних. Вони мають **мальпігієве тільце** — з'єднання воронки нефридію з клубочком капілярів. Так встановлюється безпосередній зв'язок між кровоносною та видільною системами. Видільний каналець стає довшим, утворює вигини, що дозволяє виконувати зворотне всмоктування води, глюкози й інших речовин.

Вторинні, або тазові, нирки розвинені в плазунів, птахів і ссавців. Одиницею будови нирки є нефрон, який починається капсулою Шумлянського — Боумена з клубочком капілярів. У судинних клубочках відбувається фільтрація й утворюється первинна сеча. Від ниркового тільця відходить видільний звивистий каналець. У довгих ділянках ниркового каналця відбувається **реабсорбція** — зворотне всмоктування води, і тому виділяється дуже концентрована вторинна сеча. Усе це дозволило тваринам успішно пристосуватися до життя на суходолі й економно витрачати воду.



Мал. 50.1. Еволюція видільної системи у тварин

Ключова ідея

В одноклітинних організмів екскреція відбувається шляхом екзоцитозу. Найбільш прості органи виділення у багатоклітинних тварин — це протонефридії плоских червів і метанефридії кільчастих червів. Система виділення хребетних еволюціонувала від окремих канальців — нефронів — до спеціалізованих органів — нирок.

3, 4. Осморегуляція та її механізми

Важливу роль в організмі відіграють йони Натрію, Хлору, Калію, Магнію, Кальцію, Феруму, концентрація яких повинна строго регулюватися, оскільки ці йони беруть участь у багатьох процесах, включаючи роботу ферментів, синтез білків, утворення гормонів, проникність мембран, електричну активність і м'язове скорочення.

Регуляція відносних концентрацій розчинених речовин і води всередині тканин тіла називається осморегуляцією.

Живі організми населяють різноманітні середовища — суходіл, морські та прісні водойми. У солоній воді (гіпертонічному середовищі) вода з клітин «прагне» вийти назовні, тоді як у прісній воді (гіпотонічному середовищі) — навпаки, постійно надходить у клітину (мал. 51.1). Зрозуміло, що контроль внутрішньоклітинних умов у різних умовах існування потребує різних адаптацій.

Існує два типи реакцій тварин на концентрацію осмотично активних речовин у зовнішньому середовищі. Пойкілосмотичні тварини не мають активної системи стабілізації концентрації осмотично активних речовин; концентрація солей у рідині їхнього тіла є такою ж, як і назовні. Гомойосмотичні тварини здатні підтримувати сталість концентрації осмотично активних речовин у рідині внутрішнього середовища.

Способи осморегуляції гомойосмотичних тварин, що регулюють уміст води в організмі, різноманітні. Виділяють гіперосмотичні і гіпоосмотичні механізми регуляції.

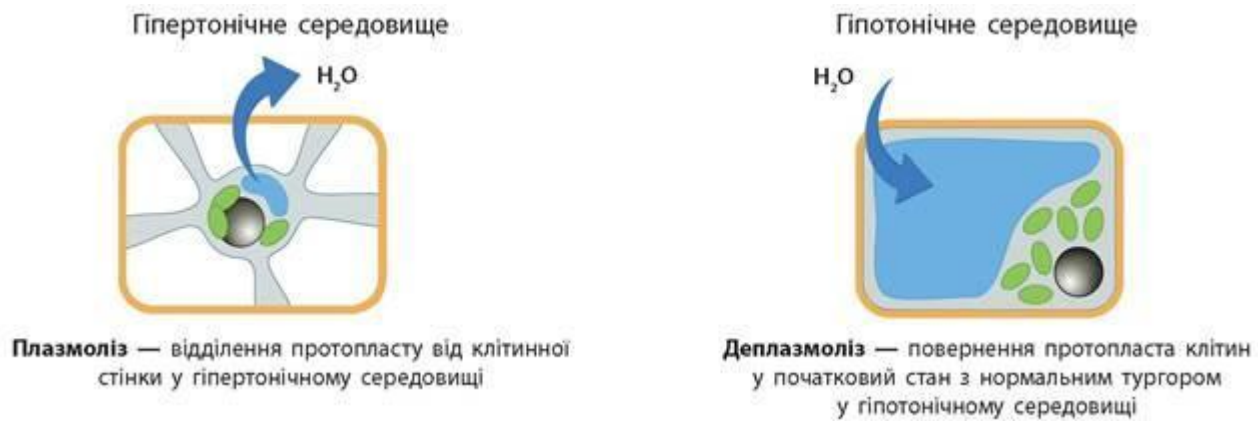
Гіперосмотична регуляція

Механізм осморегуляції називають гіперосмотичним, якщо осмотичний тиск (концентрація солей) у рідині організму більший, ніж у зовнішньому середовищі. До гіперосмотичних видів належать мешканці прісних водойм і морські хрящові риби.

У прісноводних організмів концентрація солей у клітинах і рідині тіла вища, ніж у навколишньому середовищі, тому вода постійно надходить у них шляхом осмосу через клітинні мембрани. Таким організмам загрожує небезпека роздутися від проникаючої води. Тому надлишок води постійно виводиться. **У прісноводних одноклітинних надлишок води виводиться за допомогою скоротливих вакуолей, у багатоклітинних тварин — нефридіями або нирками.**

Інша проблема прісноводних організмів — постійний витік солей у гіпотонічне навколишнє середовище. Сольові ресурси поповнюються шляхом **активного транспорту солей із зовнішнього середовища в тканинну рідину і кров.** Даний активний транспорт здійснюється епітеліальними клітинами, що містяться в шкірі у земноводних і зябрах у риб. У риб і багатьох водних безхребетних зябра є основним органом осморегуляції, більш ефективним, ніж нирки.

Морські хрящові риби (акули, скати) теж мають гіперосмотичну регуляцію. Їхній водний баланс забезпечується за рахунок накопичення в крові дуже високої концентрації сечовини.



Мал. 51.1. Плазмоліз і деплазмоліз рослинної клітини

Гіпоосмотична регуляція

Механізм осморегуляції називають гіпоосмотичним, якщо осмотичний тиск (концентрація солей) у рідині організму менший, ніж у зовнішньому середовищі. Гіпоосмотична регуляція характерна для морських костистих риб, морських плазунів, морських ссавців.

Оскільки в тілі морських мешканців менше солей, ніж у навколишньому середовищі, вони постійно втрачають воду через покриви тіла, зябра та із сечею. Тому їм загрожує зневоднення. Для компенсації втрат води вони змушені весь час багато пити.

Але ковтання морської води призводить до поглинання великої кількості солей. Надлишок більшості солей морські риби виводять нирками або через травний канал з екскрементами. Солі Натрію риби екскретують спеціальними клітинами зябрового апарату, а плазуни і морські птахи — клітинами сольових залоз (мал. 51.2)

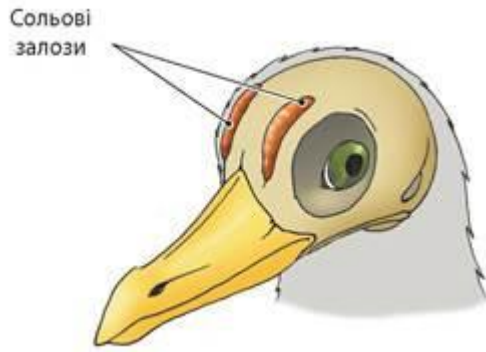
Осморегуляція у ссавців

У ссавців основним органом осморегуляції є нирки. Вони здатні виділяти сильно розбавлену сечу за надлишку води в організмі й більш концентровану сечу — у разі дефіциту води.

У людини і ссавців осморегуляція забезпечується на рефлексорному рівні. Спеціалізовані рецептори (осморецептори) постійно моніторять концентрацію осмотично активних речовин у сироватці крові й передають інформацію до ЦНС. Гіпоталамус виділяє гормон вазопресин, який секретується в кров і регулює вміст води в тілі. Зокрема, вазопресин збільшує реабсорбцію води в протоках нирок, тим самим підвищуючи концентрацію сечі й зменшуючи її обсяг.

Осморегуляція в умовах посухи

Організми, що мешкають у середовищах з дефіцитом води, мають спеціальні пристосування. Одним з механізмів осморегуляції є збільшення здатності нирок концентрувати сечу, що дозволяє обходитися без питної води. Плазуни й птахи використовують сечову кислоту як кінцевий продукт обміну сполук Нітрогену, у разі виділення якої втрачається найменша кількість води. Деякі ящірки мають носові залози, що екскретують сіль.



Мал. 51.2. Сольова залоза. У морських птахів і плазунів, вимушених уживати для пиття солону воду, є особливі сольові залози, що виводять надлишок солей з організму

Ключова ідея

Регуляція концентрації розчинених речовин і води у тканинах тіла називається осморегуляцією. Механізм осморегуляції називають гіперосмотичним, якщо концентрація солей у рідинах організму більша, ніж у зовнішньому середовищі (мешканці прісних водойм і морські хрящові риби), і гіпоосмотичним, якщо концентрація солей у рідинах організму менша, ніж у зовнішньому середовищі (морські костисті риби, плазуни, ссавці).

5. Рослинні екскрети

Рослини не синтезують білок у надлишку і тому виділяють дуже мало нітрогенвмісних відходів, які утворюються під час розщеплення білків. Три кінцеві продукти, які утворюються у ході обмінних процесів, — **кисень, вуглекислий газ і вода** — використовуються рослинами як вихідні речовини для інших реакцій. Єдиний газоподібний продукт, що виділяється рослинами у великій кількості, — це кисень, що утворюється у ході фотосинтезу.

Продуктами виділення у рослин також є нектар, дубильні речовини, слиз, смоли, ефірні олії, органічні кислоти, вітаміни, цукри, гормони, ферменти та інші речовини. Кількість речовин, що виділяється рослиною, може становити до 30 % від маси сполук, утворених під час фотосинтезу.

Багато рослинних екскретів мають біологічне значення.

Солодкий нектар важливий для залучення комах-запилювачів. Ефірні олії зумовлюють запах, що відлякує травоядних тварин (кмин, кропива тощо). Віск захищає поверхню органів і перешкоджає випаровуванню води. Смоли затягують механічні ушкодження і захищають рослину від бактерій і грибів, що руйнують деревину (сосна, ялина та ін.).

Виділення коренями спеціальних ґрунтових ферментів сприяє мінералізації органічних залишків у ґрунті. Протеолітичні ферменти комахоїдних рослин (росичка та інші) здійснюють позаклітинне травлення.

Деякі кореневі, стеблові й листові виділення регулюють взаємодію різних рослин у фітоценозі (наприклад, пригнічують ріст конкурентів, сприяють мікоризі). Особливим виділенням є рослинний газоподібний гормон (фітогормон) етилен C_2H_4 . Він контролює дозрівання плодів, розпускання бутонів, старіння та опадання листків.

Видільні структури рослин

Виділення у рослин здійснюється клітинами листків і коренів, а також клітинами спеціальних видільних тканин (залозистими волосками, молочними судинами, нектарниками) (мал. 52.1). Речовини, що виділяються, можуть накопичуватися у вакуолях і клітинних стінках. Багато продуктів метаболізму рослин відкладається у змертвілих тканинах (деревина), а також у листках або корі, які рослини періодично скидають.



Мал. 52.1. Виділення нектару

Гутація і транспірація

Вода становить 80—95 % маси рослини. Основна маса води надходить у рослину з ґрунту. Всмоктуючись через корінь, вода переходить у тканини стебла і листків. Досягнувши листків, частина води використовується на ріст і метаболізм клітин, а більша її частина (до 90 %) виділяється у вигляді пари (транспірація) або рідини (гутація).

Як вам відомо, **транспірація** — це процес випаровування води рослинами через продиhi епідерми. Через транспірацію рослини витрачають велику кількість води. Наприклад, за вегетативний період одна рослина кукурудзи випаровує 200-250 л води, а яблуня — до 26 тонн. У спекотні літні дні витрата води на транспірацію перевищує її надходження, тому виникає водний дефіцит, що може призвести до в'янення рослини.

Інтенсивність транспірації регулюється насамперед станом продиhiв. За гарного освітлення відбувається фотоактивне відкриття продиhiв. На світлі в замикаючих клітинах продиhiв збільшується вміст цукрів і йонів Калію, що веде до підвищення осмотичного тиску і надходження води. Тургор клітин збільшується, і продиhi відчиняються тим ширше, чим вищий рівень освітлення. Якщо ж транспірація надто інтенсивна і перевищує поглинання води коренем, тургорний тиск у замикаючих клітинах спадає, і продиhi закриваються.

У процесі еволюції в рослин сформувалися різні пристосування для зменшення транспірації: восковий наліт на поверхні листків і плодів, занурення продиhiв у мезофіл, опушеність, редукція листової поверхні. За нестачі води рослини можуть згортати або навіть утрачати листки.

Чинники середовища також впливають на інтенсивність транспірації. Головним чинником, що регулює транспірацію, є світло. Під час максимальної освітленості спостерігається й максимальна інтенсивність транспірації. Транспірація також залежить від вологості повітря, температури, вітру. Значно впливає на інтенсивність транспірації мінеральне живлення рослин. У разі нестачі Нітрогену, Фосфору й Калію інтенсивність транспірації максимальна, а за збалансованого мінерального живлення транспірація різко зменшується.

Гутація — процес виведення води у вигляді крапель рідини на поверхні рослини. Гутація відбувається через гідатоди — спеціальні водні продиhi на краях і кінчиках листків (мал. 52.2). Гідатоди відкриті постійно. Гутація відбувається в тому випадку, коли надходження води в рослину перевищує транспірацію. Гутація характерна для рослин тропічних лісів через велику вологість атмосфери. На території України прикладом гутуючих рослин є верба ламка, яка росте на берегах водойм.



Мал. 52.2. Гутація

Листопад

У разі настання зимової посухи дерева в помірній зоні скидають усе листя. До кінця літа — початку осені в листках зменшується інтенсивність обміну речовин, поступово руйнуються хлорофіл і хлоропласти. Між основою листка і стеблом починає формуватися відокремлювальний шар мертвих клітин корка. У пазусі листка в цей час остаточно формується брунька, після чого листок опадає.

Значення листопада полягає у видаленні з рослини продуктів обміну речовин і зменшенні випаровування, що особливо важливо взимку, коли майже припиняється надходження води з ґрунту. Крім того, зменшення площі пагонів знижує кількість снігу, що затримується на гілках, і зменшує ймовірність поломки пагонів.

Ключова ідея

Основними екскретами рослин є кисень, вуглекислий газ і вода. Вода випаровується у процесах транспірації та гутації. Продуктами виділення у рослин також є нектар, смоли, ефірні олії, цукри, ферменти та інші речовини, багато з яких мають біологічне значення. Виділення здійснюється клітинами листків, коренів, а також клітинами видільних тканин. Багато продуктів метаболізму відкладається у клітинах.

6. Роль екскреції та осморегуляції в підтриманні гомеостазу

Екскреція і осморегуляція є дуже важливими процесами життєдіяльності, вони підтримують сталість внутрішнього середовища організму (гомеостаз). Їхня функція полягає в підтримці сталості складу й обсягу рідин внутрішнього середовища організму, насамперед крові.

Шляхом екскреції видаляються побічні продукти метаболізму, багато з яких є токсичними і негативно впливають на перебіг нормальних метаболічних реакцій.

Процеси екскреції й осморегуляції підтримують йонний склад рідин тіла за рахунок регуляції концентрації йонів Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , H^+ , Cl^- , I^- , PO_4^{3-} , HCO_3^- .

Процеси екскреції й осморегуляції підтримують постійну концентрацію йонів Гідрогену H^+ (тобто підтримують кислотність середовища).

Шляхом осморегуляції контролюється вміст води в рідинах тіла.

Токсичні продукти обміну речовин

Кінцеві продукти обміну речовин не можуть далі використовуватися організмом і мають вилучатися з нього. Основними відходами, які необхідно видаляти з організму, є вуглекислий газ і вода від розщеплення глюкози, амоніак від переробки амінокислот, солі. Частина цих продуктів є токсичною, тому в організмі формуються механізми, спрямовані на перетворення цих шкідливих речовин або на нешкідливі, або менш шкідливі для організму.

Багато з продуктів метаболізму білків (амоніак, індол, феноли, ароматичні аміни) є дуже токсичними і, за високих концентрацій спричиняють ураження різних внутрішніх органів. Знешкодження токсичних продуктів розпаду білків відбувається в печінці. Амоніак перетворюється на сечовину або сечову кислоту; фенол, індол і скатол з'єднуються із сульфатною й глюкуроновою кислотами, утворюючи менш токсичні сполуки. В екскреції нітрогенвмісних речовин головну роль відіграють нирки, а невелика кількість цих речовин виводиться через легені й потові залози шкіри.

Однією з найтоксичніших речовин є амоніак — продукт руйнування амінокислот. Він має швидко видалятися з організму. У прісноводних організмів амоніак розчиняється у великій кількості води і виділяється безпосередньо в навколишнє середовище, не встигаючи досягнути токсичної концентрації. У морських і суходільних організмів запаси води в організмі обмежені, і вони не можуть марнотратно витрачати її на виведення амоніаку. Такі тварини використовують інші способи екскреції нітрогенвмісних продуктів. Головним нітрогенвмісним екскретом у ссавців є сечовина, яка утворюється в печінці з амоніаку і яка набагато менш токсична, ніж амоніак. В інших наземних тварин (комах, птахів) екскретом є сечова кислота та її солі. Вони майже не токсичні й малорозчинні, для їх екскреції потрібна невелика кількість води.

Вуглекислий газ також є токсичним продуктом метаболізму. Навіть незначне підвищення його концентрації призводить до підвищення кислотності, погіршення самопочуття, головного болю, зниження уваги. Видалення понад 90 % вуглекислого газу забезпечують легені. Також через легені виводяться інші леткі речовини, наприклад випари ефіру й хлороформу під час наркозу, випари алкоголю в разі сп'яніння.

Рослини як кінцеві продукти обміну виділяють не тільки вуглекислий газ і воду, а й кисень. Роль кисню в організмах двоїста. Вільний, атомарний Оксиген і озон фактично є клітинними отрутами. В атмосфері чистого кисню дихання рослин знижується, а за тривалої його дії рослина гине. Це пов'язано з посиленням вільнорадикальних реакцій, пошкодженням мембран унаслідок окиснення їх ліпідів і, зрештою, з порушенням багатьох процесів обміну речовин.

Дізнайтеся більше

Деякі метаболіти, що накопичуються рослинами в клітинних вакуолях, виконують захисні функції. Щоб уникнути знищення травоядними тваринами, рослини синтезують різні отруйні речовини, які вивільняються з вакуолей у разі пошкодження клітин. Серед них і високотоксичні алкалоїди, і просто неприємні на смак речовини, що негативно впливають на травлення.

Фактори, що порушують процес виділення у людини

Спадкові та вроджені захворювання органів виділення. Спадкові дефекти нирок (нефропатії) можуть виникати в різних структурах видільної системи, наприклад у клубочковому апараті, ферментних системах і транспортних каналах ниркових каналців, спричиняти анатомічні аномалії нирок і сечовидільних шляхів (мал. 53.1).

Інфекційні захворювання. Ниркові інфекції зазвичай спричиняють бактерії, які уражають ниркові лоханки або ниркову паренхіму. Трапляються також паразитарні та вірусні захворювання. Інфекція знижує активність роботи нирок.

Інтоксикація. До ураження нирок можуть призвести отруєння алкоголем, важкими металами, отруйними речовинами в побуті та в промисловості, укуси отруйних змій і комах, надмірні дози деяких лікарських препаратів.

Травми. Ниркова недостатність розвивається в разі сильного травмування нирок.

Гормональний дисбаланс. Порушення реабсорбції можуть бути зумовлені недостатньою секрецією гормонів (альдостерону, вазопресину) або блокадою рецепторів до цих гормонів.

Здорова нирка Гідронефроз Полікістоз нирки



Мал. 53.1. Спадкові захворювання нирок — полікістоз і гідронефроз. Ниркова паренхіма заміщується численними кістами або нирковою лоханкою, яка збільшується через поганий відтік сечі

Ключова ідея

Екскреція й осморегуляція є дуже важливими процесами життєдіяльності, вони підтримують сталість внутрішнього середовища організму (гомеостаз). Шляхом екскреції видаляються побічні продукти метаболізму, багато з яких є токсичними; це продукти метаболізму білків (амоніак), вуглекислий газ, кисень (у рослин). Нормальні процеси виділення можуть бути порушені внаслідок захворювань нирок (спадкових та інфекційних), гормонального дисбалансу, отруєння і травм нирок.

7. Єдність процесів обміну речовин і енергії

У клітинах одночасно відбуваються процеси енергетичного та пластичного обміну. Вони пов'язані між собою потоками речовин і енергії (мал. 55.1). Головну роль у поєднанні анаболічних і катаболічних процесів відіграє АТФ.

Процеси анаболізму і катаболізму перебувають в організмі або в стані динамічної рівноваги, або з переважанням одного з них. Переважання анаболічних процесів над катаболічними призводить до зростання, накопичення маси тканин, а переважання катаболічних процесів веде до часткового руйнування тканинних структур, виділення енергії. Стан рівноважного або нерівноважного співвідношення анаболізму й катаболізму залежить від віку (переважання анаболізму в дитячому віці, рівновага у зрілому, переважання катаболізму в старості), стану здоров'я, фізичного або психоемоційного навантаження.

Перетворення енергії в живій клітині

Внутрішні метаболічні процеси супроводжуються перетвореннями одних форм енергії на інші. Так, наприклад, хімічна енергія глюкози перетворюється у ході клітинного окиснення частково на тепло, частково — на енергію макроергічних зв'язків АТФ. За рахунок гідролізу АТФ може відбуватися перенесення речовин з ділянки з меншою концентрацією до ділянки з більшою (осмотична робота), перенесення йонів у місце більш високого електричного потенціалу (електрична робота), в організмі тварини — скорочення м'язів (механічна робота). При цьому відбувається перетворення частини хімічної енергії АТФ на теплову, осмотичну, електричну та механічну енергію.

З розвитком у XIX—XX ст. термодинаміки — науки про взаємоперетворення теплоти й енергії — стало можливо кількісно розраховувати перетворення енергії в біохімічних реакціях і передбачати їх напрямки.



Мал. 55.1. Взаємозв'язок процесів катаболізму й анаболізму ґрунтується на єдності біохімічних перетворень, що забезпечують енергією всі процеси життєдіяльності

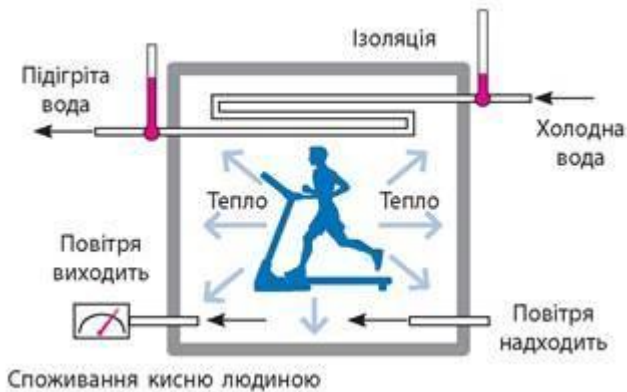
Термодинаміка обміну речовин

З точки зору термодинаміки, живі організми являють собою відкриті нерівноважні системи, оскільки вони обмінюються з навколишнім середовищем як енергією, так і речовиною, і при цьому перетворюють і те, й інше.

Припинення обміну речовин та потоку енергії для організмів означає втрату структурної організації і смерть.

Експериментальним шляхом було встановлено, що до процесів, які відбуваються в біологічних системах, можна застосовувати перший і другий закони термодинаміки. Сумарна кількість енергії, яку отримує живий організм з їжею за певний проміжок часу, дорівнює кількості енергії, що виділяється у вигляді тепла і міститься в продуктах виділення, та енергетичним витратам на роботу, що здійснюється.

Кількість теплоти, виділеної організмом, можна точно виміряти. Для цього організм поміщають у спеціальну камеру, яка добре ізольована від середовища, тобто не відбувається обміну енергією з навколишнім середовищем (мал. 55.2). Експерименти, виконані цим методом, довели, що кількість енергії, яка надходить в організм, дорівнює енергії, що виділяється під час проведення калориметрії.



Мал. 55.2. Камера для прямого вимірювання кількості теплоти, виділеної організмом

Ключова ідея

У клітинах одночасно відбуваються процеси енергетичного та пластичного обміну. Вони пов'язані між собою потоками речовин і енергії. Головну роль у поєднанні анаболічних і катаболічних процесів відіграє АТФ. Живі організми належать до відкритих термодинамічних систем: вони обмінюються речовинами й енергією з навколишнім середовищем.

Дізнайтеся більше

Термодинаміка — наука, що вивчає загальні закони перетворення різних видів енергії в системі.

Розрізняють три типи систем:

Ізольована — не обмінюється з навколишнім середовищем ані речовиною, ані енергією.

Замкнена (закрита) — обмінюється з навколишнім середовищем тільки енергією.

Відкрита — обмінюється з навколишнім середовищем речовиною і енергією.

Перший закон термодинаміки є законом збереження енергії. Він визначає, що загальна енергія в ізольованій системі — величина стала і не змінюється із часом, а лише переходить з однієї форми в іншу.

Другий закон термодинаміки визначає, що всі реальні процеси супроводжуються розсіюванням певної частини енергії в теплоту.

8. Взаємоперетворення між різними класами органічних речовин

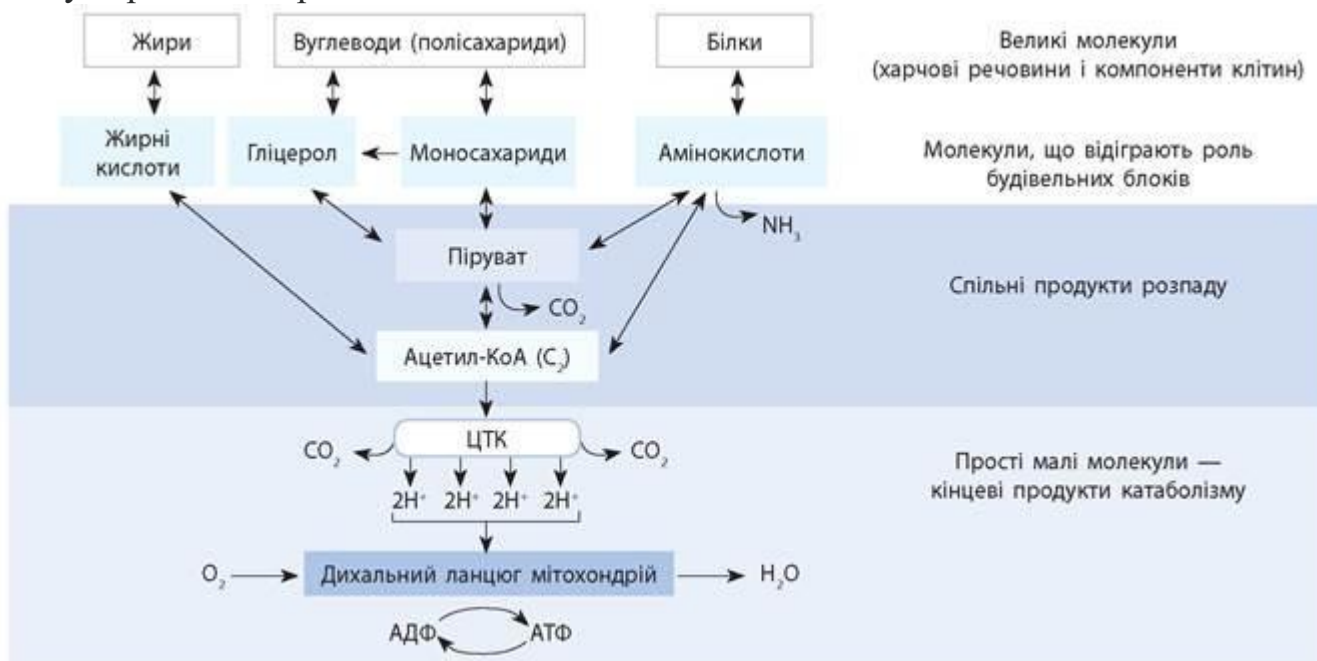
Обмін речовин в організмі людини відбувається не хаотично. Він інтегрований і тонко настроєний. Усі перетворення органічних речовин тісно пов'язані один з одним. Наприклад, у разі надмірного споживання жирів вони можуть використовуватися для утворення глюкози. Білки й вуглеводи можуть перетворюватися на ліпіди, а вуглеводи в деяких випадках можуть перетворюватися на білки.

Взаємоперетворення окремих класів речовин можливі завдяки циклу трикарбонових кислот, в якому сполучаються всі основні шляхи розпаду й синтезу речовин (мал. 54.1). Взаємоперетворення здійснюються через ключові метаболіти, які є спільною ланкою на шляхах розпаду або синтезу. До таких метаболітів належать піруват, ацетил-КоА, фосфогліцерат, метаболіти циклу Кребса.

Вуглеводи в результаті гідролізу утворюють моносахариди (глюкозу), які здатні перетворюватися на тріози, зокрема піровиноградну кислоту, що надходить до циклу трикарбонових кислот. І, навпаки, тріози здатні утворити глюкозу.

Білки в результаті гідролізу утворюють різні амінокислоти, які в процесі окисного дезамінування дають амоніак і кетокислоти. Кетокислоти надходять у цикл трикарбонових кислот. Навпаки, піровиноградна кислота, а також кетокислоти циклу трикарбонових кислот (α-кетоглутарова, фумарова, щавелевооцтова) перетворюються на амінокислоти, які організм використовує в процесі біосинтезу білків.

Продукти гідролізу жирів — жирні кислоти — в результаті β-окиснення дають ацетил-КоА. Навпаки, тріози можуть дати гліцерин, а ацетил-КоА необхідний для синтезу високомолекулярних жирних кислот. У результаті можна знову отримати жири.



Мал. 54.1. Основні шляхи взаємоперетворення білків, жирів і вуглеводів

Метаболічна інженерія

Одним з перспективних нових напрямків у біотехнології є **метаболічна інженерія** — спрямована зміна клітинного метаболізму за допомогою введення, видалення або модифікації метаболічних шляхів з використанням технології рекомбінантних ДНК. Завданням метаболічної інженерії є створення в організмі метаболічних шляхів, які раніше в даному організмі не існували або взагалі не існували в природі.

Метаболічна інженерія здатна створювати біологічні системи, що вироблятимуть хімічні речовини, які важко й дорого одержувати традиційними способами хімічної індустрії. Такими речовинами можуть бути, наприклад, корисні білки з високим умістом незамінних амінокислот, їстівні вакцини, антитіла, нові полімери, що не засмічують навколишнє середовище.

Прикладами результатів метаболічної інженерії є створення бактерій-продуцентів етанолу (мал. 54.2), розгалужених спиртів, бурштинової кислоти, синтетичного каучуку та інших органічних речовин.

Системи метаболічної інженерії також використовували для створення штамів дріжджів, які виробляють опіюїди для знеболювання, і бактерій, які виробляють біорозкладні полімери для хірургічного шовного матеріалу.



Мал. 54.2. Схема виробництва етанолу кишковою паличкою *E. coli* за рахунок блокування паралельних метаболічних шляхів (х)

Ключова ідея

Взаємоперетворення білків, жирів і вуглеводів в організмі здійснюються через ключові метаболіти обміну речовин — піруват, ацетил-КоА, фосфогліцерат та метаболіти циклу трикарбонових кислот. Одним з перспективних нових напрямків у біотехнології є метаболічна інженерія — спрямована зміна клітинного метаболізму за допомогою модифікації існуючих метаболічних шляхів.

Основні положення теми «Обмін речовин і перетворення енергії»

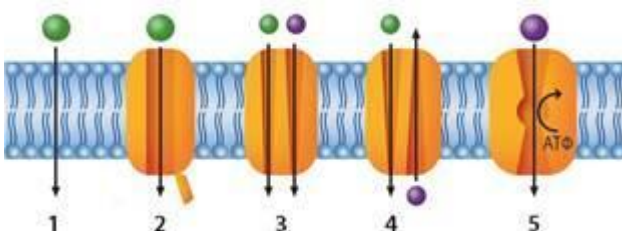
Основні неорганічні речовини клітини

Компонент	Функції
H_2O	Утворення внутрішнього середовища організму, підтримка форми тіла (тургор), участь у метаболізмі (фотоліз, гідроліз), терморегуляція (потовиділення, гутація), транспорт речовин
H^+ , Na^+ , K^+ , Cl^-	Утворення мембранного потенціалу для синтезу АТФ та передачі сигналів, у тому числі, нервового імпульсу
HCO_3^- , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-	Забезпечення буферних властивостей системи тканин
Ca^{2+} , PO_4^{3-}	Забезпечення міцності опорних структур тварин (кістки, мушлі молюсків)
Mg , Fe , Zn , Cu , Mn	Утворення активного центру гормонів, ферментів, вітамінів, транспортних білків, пігментів фотосинтезу

Біополімери

Полімери	Мономери	Обов'язкові елементи	Основні функції
Білки	Амінокислоти	C, H, O, N, S	Каталітична, структурна, моторна, транспортна, регуляторна
Полісахариди	Моносахариди	C, H, O	Механічна, резервна, регуляторна
Жири	Гліцерин і жирні кислоти	C, H, O	Резервна, термоізолююча, регуляторна, структурна
Нуклеїнові кислоти	Нуклеотиди	C, H, O, N, P	Інформаційна, регуляторна, каталітична

Мембранний транспорт



Пасивний транспорт:

А. Проста дифузія

1 — дифузія крізь фосфоліпідний бішар

2 — дифузія крізь білок-канал

Б. Полегшена дифузія крізь білок-переносник

3 — симпорт

4 — антипорт

Активний транспорт:

5 — крізь білок-насос із підводом енергії

Транспорт речовин у багатоклітинних організмів

Рослини	Тварини
Ксилема (трахеїди, судини) — транспорт води й мінералів від коренів до листків	Гемолімфа — рідина, що транспортує поживні речовини
Флоема (ситоподібні трубки) — транспорт органічних речовин від листків до коренів	Кров — рідка тканина, що містить плазму (рідину) і формені елементи (еритроцити, лейкоцити, тромбоцити)

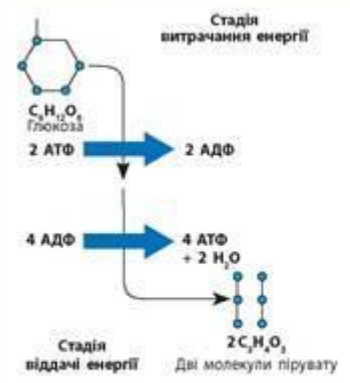
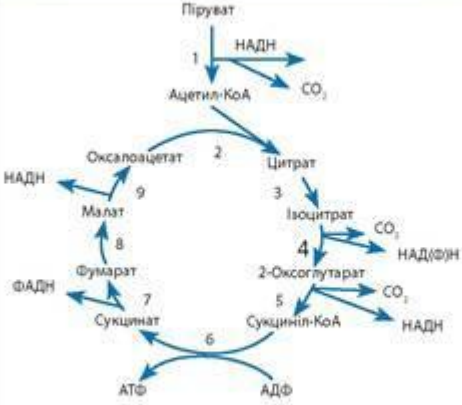
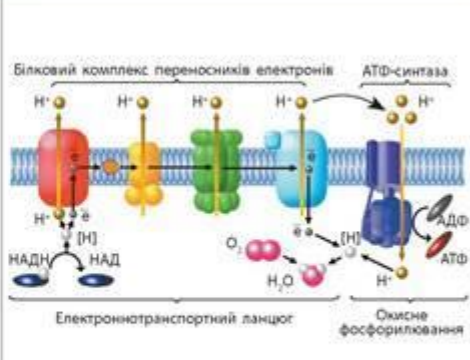
Типи живлення

За джерелом Карбону	За джерелом енергії	За джерелом Гідрогену
автотрофне — CO_2 гетеротрофне — органічні речовини	фототрофне — енергія світла хемотрофне — енергія хімічного зв'язку	літотрофне — неорганічні речовини органотрофне — органічні речовини

Типи гетеротрофного живлення

За джерелом поживних речовин	За механізмом поглинання їжі
голозойне — поглинання живих істот (хижацтво) та їхніх частин (мерофагія) сапротрофне — живлення відмерлими рештками живих істот симбіотрофне — одержання поживних речовин від партнера за взаємовигідним симбіозом паразитичне — одержання поживних речовин від організму-хазяїна	фаготрофне — поглинання шляхом заковтування осмотрофне — поглинання шляхом усмоктування

Гетеротрофний метаболізм: аеробне дихання

Стадія 1. Гліколіз	Стадія 2. Цикл трикарбонових кислот	Стадія 3. Електронотранспортний ланцюг
 Стадія витрачання енергії Стадія піддачі енергії Вихідні речовини: глюкоза Продукти: піруват, АТФ (2 молекули), H_2O	 Вихідні речовини: піруват Продукти: CO_2, НАДН, ФАДН	 Вихідні речовини: НАДН, ФАДН Продукти: АТФ (36 молекул), H_2O

Автотрофний метаболізм: фотосинтез

Стадія 1. Світлова	Стадія 2. Темнова
Світло Акцептор електронів Ланцюг переносників електронів 2e⁻ Фотосистема II $H_2O \rightarrow \frac{1}{2} O_2 + 2H^+$ Фотоліз води Світло Акцептор електронів Ланцюг переносників електронів 2e⁻ НАДФ + 2H⁺ НАДФН + H⁺ Фотосистема I	Зі світлових реакцій 12 АТФ 12 АДФ + 12 $P_{i\text{неактив}}$ Дифосфогліцеронова кислота (12 молекул) Фосфогліцеронова кислота (12 молекул) Карбоксиливання Рибозодифосфат (6 молекул) 6 АДФ + 6 $P_{i\text{неактив}}$ 6 АТФ Зі світлових реакцій Зі світлових реакцій 12 НАДФ + 2H⁺ 12 НАДФН + H⁺ Відновлення Тріозофосфат (12 молекул) Перетворення карбонових сполук Рибозомонофосфат (12 молекул) Глюкоза (1 молекула) 6CO₂
Вихідні речовини: H ₂ O	Вихідні речовини: CO ₂
Продукти: НАДФН, АТФ	Продукти: глюкоза