

Ланцюги живлення

Шлях, за яким можна прослідкувати передавання сонячної енергії в екосистемах від одного організму до іншого, називають ланцюгом живлення, а місце кожного організму в цьому ланцюгу — трофічним рівнем.

Ланцюги живлення можуть бути різних типів, що залежать від початкової ланки (рослини, рештки рослин і тварин). Наприклад, рослини — заєць — лисиця. Основою цього трофічного ланцюга є продуценти, які з неорганічної речовини та енергії Сонця створюють живу речовину (первинну біомасу). Другою ланкою є тварини, які споживають цю первинну біомасу (консументи I порядку). Вони — їжа для організмів наступного трофічного рівня (консументів II порядку).

Головною особливістю ланцюга живлення є біологічний колообіг речовин унаслідок якого енергія, запасена в органічній речовині, вивільняється.

Хемосинтез

Автотрофні бактерії не містять хлорофіл, однак теж здатні синтезувати органічні сполуки. Для цього вони використовують хімічну енергію, що виділяється внаслідок окиснення неорганічних сполук. Синтез органічних речовин у такий спосіб називають хемосинтезом (від грец. *chēméia* — хімія й *συνθεσις* — сполучення). Цей процес здійснюють нітрифікувальні бактерії, ферумобактерії, гідрогенобактерії, сульфуробактерії та інші групи бактерій. Часто-густо їхня назва пов'язана з назвою неорганічної сполуки, окиснення якої забезпечує ці бактерії енергією.

З'ясуймо, чим подібні й відмінні хемосинтез і фотосинтез.

Подібність:

- 1) як хемосинтез, так і фотосинтез є типом автотрофного живлення, коли організм синтезує органічні речовини з неорганічних;
- 2) енергія такої реакції запасується в аденозинтрифосфатній кислоті (АТФ) і згодом використовується для синтезу органічних речовин.

Відмінність фотосинтезу від хемосинтезу:

- 1) різне джерело енергії, і, як наслідок, різні окиснювально-відновні реакції. За хемосинтезу первинним джерелом енергії є не сонячне світло, а хімічні реакції — окиснення певних речовин;
- 2) хемосинтез характерний лише для бактерій та археїв;
- 3) у хемосинтезі задіяні клітини бактерій, що не містять хлорофілу, у фотосинтезі навпаки — ті, що містять хлорофіл;
- 4) джерелом Карбону для синтезу органічних речовин у хемосинтезі може бути не лише карбон(IV) оксид, а й карбон(II) оксид, метанова та етанова кислоти, метанол і карбонати (складіть хімічні формули цих сполук).

Отже, залежно від того, що є джерелом енергії для життєдіяльності, усі організми можна поділити на фототрофи й хемотрофи (або хемосинтетики). Фототрофи використовують енергію світла, хемотрофи — це організми, які отримують життєву енергію завдяки хемосинтезу. Хемотрофи відіграють важливу роль в колообігу речовин, особливо азоту, зокрема вони підтримують родючість ґрунтів. Також завдяки діяльності бактерій-хемосинтетиків у природних умовах накопичуються великі запаси руди та селітри.

За роллю в синтезі органічних сполук організми поділяють на автотрофи та гетеротрофи, а за джерелами енергії — на фототрофи й хемотрофи.

Клітинне дихання

Незалежно від того, яку енергію використали організми та в який спосіб отримали поживні речовини, усі вони окиснюють ці органічні речовини для синтезування АТФ. Такий процес окиснення називають клітинним диханням. Залежно від того, яка речовина є окисником у процесі дихання, організми поділяють на аеробів і анаеробів. Аероби — це організми, які використовують кисень для дихання, а анаероби відповідно — ні. У мітохондріях деяких з анаеробів відбувається бродіння, що також приводить до синтезу АТФ. Але якщо внаслідок аеробного дихання утворюється 32–38 молекул АТФ з однієї молекули глюкози, то в результаті бродіння — одна-дві молекули АТФ на одну молекулу глюкози. Інша частина анаеробів може окиснити органічні речовини до вуглекислого газу й води, але окисником виступають відмінні від кисню сполуки.

Екосистеми, як і всі істоти, підпорядковані фундаментальним законам природи — закону збереження та перетворення енергії (першому закону термодинаміки) та закону ентропії (другому закону термодинаміки). Так, згідно з першим законом термодинаміки, сонячна енергія перетворюється на енергію речовин та використовується на виконання роботи й витрати на тепло. Згідно з другим законом (законом ентропії) усі форми енергії спонтанно намагаються перейти в менш організовану хаотичну форму — ентропію. Організми здатні підтримувати складну структуру — упорядкованість, але необхідно, щоб до них поступово надходила енергія.

Біологічний колообіг речовин завдяки постійному притоку енергії забезпечує відновлення біомаси Землі, впливає на регенерацію біосфери. Його інтенсивність визначає загальну кількість і різноманітність організмів на Землі, об'єм накопичуваної органічної продукції, використовуваної для потреб людей. Необґрунтоване втручання в процеси біологічного колообігу речовин може призвести до деградації й руйнування історично складених екосистем.

Окиснення речовин у природі (окрім живого) відбувається під час перебігу хімічних реакцій (корозія залізної конструкції у вологому повітрі, горіння пропан-бутанової суміші в газовому пальнику або пожежа) — це вільне окиснення (за участю кисню). Воно супроводжується виділенням тепла в навколишнє середовище, відповідно:

- 1) позитивною зміною ентальпії $+\Delta H$, що характеризує теплонакопичення системи (стає гаряче на пожежі);
- 2) негативною зміною вільної енергії $-\Delta G$, оскільки система втратила деяку її частину, (що згоріло, то пропало);
- 3) позитивною зміною ентропії $+\Delta S$, що вказує, що система стала менш упорядкованою (безладу на згади більше).

За вільного окиснення, що підпорядковане законам термодинаміки (і хімії) величина $-\Delta G$, яка могла б бути витрачена на виконання корисної роботи, «губиться». (А ось удома, щоб ця $-\Delta G$ не «губилася», ви використовуєте систему — газову плиту — і частину тепла, що виділяється, направляєте до іншої системи — каструлі, пательні тощо). Процес окиснення в біологічній системі — біологічне окиснення, що підпорядковується тим самим законам природи, що й вільне окиснення. Воно відбувається на клітинному рівні й за участю ферментативних систем. І це окиснення вже «не вільне програмне забезпечення», а «цільове» — життєзабезпечувальне. Процес біологічного окиснення в організмах «запрограмований» генетично й постійно контрольований самою біологічною системою (у часі і в просторі). По суті, він є процесом, зворотним фотосинтезу (тому поки рослини ростуть, тварини жують).

Вимоги живого до біологічного живлення зрозумілі: мінімум витрат і втрат, задовільний вихід енергії, хороший ККД (що більший, то краще), можливість контролювати процес

тепловиділення (тут «горіти» просто так ні до чого). Організмам енергія потрібна для здійснення безлічі найрізноманітніших процесів. На мікрорівні енергозабезпечення необхідне для біохімічних реакцій синтезу, процесів йонного переносу, створення потенціалів. На макрорівні без витрат енергії неможливі рух (обертання джгутиків, помах крил або плавників, перестановка ніг і біг), праця, творчість, спорт, і, в цілому, розумна поведінка (остання одними тільки витратами енергії не визначається).

Високий ступінь упорядкованості біологічної системи, і, отже, низький рівень ентропії, створює сама система в процесі добре налагодженого обміну речовин з навколишнім середовищем — метаболізму (за мільйони років еволюції жива система сама собі його й організувала способом, який термодинаміка називає самоорганізацією).

Метаболізм в організмах здійснюється за рахунок енергії, що виділяється в реакціях біологічного окиснення. Окиснюються сполуки (вуглеводи їжі та інші), що надходять у систему із навколишнього середовища (здебільшого примусово). Загальний термодинамічний висновок: реакції біологічного окиснення організми використовують як засіб для зменшення «власної» ентропії (усередині системи) за рахунок збільшення «чужої» (зовні). Для практичної реалізації цього засобу в процесі еволюції організмами винайдений (і «генетично» запатентований) унікальний спосіб — енергетичне сполучення біохімічних реакцій.

Математична суть способу — це підключення реакцій з $-\Delta G$ до реакцій з $+\Delta G$ за такої умови, щоб $1 - \Delta G > 1 + \Delta G$, а саме: різниця має бути більшою за суму. Тобто, реакції з від'ємною зміною вільної енергії мають проходити в хімічному «зчепленні» з реакціями з додатною зміною вільної енергії.

Поєднавши реакцію з великою від'ємною зміною вільної енергії $-\Delta G$ (реакцію окиснення) з реакцією, що протікає з додатною зміною вільної енергії $+\Delta G$ (реакції синтезу) біологічна система здійснює хімічну роботу й синтезує спочатку проміжну (малорухому з коротким часом «життя») сполуку (робить «зчеплення»). Хімічні зв'язки цієї сполуки затримують на деякий час частину вільної енергії, що виділяється під час реакції, перешкоджають її розсіюванню — перетворенню на тепло. І вже з проміжної сполуки синтезується лабільний (тобто рухливий) і досить стійкий (а отже й з довгим часом «життя»), добре керований (ферментами) «посередник» — АТФ — аденозинтрифосфатна кислота. Вона акумулює вільну енергію «порціями» у хімічних зв'язках фосфатних залишків кислоти H_3PO_4 , їх називають макроергічними. Синтез АТФ як «посередника» виправданий: у біологічній системі неможливе пряме, без перетворень, використання енергії хімічних сполук на виконання корисної роботи.

Перші «патенти» на «макроергі» (макроергічні сполуки), напевно, варто було б видати мікробам. АТФ — одне з головних винаходів хімічної еволюції. Ця невисокомолекулярна сполука унікальна й має низку цінних якостей. За мільярди років еволюція відібрала низку сполук-«помічників», але не знайшла рівнозначної заміни АТФ (і вже не шукає — навіщо даремно час витратити?)

Обмін речовин відбувається й у неживій природі, однак цей процес значно відрізняється від обміну в живих системах. Ця відмінність зумовлена насамперед тим, що обмін речовин у біосистемах забезпечує постійне самооновлення, саморегуляцію й самовідтворення та здійснюється завдяки злагодженій дії численних структур. У результаті обміну речовин енергія в біосистемах може накопичуватися, зберігатися й використовуватися для процесів життєдіяльності. Окрім того, ознаками біологічного обміну речовин й перетворення енергії є поетапність перебігу, біокаталітичний характер і регульованість процесів внутрішньосистемного перетворення.

Завдання

1. На чому ґрунтується твердження: «Фотосинтез має значення не лише для рослин, а й для хижаків»?
2. У чому полягає хемосинтез? Бродіння? Клітинне дихання?
3. Наведіть приклади ланцюгів живлення.
4. Опишіть, як здійснюється біологічний колообіг речовин.
5. У чому полягають прояви законів збереження в живій природі?