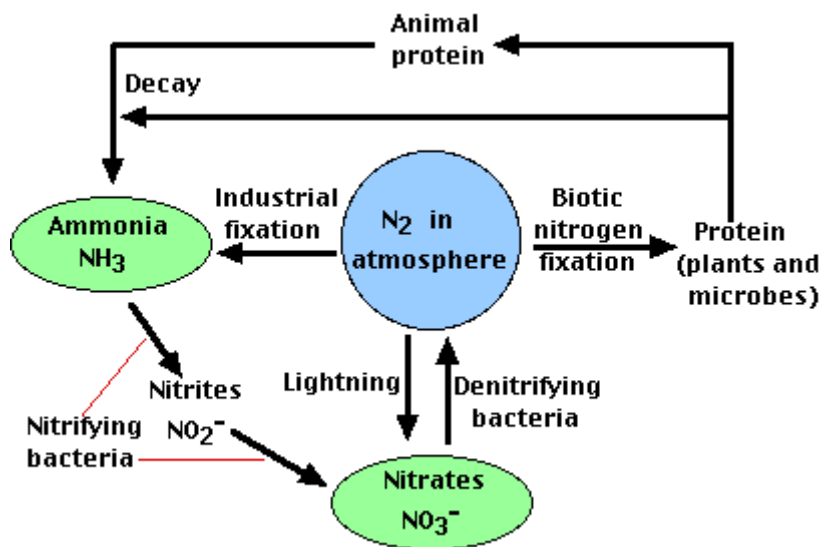


Кругообіг азоту в природі

Все життя вимагає азотних сполук, наприклад, білків і нуклеїнових кислот. Повітря, який становить 79% азоту (N_2), є основним резервуаром азоту. Але більшість організмів не можуть використовувати азот в такому вигляді. Рослини повинні забезпечувати свій азот у «фіксованому» вигляді, тобто включений в такі сполуки, як: нітратні іони (NO_3^-), іони амонію (NH_4^+) та сечовина $(NH_2)_2CO$. Тварини закріплюють свої азотні (і всі інші) сполуки від рослин (або тварин, які харчувалися рослинами).



Малюнок 17.2.2.1 Цикл азоту

У циклічному циклі азоту через біосферу беруть участь чотири процеси: (1) фіксація азоту, (2) розпад, (3) нітрифікація та (4) денітрифікація. Мікроорганізми відіграють головну роль у всіх чотирьох з них.

Фіксація азоту

Молекула азоту (N_2) досить інертна. Щоб розірвати його, щоб його атоми могли поєднуватися з іншими атомами, потрібно введення значної кількості енергії. За більшу частину фіксації азоту в біосфері відповідають три процеси:

- **фіксація атмосфери** блискавкою
- **біологічна фіксація** певними мікробами самостійно або в симбіотичному взаємозв'язку з деякими рослинами і тваринами
- **промислова фіксація**

Атмосферна фіксація

Величезна енергія блискавки розбиває молекули азоту і дозволяє їх атомам поєднуватися з киснем у повітрі, утворюючи оксиди азоту. Вони розчиняються в дощі, утворюючи нітрати, які переносяться на землю. Фіксація атмосферного азоту, ймовірно, сприяє деяким 5-8% від загального зафіксованого азоту.

Промислова фіксація

Під великим тиском, при температурі 600° С і з використанням каталізатора, атмосферний азот і водень (зазвичай отримують з природного газу або нафти) можуть бути об'єднані з утворенням аміаку (NH_3). Аміак можна використовувати безпосередньо як добриво, але більша його частина додатково переробляється до сечовини і аміачної селітри (NH_4NO_3).

Біологічна фіксація

Здатність фіксувати азот є тільки у певних бактерій і архей.

- Деякі живуть в симбіотичних стосунках з рослинами сімейства бобових (наприклад, соя, люцерна).
- Деякі встановлюють симбіотичні відносини з рослинами, відмінними від бобових (наприклад, вільхи).
- Деякі встановлюють симбіотичні відносини з тваринами, наприклад, термітами та «корабельними черв'яками» (двостулкові дерева).
- Деякі азотфіксуючі бактерії живуть вільно в ґрунті.
- Ціанобактерії, що фіксують азот, мають важливе значення для підтримки родючості напівводних середовищ, таких як рисові поля.

Біологічна азотфіксація вимагає складного набору ферментів і величезних витрат АТФ. Хоча першим стабільним продуктом процесу є аміак, він швидко включається в білок та інші органічні сполуки азоту.

Розпад

Білки, вироблені рослинами, входять і проходять через харчові мережі так само, як і вуглеводи. На кожному трофічному рівні їх метаболізм виробляє органічні сполуки азоту, які повертаються в навколишнє середовище, головним чином у виділеннях. Кінцевими бенефіціарами цих матеріалів є мікроорганізми гниття. Вони розщеплюють молекули в виділеннях і мертвих організмах на **аміак**.

нітрифікація

Аміак може бути прийнятий безпосередньо рослинами - як правило, через їх коріння. Однак велика частина аміаку, що утворюється при розпаді, перетворюється в **нітрати**. До недавнього часу вважалося, що це завжди досягається в два етапи:

1. Бактерії роду *Nitrosomonas* окислюються NH_3 до **нітритів** (NO_2^-).
2. Бактерії роду *Nitrobacter* окислюють нітрити до **нітратів** (NO_3^-).

Ці дві групи автотрофних бактерій називаються **нітрифікуючими бактеріями**. Завдяки своїй діяльності (яка постачає їх усіма енергетичними потребами) азот стає доступним до коріння рослин. Однак у 2015 році дві групи повідомили про

виявлення того, що бактерії роду *Nitrospira* змогли виконувати обидва етапи: аміак до нітриту і нітрит до нітрату. Ця здатність називається «comammox» (для повного окислення аміаку).

Крім того, як ґрунт, так і океан містять **археальні** мікроби, призначені для Кренархеоти, які перетворюють аміак в нітрити. Вони більш рясні, ніж нітрифікуючі бактерії і можуть виявитися відігравати важливу роль у циклі азоту.

Багато бобових, крім фіксації атмосферного азоту, також виконують нітрифікацію - перетворюючи частину свого органічного азоту в нітрити та нітрати. Вони досягають ґрунту, коли скидають листя.

Денітрифікація

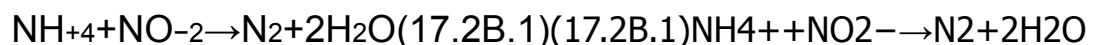
Три вищевказані процеси видаляють азот з атмосфери і пропускають його через екосистеми. Денітрифікація знижує нітрати і нітрити до газу азоту, тим самим заповнюючи атмосферу. В процесі утворюється кілька проміжних продуктів:

- оксид азоту (NO)
- закис азоту (N₂O) (парниковий газ в 300 разів потужніший, як CO₂)
- азотна кислота (HONO)

Знову ж таки, бактерії є агентами. Вони живуть глибоко в ґрунті та у водних відкладах, де умови анаеробні. Вони використовують нітрати як альтернативу кисню для кінцевого акцептора електронів у диханні.

Анаммокс (аеробні боєприпаси)

В анаеробних умовах в морських і прісноводних відкладах інші види бактерій здатні окислювати аміак (з NO⁻ до NO₂⁻) утворюючи газ азоту.



Анаммоксна реакція може становити цілих 50% денітрифікації, що відбувається в океанах. Всі ці процеси беруть участь в закритті азотного циклу.

Чи підтримують денітрифікатори?

Сільське господарство тепер може нести відповідальність за половину фіксації азоту на землі за рахунок використання добрив, вироблених промисловою фіксацією, та вирощування бобових культур, таких як соя та люцерна. Це неабиякий вплив на природний цикл. Чи підтримують денітрифікатори цикл азоту в рівновазі? Напевно, ні. Безумовно, є приклади збагачення азотом в екосистемах. Один тривожний приклад: «цвітіння» водоростей в озерах і річках як азотні добрива вимивають з ґрунту сусідніх господарств (і газонів). Накопичення розчинених поживних речовин у водоймі називається **евтрофікацією**.