

CHƯƠNG 4 CHU TRÌNH SINH ĐỊA HÓA TRONG SINH THÁI MÔI TRƯỜNG

MH 30-04

Giới thiệu:

Trong sinh quyển luôn xảy ra sự chuyển hóa vật chất và năng lượng, đó là cơ sở cho sự tồn tại và phát triển. Chu trình vận động của các chất vô cơ ở đây khác hẳn sự chuyển hóa năng lượng qua các bậc dinh dưỡng ở chỗ: Vật chất được tái sử dụng trong hệ sinh thái, còn năng lượng thì không được tái sử dụng, mà nó bị mất đi dưới dạng nhiệt. Chu trình sinh địa hóa là một trong những cơ chế cơ bản để duy trì sự cân bằng trong sinh quyển và đảm bảo cho sự cân bằng này được thường xuyên.

Mục tiêu:

- Kiến thức: Trình bày được định nghĩa và giúp sinh viên hiểu được chu trình vận động của các chất xảy ra giữa các sinh vật và môi trường bên trong phạm vi của một hệ sinh thái.
- Kỹ năng: Vận dụng được kiến thức đã học để giải thích được vòng tuần hoàn của vật chất trong tự nhiên.
- Năng lực tự chủ và trách nhiệm: Hình thành được thói quen chăm sóc cây trồng, bảo vệ môi trường và yêu thiên nhiên

1. Định nghĩa:

Chu trình sinh địa hóa (chu trình vật chất) trong hệ sinh thái là sự trao đổi liên tục của các nguyên tố hóa học giữa môi trường và quần xã sinh vật. Nhờ hoạt động quang hợp, cây xanh hấp thu CO_2 , muối khoáng và nước để tổng hợp cacbonhydrat và các chất dinh dưỡng khác. Những hợp chất này được cây xanh sử dụng làm thức ăn, cuối cùng lại được sinh vật phân giải, trả lại cho môi trường những chất ban đầu.

Chu trình sinh địa hóa là chu trình trao đổi các chất trong tự nhiên, theo đường từ môi trường ngoài truyền vào cơ thể sinh vật, qua các bậc dinh dưỡng, rồi từ cơ thể sinh vật truyền trở lại môi trường. Hay đó còn là chu trình vận động của các chất vô cơ trong hệ sinh thái theo đường từ ngoại cảnh chuyển vào cơ thể sinh vật, rồi từ cơ thể sinh vật chuyển trở lại ngoại cảnh. Chu trình sinh địa hóa duy trì sự cân bằng vật chất trong sinh quyển.

Trong số hơn 100 nguyên tố hóa học có trong tự nhiên, cơ thể sinh vật cần rất nhiều các nguyên tố. Trong đó có những nguyên tố cần thiết cho cơ thể với số lượng lớn và gọi là nguyên tố đa lượng, như: C, H, O, N, S, P, ...

Còn một số nguyên tố khác, cơ thể đòi hỏi một lượng nhỏ và gọi là các nguyên tố vi lượng, như Bo, Mo, Cu, Zn,... Ngoài ra còn có các chất độc do con người tạo ra, như thuốc trừ sâu, trừ cỏ, ...gây độc và ô nhiễm môi trường hoặc còn nhiều

nguyên tố khác mà ta còn chưa biết ý nghĩa sinh học của chúng, cũng tham gia vào chu trình.

Phân loại chu trình sinh địa hóa, các chu trình sinh địa hóa rất đa dạng, nhưng được gộp lại thành hai nhóm: Chu trình các chất khí và chu trình các chất lắng đọng.

+ Chu trình các chất khí: các chất tham gia vào chu trình này có nguồn dự trữ trong khí quyển hay thủy quyển, sau khi đi qua quần xã sinh vật, ít bị thất thoát, phần lớn được hoàn lại cho chu trình. Chu trình các chất khí là chu trình của những nguyên tố như cacbon, ni tơ, nước. Ở dạng khí, chúng chiếm ưu thế trong chu trình, mặt khác, từ cơ thể sinh vật chúng trở lại môi trường tương đối nhanh.

+ Chu trình các chất lắng đọng (trầm tích): các chất tham gia vào chu trình này có nguồn dự trữ từ vỏ trái đất và sau khi đi qua quần xã, phần lớn chúng tách khỏi chu trình, đi vào các chất lắng đọng, gây thất thoát nhiều hơn.

Chu trình các chất lắng đọng là chu trình của những nguyên tố photpho, lưu huỳnh. Những chất này trong quá trình vận chuyển có đọng lại một phần nhỏ ở một khâu nào đó của hệ sinh thái. Chúng có nguồn dự trữ nằm trong vỏ Trái đất, điển hình là chu trình lân (photpho). Tuy bị lắng đọng, nhưng chúng lại có thể vận chuyển được dưới tác động của những hiện tượng xảy ra trong tự nhiên (do sự xói mòn, rửa trôi) hay của con người (khai khoáng, đào mỏ, đãi hóa chất...).

Một số chu trình sinh địa hóa của những nguyên tố chính, gồm: Chu trình nước; Chu trình cacbon; Chu trình ni tơ; Chu trình photpho.

2. Một số chu trình sinh địa hóa:

2.1. Chu trình carbon:

Cacbon là một trong những nguyên tố quan trọng tham gia vào cấu trúc của cơ thể, chiếm đến 49% trọng lượng khô. Cacbon tồn tại trong sinh quyển dưới các dạng chất vô cơ, hữu cơ và trong cơ thể sinh vật

Cacbon tham gia vào chu trình ở dạng khí cacbon dioxit (CO_2) có trong khí quyển. Trong khí quyển hàm lượng CO_2 rất thấp, chỉ khoảng 0,03%, nhưng các dạng dự trữ cacbon rất phong phú và đa dạng (đó là than đá, dầu mỏ, khí đốt, CaCO_3). Có thể mô tả quá trình tham gia của cacbon dưới dạng CO_2 vào và ra khỏi hệ sinh thái như sau: (đối với môi trường trên cạn).

Thực vật hấp thụ CO_2 trong quá trình quang hợp và chuyển hoá thành những chất hữu cơ (đường, lipid, protein...) trong sinh vật sản xuất (thực vật), các hợp chất này là thức ăn cho sinh vật tiêu thụ các cấp (C_1 , C_2 , C_3 ,...), cuối cùng xác bã thực vật, sản phẩm bài tiết của sinh vật tiêu thụ và xác của chúng được sinh vật phân huỷ (nấm, vi khuẩn) qua quá trình phân huỷ và khoáng hoá, tạo thành các dạng C bán phân giải, các hợp chất trung gian và C trong chất hữu cơ không đậm và cuối cùng thành CO_2 (và H_2O), CO_2 lại đi vào khí quyển rồi lại được thực vật sử dụng. Qua đây, chúng ta nhận thấy rằng ở trong môi trường, C là chất vô cơ nhưng khi được quần xã sinh vật sử

dụng thì đã được biến đổi thành C hữu cơ (tham gia cấu tạo nên các chất hữu cơ khác nhau của cơ thể sinh vật). Trong quá trình vận động, cacbon ở nhóm sinh vật sản xuất, các chất hữu cơ tổng hợp được, chỉ một phần được sử dụng làm thức ăn cho sinh vật tiêu thụ còn phần lớn tích tụ ở dạng sinh khối thực vật (như rừng, thảm mục rừng...).

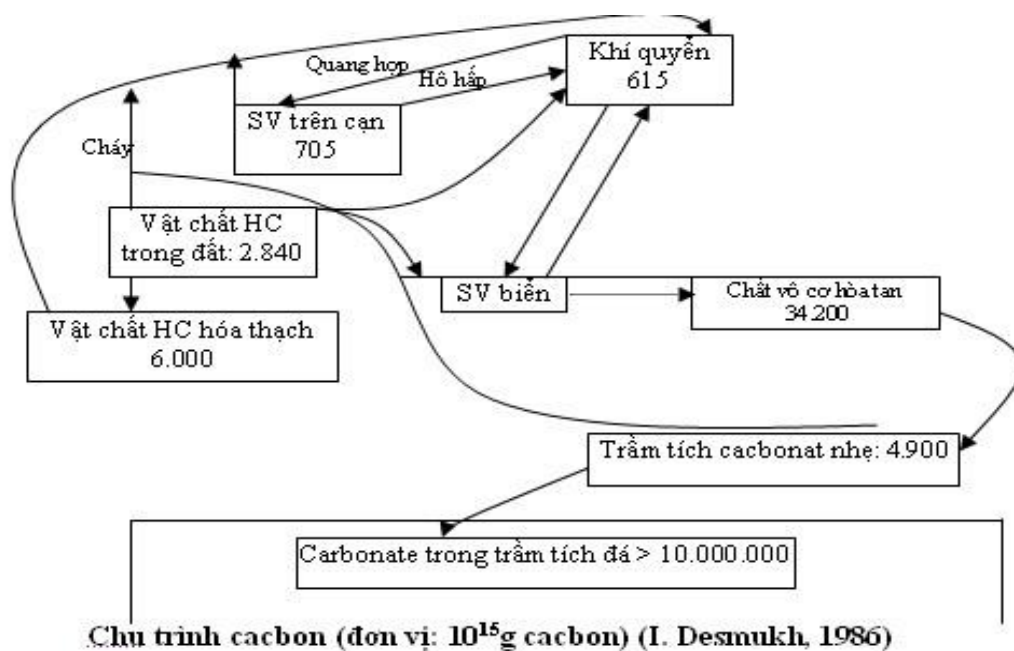
Bảng 4.1: Cacbon trong sinh quyển (tỷ tấn) (Bolin et al, 1979)

Khí quyển	692
Nước đại dương	35.000
Trong trầm tích	> 10.000.000
	3.432 (đang sống 592 và chết
Cơ thể sinh vật	2840)
Nhiên liệu hoá thạch	5.000
+ Tổng cacbon hữu cơ	8.432
+ Tổng cacbon vô cơ	10.035.692

Trong quá trình hoạt động sống, các thành phần của quần xã sinh vật sẽ trả lại cacbon dưới dạng CO₂ cho khí quyển thông qua quá trình hô hấp, sự cháy rừng và thảm mục rừng cũng trả lại cacbon cho khí quyển.

Ở môi trường nước, C ở dạng hoà tan như cacbonat (CO₃²⁻) và bicacbonat (HCO₃⁻) là nguồn dinh dưỡng C cho các sinh vật thuỷ sinh. C ở môi trường nước sẽ chu chuyển qua chuỗi thức ăn trong thuỷ vực, bắt đầu từ thực vật thuỷ sinh đến động vật thuỷ sinh cỡ nhỏ (giáp xác) rồi đến động vật thuỷ sinh cỡ lớn (cá, tôm, cua...). Nhờ hoạt động nghề cá, 1 lượng lớn C sẽ được trả lại cho khí quyển, bên cạnh đó trong chuỗi thức ăn tự nhiên, các loài chim (ăn cá, tôm...) cũng phần nào đóng góp vào việc giải phóng C vào khí quyển. Trong chu trình C ở môi trường nước, C bị lắng đọng do xác động vật thuỷ sinh có Ca chết tạo nên CaCO₃ (đá vôi) làm chu trình bị gián đoạn. Các trầm tích này khi được con người khai thác thì C trở về chu trình.

Trong khí quyển, cacbon luân chuyển nhanh hơn, khoảng 0,1 năm đối với Cacbon monooxyt (CO), 3,6 năm đối với Metan (CH₄) và 4 năm đối với Cacbon dioxyt (CO₂). Tuy vậy trong chu trình C, vẫn có những giai đoạn C bị giữ lại một thời gian rất dài (người ta gọi đó là các chu trình phụ không kín).



Hình 4.1: Chu trình carbon

2.2. Chu trình nitơ:

Nitơ là một nguyên tố có nguồn dự trữ khá giàu trong khí quyển, chiếm gần 80% thể tích, gấp gần 4 lần thể tích khí oxy. Nitơ là thành phần quan trọng cấu thành nguyên sinh chất tế bào, là cấu trúc của protein... Nitơ phân tử (Nitơ tự do - N_2) có nhiều trong khí quyển, nhưng chúng không có hoạt tính sinh học đối với phần lớn các loài sinh vật, chỉ một số rất ít các loài sinh vật có khả năng đồng hoá được nitơ ở dạng này. Các loài thực vật có thể sử dụng được nitơ ở dạng muối như nitrat - đạm dễ tiêu (NO_3^-) hoặc ở dạng ion amon (NH_4^+), NO_2

Chu trình nitơ về cơ bản cũng tương tự như các chu trình khí khác, được sinh vật sản xuất hấp thụ và đồng hoá rồi được chuyển qua các nhóm sinh vật tiêu thụ, cuối cùng bị sinh vật phân huỷ trả lại nitơ phân tử cho môi trường. Tuy nhiên quá trình này diễn ra phức tạp hơn nhiều, tuy vậy chu trình nitơ là chu trình xảy ra nhanh và liên tục. Do tính chất phức tạp của chu trình bao gồm nhiều công đoạn theo từng bước: sự cố định đạm, sự amôn hoá, nitrit hoá, nitrat hoá và phân nitrat.

+ Sự cố định đạm (Nitrogen fixation)

Cố định đạm trước hết đòi hỏi sự hoạt hoá phân tử nitơ để tách nó thành 2 nguyên tử (2N), trong cố định nitơ sinh học thì đó là bước đòi hỏi năng lượng là 160 Cal/mol. Khi kết hợp nitơ với hydro tạo thành amoniac (NH_3). Tất cả các sinh vật cố định nitơ đều cần năng lượng từ bên ngoài, mà các hợp chất cacbon đóng vai trò đó để thực hiện những phản ứng nội nhiệt (Endothermic). Trong quá trình cố định đạm, vai trò điều hoà chính là 2 loại enzym: nitrogenase và hydrogenase; chúng đòi hỏi nguồn năng lượng rất thấp.

Trong tự nhiên, cố định đạm xảy ra bằng con đường hoá - lý và sinh học, trong đó con đường sinh học có ý nghĩa nhất và cung cấp 1 khối lượng lớn đạm dễ tiêu cho

môi trường đất. Sự cố định đạm bằng điện hoá và quang hoá trung bình hàng năm tạo ra 7,6 triệu tấn (4-10kg/ha/năm), còn bằng con đường sinh học khoảng 54 triệu tấn .

Những sinh vật có khả năng cố định đạm là vi khuẩn và tảo. Chúng gồm 2 nhóm chính: Nhóm sống cộng sinh (phần lớn là vi khuẩn, một số ít tảo và nấm) và nhóm sống tự do (chủ yếu là vi khuẩn và tảo).

Ngoài những vi khuẩn cố định đạm cần năng lượng lấy từ nguồn cacbon bên ngoài, còn có loài vi khuẩn tía (*Rhodopseudomonas capsulata*) có thể sinh sống bằng nitơ phân tử trong điều kiện kỵ khí mà ánh sáng được sử dụng như một nguồn năng lượng (Madigan và nnk, 1979).

Những vi khuẩn có khả năng cố định nitơ gồm các loài của chi *Rhizobium* sống cộng sinh với các cây họ Đậu để tạo nên các nốt sần ở rễ, cố định được một lượng lớn nitơ. Ví dụ, cỏ 3 lá (*Trifolium* sp.) và đậu chàm (*Medicago* sp.) cố định được 150 - 400kg/ha/năm. Đến nay, người ta đã biết được xạ khuẩn sống cộng sinh trong rễ của 160 loài cây thuộc 8 chi của 8 họ thực vật khác nhau. Ngoài các loài của chi *Alnus*, các loài khác đều thuộc các chi *Ceanothus*, *Comptonia*, *Eleagnus*, *Myrica*, *Casuarina*, *Coriaria*, *Araucaria* và *Ginkgo* (Torrey, 1978) và chúng sống tập trung ở vùng ôn đới.

Trong môi trường nước, vi sinh vật cố định nitơ khá phong phú. Ở đây thường gặp những loài vi khuẩn kỵ khí thuộc các chi *Clostridium*, *Methano*, *Bacterium*, *Methanococcus*, *Desulfovibrio* và một số vi sinh vật quang hợp khác. Ở những nơi thoáng khí thường gặp các đại diện của *Azotobacteriaceae* (như *Azotobacter*) và các loài tảo lam (vi khuẩn lam *Cyanobacteria*) thuộc các chi *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Nostoc*,

Microcystis, *Nodularia*, *Gloeocapsa* ... Để hoạt hoá nitơ, những sinh vật tự dưỡng sử dụng năng lượng của quá trình quang hoá hoặc hoá tổng hợp, còn các vi sinh vật dị dưỡng sử dụng năng lượng chứa trong các hợp chất hữu cơ có sẵn trong môi trường.

Quá trình amon hoá (Ammonification) hay khoáng hoá (Mineralization).

Sau khi gắn kết hợp chất nitơ vô cơ (NO_3^-) thành dạng hữu cơ (thường là nhóm amin- NH_2) thông qua sự tổng hợp protein và acid nucleic thì phần lớn chúng lại quay trở về chu trình như các chất thải của quá trình trao đổi chất (urê, acid uric...) hoặc chất sống (protoplasma) trong cơ thể chết. Rất nhiều vi khuẩn dị dưỡng, *Actinomycetes* và nấm trong đất, trong nước lại sử dụng các hợp chất hữu cơ giàu đạm, cuối cùng chúng thải ra môi trường các dạng nitơ vô cơ (NO_2^- , NO_3^- và NH_3). Quá trình đó được gọi là amôn hoá hay khoáng hoá. Quá trình này là các phản ứng giải phóng năng lượng hay phản ứng ngoại nhiệt.

Quá trình nitrat hoá (Nitrification)

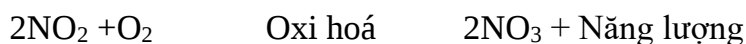
Quá trình biến đổi của NH_3 , NH_4^+ thành NO_2^- , NO_3^- được gọi là quá trình nitrit hoá và nitrat hoá hay gọi chung là quá trình nitrat hoá. Quá trình này phụ thuộc vào

pH của môi trường và xảy ra chậm chạp, Trong điều kiện pH thấp, tuy không phải tất cả, quá trình nitrat trải qua hai bước:

Bước đầu: Biến đổi amôn hay amoniac thành nitrit

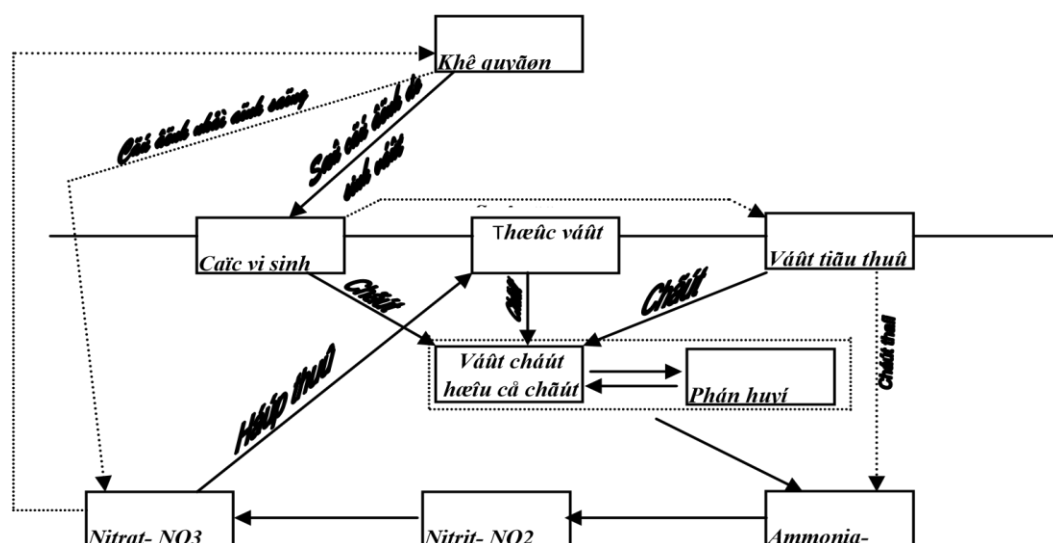


Tiếp theo: Biến đổi nitrit thành nitrat



Bảng 4.2: Nito trong sinh quyển (triệu tấn) (Delwiche, 1970)

+ Khí quyển:	3.800.000
Chất hữu cơ	772
Trong cơ thể	12
Không sống	760
Nito vô cơ của đất	140
Trong vỏ trái đất	
+ Hoà tan trong đại dương:	14.000.000
Dạng hữu cơ:	20.000
Trong cơ thể	901
Không sống	1
Nito vô cơ (trong nước)	900
Trong trầm tích	100
Tổng nito hữu cơ:	4.000.000
Tổng nito vô cơ:	21.820.240



Hình 4.2 Chu trình Ni-tơ (I. Deshmukh, 1986)

Những đại diện của chủng vi sinh vật *Nitrosomonas* có thể biến đổi amoniac thành nitrit, một chất độc thậm chí với hàm lượng rất nhỏ. Những vi sinh vật khác như *Nitrobacter* lại dinh dưỡng bằng nitrit, tiếp tục biến đổi nó thành nitrat. Những vi sinh vật nitrit hoá đều là những sinh vật tự dưỡng hoá tổng hợp, lấy năng lượng từ quá trình oxy hoá. Chẳng hạn, *Nitrosomonas* khi chuyển hóa amoniac thành NO_2^- sinh ra năng lượng 65 Cal/mol, còn *Nitrobacter* tạo ra năng lượng 17 Cal/mol. Chúng sử dụng một phần năng lượng này để kiếm nguồn cacbon từ việc khử CO_2 hay HCO_3^- . Như vậy, khi thực hiện điều này để tự tăng trưởng, chúng đã sản sinh ra một lượng đáng kể nitrit hoặc nitrat cho môi trường.

Nitrat (cũng như nitrit) dễ dàng lọc khỏi đất, đặc biệt trong đất chua. Nếu không được thực vật đồng hoá, chúng có thể thoát ra khỏi hệ sinh thái này để đến hệ sinh thái khác qua sự chu chuyển của nước ngầm.

Quá trình phản nitrat hoá (Denitrification)

Do quá trình phản nitrat đến nitrơ phân tử chỉ xảy ra trong điều kiện kỵ khí hay kỵ khí một phần, nên quá trình này thường gặp trong đất yếm khí và trong đáy sâu của các hồ, các biển...không có oxy hoặc giàu các chất hữu cơ đang bị phân huỷ.

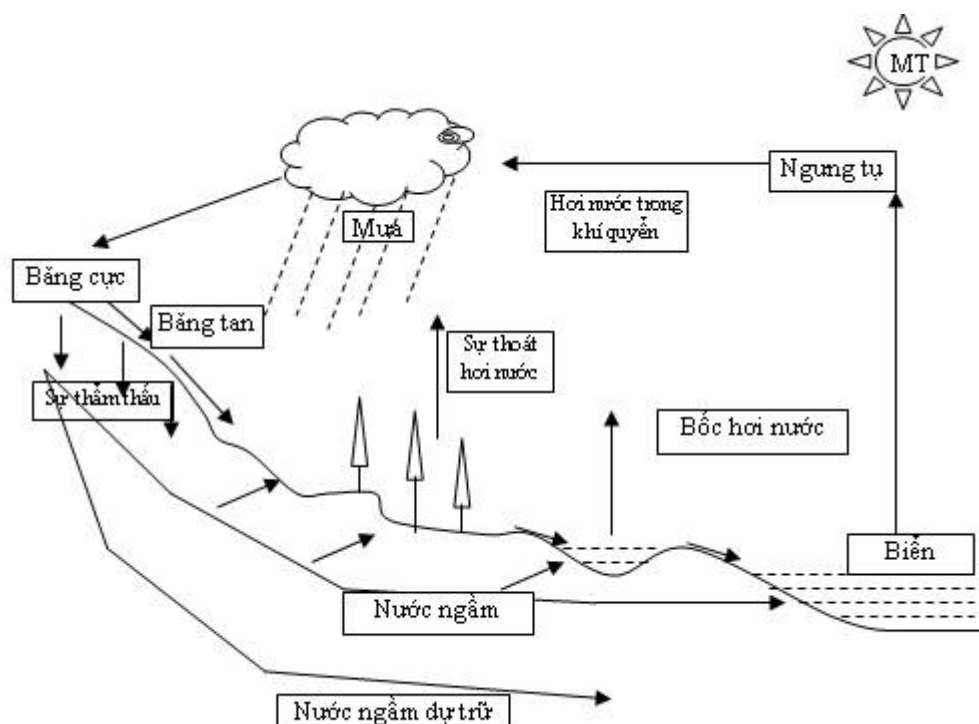
Nhờ chu trình này mà nitrơ phân bố dưới nhiều dạng và nhiều khu vực khác nhau trên trái đất.

2.3. Chu trình nước:

Nước trên hành tinh tồn tại dưới 3 dạng: rắn, lỏng và hơi với thể tích khoảng 1,39 tỷ km³. Chúng chuyển dạng cho nhau nhờ sự thay đổi của nhiệt độ trên bề mặt trái đất. Trong điều kiện hiện tại, nước chủ yếu chứa trong các biển và đại dương (chiếm 97,6% tổng số) dưới dạng lỏng, khoảng 2,08% nước nằm ở thể rắn (băng), tập trung chính ở 2 cực Trái Đất. Nước sông, hồ rất ít, chỉ khoảng 230 nghìn km³ (gồm cả hồ nước mặn), một ít (khoảng 67000 km³) tạo nên độ ẩm của đất, khoảng 4 triệu km³ nước ngầm có khả năng trao đổi tích cực và 14000 km³ dưới dạng hơi nước có mặt trong khí quyển. Chu trình nước có thể được mô tả như sau:

Nhờ năng lượng Mặt trời, nước ở bề mặt đất, đại dương bốc hơi. Khi lên cao, nhiệt độ tăng đối lưu giảm, nước tạo thành mây và ngưng tụ thành mưa, thành tuyết rơi xuống bề mặt trái đất, rồi lại theo các dòng chảy về đại dương. Do vậy, nước tuần hoàn trên toàn Trái Đất.

Từ chu trình này chúng ta thấy rằng chỉ có năng lượng bức xạ không lò của Mặt Trời mới làm nên những kỳ tích như vậy. Nước theo chu trình, song phân bố không đồng đều trên hành tinh (theo không gian và thời gian). Chu trình nước xảy ra trên phạm vi toàn cầu, tham gia vào việc điều hoà khí hậu trên toàn hành tinh. Chu trình này do đó còn có tên gọi là chu trình nhiệt - ẩm

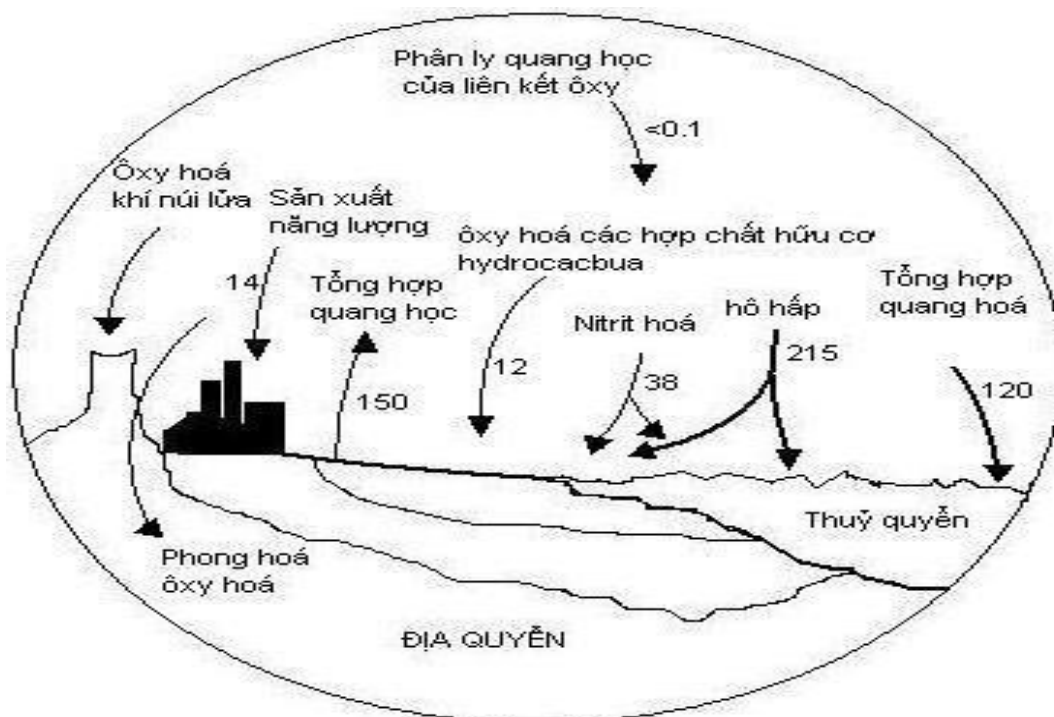


Hình 4.3: Chu trình nước trong tự nhiên

2.4. Chu trình oxygen:

Khái niệm: Ôxy là nguyên tố phổ biến của vỏ trái đất(47%), hàm lượng trong khí quyển tương đối lớn(21%). Ôxy tham gia các phản ứng hình thành và phát triển tế bào động thực vật cùng các phản ứng với H_2O, CO_2 , đặc biệt là phản ứng hiệu khí.

Phân bố (đv: Mt)

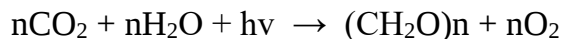


Hình 4.4: Chu trình oxy

Quá trình tạo ra oxy:

Oxy được sinh ra từ nguồn quan trọng nhất là quá trình quang hợp của cây xanh, chúng sản xuất ra 4,67.10¹¹ tấn/năm

Trong tự nhiên, oxy còn được tạo ra nhờ phản ứng: $O_3 + h\nu \rightarrow O + O_2$

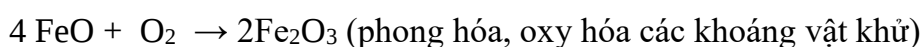
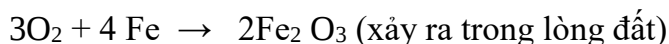
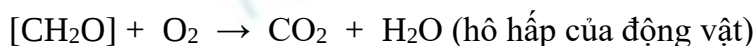
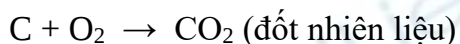


Tổng oxy tạo ra nhờ phản ứng quang hóa và các phản ứng khác chỉ là 2,28.10⁶ tấn/năm.

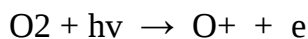
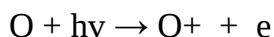
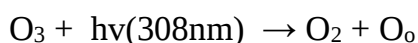
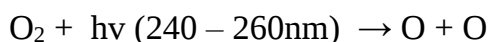
Quá trình tiêu hủy oxy

Oxy tạo ra 1364 khoáng vật, tồn tại ở nhiều dạng hợp chất khác nhau.

Oxy tham gia vào các phản ứng đốt, oxy hóa các chất hữu cơ, vô cơ, hô hấp của động vật và một số quá trình ăn mòn khác



Trên tầng khí quyển cao oxy tồn tại ở các dạng phân tử, nguyên tử, ion, các nguyên tử và phân tử được hoạt hóa như O_2 , O , O^+ , O^{2+} , O^{2-} , O_3



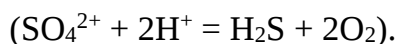
2.5. Chu trình lưu huỳnh (S):

Lưu huỳnh, một nguyên tố giàu thứ 14 trong vỏ Trái Đất, là thành phần rất quan trọng trong cấu trúc sinh học như các axit amin, cystein, metionin và chu trình của nó đóng vai trò thiết yếu trong việc điều hòa các muối dinh dưỡng khác như oxy, photpho... Trung tâm của chu trình lưu huỳnh có liên quan với sự thu hồi sunphat (SO_4^{2-}) của sinh vật sản xuất qua rễ của chúng và sự giải phóng và biến đổi của lưu huỳnh ở nhiều công đoạn khác nhau, cũng như những biến đổi dạng của nó, bao gồm sunphua hydryl (-SH), sunphua hydro (H_2S), thiosunphat (SO_3^{2-}) và lưu huỳnh nguyên tố. Tương tự như chu trình nitơ, chu trình lưu huỳnh rất phức tạp, song lại khác với chu trình nitơ ở chỗ nó không lắng đọng vào những bước "đóng gói" riêng biệt như sự cố định đạm, amon hóa...

+ Sự đồng hóa và giải phóng lưu huỳnh bởi thực vật

Lưu huỳnh đi vào xích dinh dưỡng của thực vật trên cạn qua sự hấp thụ của rễ dưới dạng sunphat (CaSO_4 , Na_2SO_4) hoặc sự đồng hóa trực tiếp các axit amin được giải phóng do sự phân hủy của xác chết hay các chất bài tiết.

Trong điều kiện yếm khí, axit sunphuric (H_2SO_4) có thể trực tiếp bị khử cho sunphit, bao gồm hydrosunphit do các vi khuẩn *Escherichia* và *Proteus*



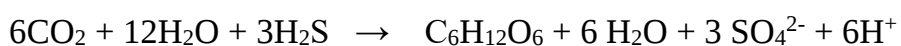
Sunphat cũng bị khử trong điều kiện kỵ khí để cho lưu huỳnh nguyên tố hay sunphit, bao gồm hydrosunphit, do các vi khuẩn dị dưỡng như *Desulfovibrio*, *Escherichia* và *Aerobacter*. Những vi khuẩn khử sunphat yếm khí là những loài dị dưỡng, sử dụng sunphat như chất nhận hydro trong oxy hóa trao đổi chất, tương tự như vi khuẩn phản nitrat sử dụng nitrit hay nitrat.

Sự có mặt số lượng lớn của hydro sunphit ở tầng sâu kỵ khí trong phần lớn các hệ sinh thái ở nước là thù địch của hầu hết sự sống. Chẳng hạn, ở biển Đen do giàu sunphat, vi khuẩn *Desulfovibrio* trong quá trình phân hủy đã sinh ra một khối lượng lớn H_2S tồn tại rất lâu ở đáy, cản trở không cho bất kỳ một loài động vật nào có thể sống ở đây, kể cả trong tầng nước dưới độ sâu 200m.

Sự tồn tại của các loài vi khuẩn khử sunphat như *Methanococcus thermolithotrophicus* và *Methanobacterium thermautotrophium* ở nhiệt độ rất cao ($70 - 100^\circ\text{C}$). Có thể giải thích được quá trình hình thành H_2S trong các vùng đáy biển sâu (Hydrothermal), các giếng dầu... (Stetter và nnk., 1987). Ở trạng thái cân bằng thì chất độc của loài này đe dọa loài khác, hoạt động của loài này chống lại hoạt động của loài kia, hoặc hỗ trợ cho nhau. Những vi khuẩn lưu huỳnh là một bằng chứng. Vi khuẩn lưu huỳnh không màu như các loài của *Beggiatoa* oxy hóa hydrosunphit đến lưu huỳnh nguyên tố, các đại diện của *Thiobacillus*, loài thì oxy hóa lưu huỳnh nguyên tố đến sunphat, loài thì oxy hóa sunphit đến lưu huỳnh. Ngay đối với một số loài trong một giống, quá trình oxy hóa chỉ có thể xuất hiện khi có mặt oxy, còn đối với loài khác khả năng kiếm oxy cho sự oxy hóa lại không thích hợp vì chúng là vi khuẩn tự dưỡng hóa tổng hợp, sử dụng năng lượng được giải phóng trong quá trình oxy hóa để khai thác cacbon bằng một phản ứng khử cacbon dioxit.



Các vi khuẩn màu xanh rõ ràng có thể oxy hóa sunphit chỉ đến lưu huỳnh nguyên tố, trong khi đó, vi khuẩn màu đỏ có thể thực hiện oxy hóa đến giai đoạn sunphat:



Lưu huỳnh trong khí quyển

Lưu huỳnh trong khí quyển được cung cấp từ nhiều nguồn: sự phân hủy hay đốt cháy các chất hữu cơ, đốt cháy nhiên liệu hóa thạch và sự khuếch tán từ bề mặt đại