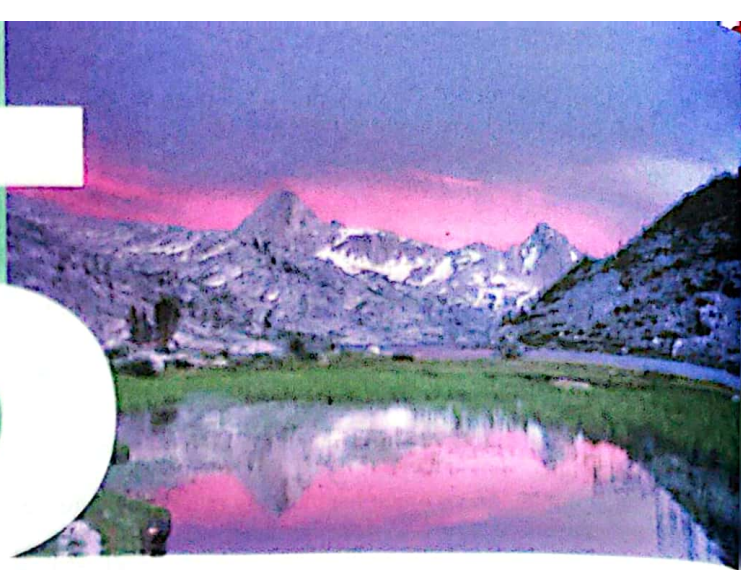


Hệ sinh thái



▲ Hình 55.1 Điều gì làm cho hệ sinh thái này sôi động?

CÁC KHÁI NIỆM THEN CHỐT

- 55.1 Các định luật vật lý chi phối dòng năng lượng và chu trình hoá học trong các hệ sinh thái
- 55.2 Năng lượng và các nhân tố giới hạn khác kiểm soát sản lượng sơ cấp của các hệ sinh thái
- 55.3 Năng lượng truyền qua các bậc dinh dưỡng thường chỉ đạt hiệu quả 10%
- 55.4 Các quá trình sinh học và địa hoá học quay vòng các chất dinh dưỡng giữa các thành phần vô cơ và hữu cơ của hệ sinh thái
- 55.5 Hoạt động của con người hiện nay đang chi phối hầu hết các chu trình hoá học trên Trái Đất

TỔNG QUAN

Quan sát các hệ sinh thái

Bạn đang ngồi ở ven hồ trên núi và quan sát những tia nắng cuối cùng phản chiếu trên mặt hồ (Hình 55.1). Trong khi đang tận hưởng cảnh yên bình đó, bạn bắt đầu nhận ra rằng hồ nước thật sống động hơn bạn tưởng. Những con cá nhỏ lấp ló trên mặt nước. Dòng nước chảy vào hồ đem lại chất dinh dưỡng khoáng và chất hữu cơ. Làn gió nhẹ mang theo hương thơm của hồ được tạo ra bởi các vi sinh vật và sự hoạt động của các vi sinh vật có ảnh hưởng tới thành phần khí quyển của Trái Đất. Không phải đơn giản chỉ có nước, hồ là một hệ sinh thái, trong đó tất cả các sinh vật sống trong hồ và các nhân tố vô sinh luôn tương tác lẫn nhau.

Một hệ sinh thái có thể có là một vùng rộng lớn, như một cánh rừng, hoặc một thế giới vi mô như một khoảng không nhỏ bé dưới một khúc gỗ hay một cái hồ nhỏ (Hình 55.2). Với các quần thể và quần xã, ranh giới của hệ sinh thái đôi khi không rõ ràng. Nhiều nhà sinh thái học cho rằng sinh quyển hiện tại có thể được coi là một hệ sinh thái toàn cầu, là tổng hợp của tất cả các hệ sinh thái trên Trái Đất.

Bất luận kích thước của một hệ sinh thái như thế nào, động học của nó bao gồm hai quá trình mà không thể mô tả đầy đủ bằng các hiện tượng quần xã hay quần thể: dòng

năng lượng và chu trình hoá học. Năng lượng đi vào hầu hết các hệ sinh thái là nguồn ánh sáng mặt trời. Chúng được chuyển sang dạng năng lượng hoá học thông qua các sinh vật tự dưỡng, qua các sinh vật dị dưỡng tích tụ trong thành phần thức ăn hữu cơ, và tiêu hao dưới dạng nhiệt. Các nguyên tố hoá học như carbon và nitrogen, luân chuyển theo vòng tuần hoàn giữa các thành phần vô sinh và hữu sinh của hệ sinh thái. Các sinh vật có khả năng quang hợp đồng hoá các nguyên tố này dưới dạng nguyên tố vô cơ từ không khí, đất và nước và tổng hợp nên sinh khối, một số lượng sinh khối là thức ăn của động vật. Các nguyên tố vô cơ quay trở lại môi trường qua quá trình trao đổi chất ở thực vật, động vật và nhiều sinh vật khác, như vi khuẩn và nấm phân giải các chất thải hữu cơ và xác sinh vật.

Cả năng lượng và vật chất được truyền trong hệ sinh thái qua hoạt động quang hợp và các quan hệ dinh dưỡng. Tuy nhiên, không giống như vật chất, năng lượng không được tái sinh, do vậy hệ sinh thái phải luôn được cung cấp năng lượng từ bên ngoài vào - và hầu hết trường hợp là từ mặt trời. Năng lượng mặt trời truyền qua hệ sinh thái, trong khi vật chất lại quay vòng bên trong và xuyên suốt hệ sinh thái.

Tài nguyên rất cần thiết cho con người tồn tại và phát triển, bao gồm thực phẩm để ăn, oxygen để thở, là các sản



▲ Hình 55.2 Vũng nước trong một chiếc hang. Hệ sinh thái nhỏ này là nơi sống của một quần xã phức tạp gồm nhiều vi sinh vật.

phẩm của các quá trình của hệ sinh thái. Trong chương này chúng ta sẽ khám phá động học của dòng năng lượng và chu trình hoá học, nhấn mạnh tới kết quả của các thí nghiệm về sinh thái học. Có một cách để nghiên cứu các quá trình sinh thái là làm thay đổi các yếu tố của môi trường, ví dụ như nhiệt độ và hàm lượng các chất dinh dưỡng, và nghiên cứu hệ sinh thái có đáp ứng với những thay đổi đó như thế nào. Chúng ta sẽ cũng xem xét một số tác động do hoạt động của con người tới dòng năng lượng và chu trình hoá học. Những tác động này không chỉ với các hệ sinh thái gần gũi như thành phố, nông trường mà còn ở các hệ sinh thái xa xôi khác của Trái Đất.

KHÁI NIỆM

55.1

Các định luật vật lý chi phối dòng năng lượng và chu trình hoá học trong các hệ sinh thái

Trong Phần 2, chúng ta đã thấy các tế bào chuyển hoá vật chất và truyền năng lượng tuân theo quy luật nhiệt động học như thế nào. Giống như các nhà sinh học khác, các nhà sinh thái học nghiên cứu sự chuyển đổi năng lượng và chuyển hoá vật chất trong hệ thống và đo đạc số lượng của cả vật chất và năng lượng truyền qua ranh giới của hệ thống. Bằng cách chia nhóm sinh vật theo bậc dinh dưỡng trong quan hệ dinh dưỡng (xem Chương 54), chúng ta có thể theo dõi sự chuyển đổi năng lượng trong hệ sinh thái và lập bản đồ những bước đi chuyển của các nguyên tố hoá học.

Bảo toàn năng lượng

Vì các nhà sinh thái học nghiên cứu sự tương tác giữa các sinh vật với môi trường vật lý nên nhiều cách tiếp cận dựa trên các định luật đã được khẳng định của vật lý và hoá học. Định luật một của nhiệt động học mà bạn đã nghiên cứu trong Chương 8, cho rằng năng lượng không tự nhiên sinh ra và cũng không tự nhiên mất đi mà chỉ truyền từ nơi này sang nơi kia hoặc chuyển đổi từ dạng này sang dạng khác. Do vậy, chúng ta có thể tính toán việc truyền năng lượng qua hệ sinh thái từ năng lượng đầu vào là bức xạ mặt trời tới năng lượng giải thoát dưới dạng nhiệt của sinh vật. Thực vật và các sinh vật quang hợp khác biến đổi năng lượng mặt trời thành năng lượng hoá học, nhưng tổng số năng lượng là không đổi: Tổng năng lượng tích lũy trong các phân tử hữu cơ cộng với năng lượng phản xạ và tỏa nhiệt phải cân bằng với tổng năng lượng mà sinh vật quang hợp nhận từ Mặt Trời. Một lĩnh vực quan trọng nữa của sinh thái học hệ sinh thái là tính toán quỹ năng lượng và theo dõi dòng năng lượng truyền qua hệ sinh thái để hiểu hơn về ảnh hưởng của các yếu tố điều chỉnh dòng năng lượng. Các tính toán này giúp chúng ta xác định cần có bao nhiêu sinh vật trong môi trường, và lượng thức ăn mà con người có thể thu hoạch từ một địa điểm.

Một nội dung nữa trong định luật thứ hai của nhiệt động học, định luật này phát biểu rằng bất kỳ sự chuyển đổi năng lượng nào cũng đều làm gia tăng entropy của vũ trụ, là chuyển đổi năng lượng không hoàn toàn có hiệu quả do luôn có một phần năng lượng mất qua tỏa nhiệt (xem Chương 8). Ý tưởng này cho thấy chúng ta có thể đo hiệu quả chuyển đổi năng lượng sinh thái giống như cách chúng ta đo năng lượng của một bóng đèn hay của

động cơ ô tô. Dòng năng lượng qua hệ sinh thái cuối cùng chuyển vào không gian dưới dạng nhiệt, do vậy nếu Trái Đất không liên tục nhận được nguồn năng lượng từ mặt trời thì tất cả các hệ sinh thái sẽ bị triệt tiêu.

Bảo toàn khối lượng

Vật chất, giống như năng lượng, không thể được tạo ra hoặc bị phá hủy. Định luật bảo toàn khối lượng rất quan trọng đối với các nhà sinh thái học hệ sinh thái, giống như định luật nhiệt động học. Do khối lượng được bảo toàn nên chúng ta có thể xác định được một lượng lớn đến mức nào của một nguyên tố hoá học quay vòng trong hệ sinh thái hoặc được thêm hay mất đi trong hệ sinh thái theo thời gian.

Không giống năng lượng, các nguyên tố hoá học quay vòng liên tục trong hệ sinh thái. Nguyên tử carbon trong CO_2 thoát ra từ đất do hoạt động của sinh vật phân giải chất hữu cơ, được cây cỏ hấp thụ qua quang hợp, có lại được bò bison và các sinh vật khác ăn, và carbon trở lại đất qua phân của bò bison và chất thải của các động vật khác. Đo đạc và phân tích chu trình hoá học như vậy trong hệ sinh thái và trong toàn bộ sinh quyển là hướng nghiên cứu quan trọng của sinh thái học hệ sinh thái.

Mặc dù các nguyên tố hoá học không bị mất đi trên phạm vi toàn cầu, nhưng chúng di chuyển từ hệ sinh thái này sang hệ sinh thái khác như là nguồn vật chất đầu vào và đầu ra của hệ sinh thái. Ví dụ, trong hệ sinh thái rừng, hầu hết các nguyên tố khoáng dinh dưỡng – những nguyên tố cần thiết được thực vật thu nhận từ trong đất – ở dưới dạng bụi hoặc hoà tan trong nước mưa hoặc ngấm từ đá vào nền đất. Nitrogen cũng được cung cấp qua các quá trình sinh học cố định nitrogen (xem Hình 37.9). Ở đầu ra của chu trình vật chất, các nguyên tố khí quay trở lại bầu khí quyển, và nước mang vật chất đi ra khỏi hệ sinh thái. Giống như sinh vật, hệ sinh thái là hệ thống mở, hấp thụ năng lượng và khối lượng, và giải phóng nhiệt và các chất thải.

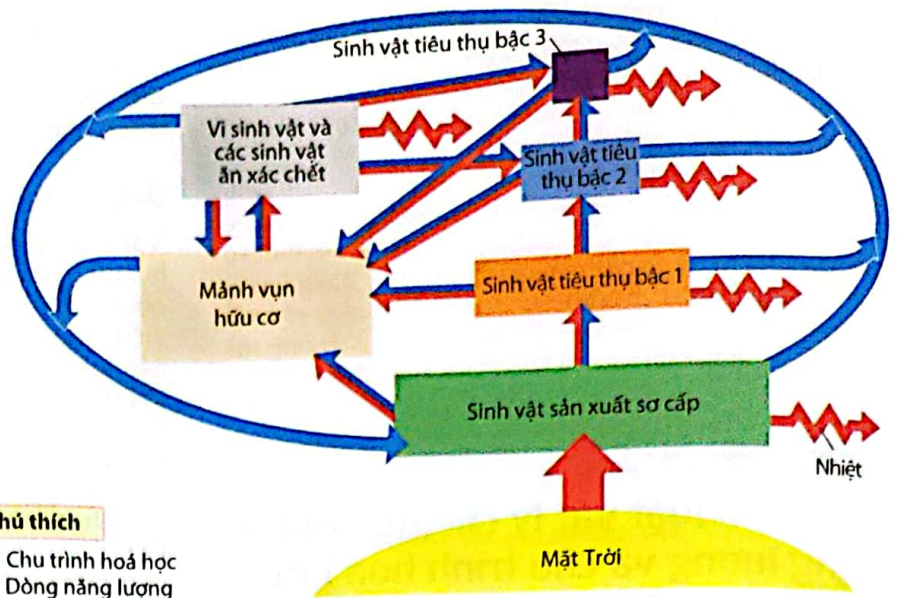
Hầu hết đầu vào và đầu ra là rất nhỏ so với khối lượng tuần hoàn trong hệ sinh thái. Hơn nữa, sự cân bằng giữa đầu vào và đầu ra của hệ sinh thái là yếu tố xác định xem hệ sinh thái là nguồn cung cấp hay là bể chứa cho một nguyên tố. Nếu đầu ra của một chất dinh dưỡng khoáng cao hơn đầu vào thì rốt cuộc nó sẽ hạn chế sản lượng của hệ sinh thái. Hoạt động của con người thường làm thay đổi cân bằng giữa đầu vào và đầu ra của hệ sinh thái, và chúng ta sẽ xem xét vấn đề này ở phần sau.

Năng lượng, khối lượng và các bậc dinh dưỡng

Như đã thấy ở Chương 54, các nhà sinh thái học sắp xếp các loài trong hệ sinh thái theo các bậc dinh dưỡng, dựa vào nguồn dinh dưỡng và năng lượng mà chúng thu nhận. Bậc dinh dưỡng thấp nhất cung cấp dinh dưỡng cho toàn bộ hệ sinh thái, bao gồm tất cả các sinh vật tự dưỡng, gọi là **sinh vật sản xuất sơ cấp** của hệ sinh thái. Hầu hết các sinh vật tự dưỡng có khả năng quang hợp sử dụng năng lượng mặt trời tổng hợp nên đường và các chất hữu cơ khác, đó là những chất cung cấp năng lượng cho tế bào và sinh trưởng của cơ thể. Thực vật, tảo và các sinh vật nhân sơ có khả năng quang hợp là sinh vật tự dưỡng chủ yếu trong sinh quyển. Ngoài ra, còn có một số sinh vật nhân sơ là sinh vật sản xuất sơ cấp, có khả năng tự dưỡng bằng con đường hoá tổng hợp. Ví dụ, vi sinh vật ở một số nơi dưới đáy biển sâu (xem Hình 52.18) hoặc ở một số vùng nước trong hang (xem Hình 55.2).



▲ Hình 55.3 Nấm phân giải một cây chết.



▲ Hình 55.4 Sơ đồ tổng quát về động học của các chất và năng lượng trong hệ sinh thái. Năng lượng đi vào, truyền qua và ra khỏi hệ sinh thái, trong khi các nguyên tố hoá học tuần hoàn chủ yếu trong hệ sinh thái. Trong sơ đồ khái quát hoá này, năng lượng (đường màu da cam đậm) đi vào hệ sinh thái là năng lượng mặt trời, chuyển thành năng lượng hoá học qua lưới thức ăn, và đi ra không trung dưới dạng nhiệt. Hầu hết chất dinh dưỡng (đường màu xanh) chuyển đổi qua các bậc dinh dưỡng, cuối cùng trở thành các mảnh vụn hữu cơ, chất dinh dưỡng sau quá trình phân giải được sinh vật sản xuất sơ cấp hấp thụ trở lại vào chu trình tuần hoàn.

Sinh vật trong các bậc dinh dưỡng phía trên bậc dinh dưỡng của sinh vật sản xuất sơ cấp gọi chung là sinh vật tiêu thụ, chúng trực tiếp hoặc gián tiếp phụ thuộc vào sản phẩm của quá trình sinh tổng hợp của sinh vật sản xuất sơ cấp. Động vật ăn thực vật, gồm các loài ăn thực vật hoặc tảo gọi là **sinh vật tiêu thụ bậc 1**. Động vật ăn thịt động vật ăn thực vật gọi là **sinh vật tiêu thụ bậc 2**, và động vật ăn thịt động vật ăn thịt bậc 2 gọi là **sinh vật tiêu thụ bậc 3**.

Nhóm sinh vật tiêu thụ quan trọng khác là sinh vật phân giải xác sinh vật. **Sinh vật phân giải** là dạng sinh vật tiêu thụ nhận năng lượng từ những **chất hữu cơ không sống**, ví dụ như xác chết, phân động vật, lá rụng và gỗ. Cũng có nhiều xác chết được các sinh vật tiêu thụ bậc 2 và 3 ăn. Hai nhóm sinh vật quan trọng thuộc sinh vật phân giải là nấm và sinh vật nhân sơ (**Hình 55.3**). Các sinh vật này tiết enzyme tiêu hoá các vật chất hữu cơ; sau đó chúng hấp thụ các sản phẩm đã phân giải, chúng là cầu nối giữa sinh vật tiêu thụ với sinh vật sản xuất sơ cấp trong hệ sinh thái. Ví dụ, trong một cánh rừng, chim ăn giun đất, giun sử dụng lá rụng làm thức ăn và sinh vật nhân sơ và nấm có liên quan tới quá trình phân giải các lá rụng đó.

Quan trọng hơn cả hoạt động chuyển hoá nguồn sống từ sinh vật sản xuất tới sinh vật tiêu thụ là hoạt động của các sinh vật phân giải chất hữu cơ. Chúng giữ vai trò rất quan trọng trong việc tái sinh các nguyên tố hoá học theo chu trình từ sinh vật tiêu thụ quay trở lại sinh vật sản xuất. Sinh vật phân giải hữu cơ biến đổi vật chất hữu cơ từ tất cả các bậc dinh dưỡng thành các chất vô cơ, được sinh vật sản xuất sử dụng, khép kín chu trình hoá học của hệ sinh thái. Sinh vật sản xuất có thể sau đó lại tái sử dụng các nguyên tố đó thành các chất hữu cơ. Nếu không có quá trình phân giải, tất cả sự sống trên Trái Đất

sẽ dừng lại, do xác chết của sinh vật chất thành đồng và thành phần hoá học cho tổng hợp các chất hữu cơ mới sẽ cạn kiệt. **Hình 55.4** tóm tắt các quan hệ dinh dưỡng trong hệ sinh thái.

KIỂM TRA KHÁI NIỆM 55.1

1. Tại sao việc truyền năng lượng trong hệ sinh thái lại được xem như dòng năng lượng mà không được gọi là chu trình năng lượng?
2. Định luật nhiệt động học thứ hai giải thích như thế nào về việc tại sao lại cần phải liên tục cung cấp năng lượng cho hệ sinh thái?
3. **ĐIỀU GÌ NẾU?** Bạn đang nghiên cứu chu trình nitrogen tại đồng bằng Serengeti ở châu Phi. Trong quá trình làm thí nghiệm, một đàn linh dương di cư gặm cỏ qua ô thí nghiệm của bạn. Bạn cần gì để đo ảnh hưởng của đàn linh dương tới cân bằng nitrogen trong ô thí nghiệm?

Câu trả lời có trong Phụ lục A.

KHÁI NIỆM 55.2

Năng lượng và các nhân tố giới hạn khác kiểm soát sản lượng sơ cấp của các hệ sinh thái

Sản lượng sơ cấp của hệ sinh thái là lượng năng lượng ánh sáng thông qua hoạt động của sinh vật tự dưỡng được chuyển thành năng lượng hoá học (hợp chất hữu cơ)

trong một khoảng thời gian nhất định. Sản phẩm quang hợp này là điểm khởi đầu cho những nghiên cứu về trao đổi chất của hệ sinh thái và dòng năng lượng.

Quỹ năng lượng của hệ sinh thái

Hầu hết các sinh vật sản xuất sơ cấp sử dụng năng lượng ánh sáng để tổng hợp phân tử hữu cơ, các phân tử này khi bị bẻ gãy sẽ tạo ra năng lượng ATP (xem Chương 10). Các sinh vật tiêu thụ sử dụng năng lượng hữu cơ thứ cấp (hoặc tam cấp hoặc tứ cấp) trong lưới thức ăn như Hình 54.12 và 54.13. Do vậy, lượng tất cả các sản phẩm quang hợp quyết định giới hạn quỹ năng lượng của toàn bộ hệ sinh thái.

Quỹ năng lượng toàn cầu

Hàng ngày, bầu khí quyển Trái Đất nhận liên tục khoảng 10^{22} Jun bức xạ mặt trời ($1 \text{ J} = 0,239 \text{ calo}$). Nguồn năng lượng này đáp ứng đủ cho con người trên Trái Đất dùng trong khoảng 25 năm ở mức độ tiêu thụ của năm 2006. Như đã mô tả trong Chương 52, cường độ năng lượng mặt trời chiếu xuống Trái Đất khác nhau theo vĩ độ, vùng nhiệt đới nhận nhiều năng lượng hơn các vùng khác. Hầu hết năng lượng chiếu xuống Trái Đất được mây và bụi trong không khí hấp thụ, làm phân tán hoặc phản chiếu ngược trở lại. Số lượng bức xạ mặt trời đến được mặt đất giới hạn sản lượng quang hợp của hệ sinh thái.

Hơn nữa, chỉ một phần nhỏ của bức xạ mặt trời xuống được mặt đất được sử dụng cho quang hợp. Phần lớn năng lượng chiếu vào băng tuyết, đất đá không được sử dụng cho quang hợp. Trong số những bức xạ chiếu xuống mặt đất, chỉ có những bước sóng được sắc tố quang hợp hấp thụ mới tham gia vào hoạt động tổng hợp chất hữu cơ, những bước sóng khác hoặc bị phản xạ hoặc mất dưới dạng nhiệt. Kết quả, chỉ khoảng 1% ánh sáng nhìn thấy là tham gia vào hoạt động chuyển hoá năng lượng ánh sáng sang năng lượng hoá học trong quang hợp. Tuy vậy, sản lượng sơ cấp của Trái Đất đạt tới 150 tỷ tấn ($150 \times 10^{12} \text{ kg}$) vật chất hữu cơ mỗi năm.

Sản lượng sơ cấp thực và sản lượng sơ cấp tổng số

Tổng sản lượng sơ cấp trong một hệ sinh thái được gọi là **sản lượng sơ cấp tổng số** của hệ sinh thái (GPP). Đó là lượng năng lượng ánh sáng được quang hợp chuyển hoá sang năng lượng hoá học tính trên một đơn vị thời gian. Trong quá trình đó, không phải toàn bộ năng lượng hoá học được tích lũy dưới dạng vật chất hữu cơ trong cơ thể sinh vật sản xuất sơ cấp, mà các sinh vật đó cũng đồng thời sử dụng một phần năng lượng cho hoạt động hô hấp tế bào. **Sản lượng sơ cấp thực** (NPP) được tính bằng sản lượng sơ cấp tổng số trừ đi năng lượng do sinh vật sản xuất sơ cấp sử dụng cho hô hấp (R):

$$\text{NPP} = \text{GPP} - \text{R}$$

Ở nhiều hệ sinh thái, NPP bằng khoảng một nửa của GPP. Với các nhà sinh thái học, sản lượng sơ cấp thực thể hiện sự tích lũy năng lượng dùng cho các sinh vật tiêu thụ trong hệ sinh thái.

Sản lượng sơ cấp thực có thể được thể hiện là năng lượng tích lũy trên một đơn vị diện tích, trên một đơn vị

thời gian ($\text{J/m}^2/\text{năm}$) hoặc là sinh khối (khối lượng thực vật) thêm vào hệ sinh thái, trên một đơn vị diện tích, trên một đơn vị thời gian ($\text{g/m}^2/\text{năm}$). (Chú ý rằng khối lượng thường được thể hiện là khối lượng khô của chất hữu cơ). Sản lượng sơ cấp thực không nên nhầm lẫn với sinh khối *tổng số* do sinh vật tự dưỡng tổng hợp qua quang hợp trong một khoảng thời gian, được gọi là *tổng sinh khối hiện hữu - standing crop*. Sản lượng sơ cấp thực là lượng sinh khối *mới* thêm vào hệ sinh thái trong một khoảng thời gian. Mặc dù rừng có sinh khối thảm thực vật rất lớn, nhưng sản lượng sơ cấp thực có thể ít hơn một số đồng cỏ, bởi vì rừng không tích lũy thêm nhiều khối lượng thực vật, một phần thực vật bị động vật ăn và cây cỏ phân giải nhanh hơn cây gỗ.

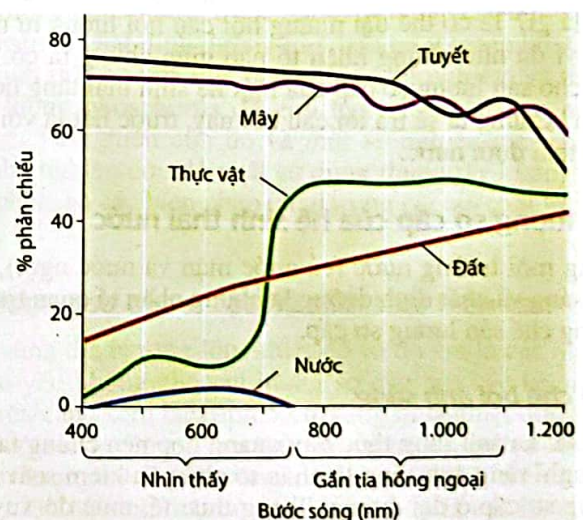
Sử dụng các số liệu từ vệ tinh chúng ta có thêm nhiều khả năng nghiên cứu sản lượng sơ cấp của các hệ sinh thái (Hình 55.5). (Hình 55.6) được xây dựng từ các số liệu thu từ vệ tinh cho thấy các hệ sinh thái khác nhau có sản lượng sơ cấp thực rất khác nhau. Rừng mưa nhiệt đới nằm trong số các hệ sinh thái trên đất liền có sản lượng cao nhất và đóng góp phần lớn sản lượng sơ cấp

▼ Hình 55.5 Phương pháp nghiên cứu

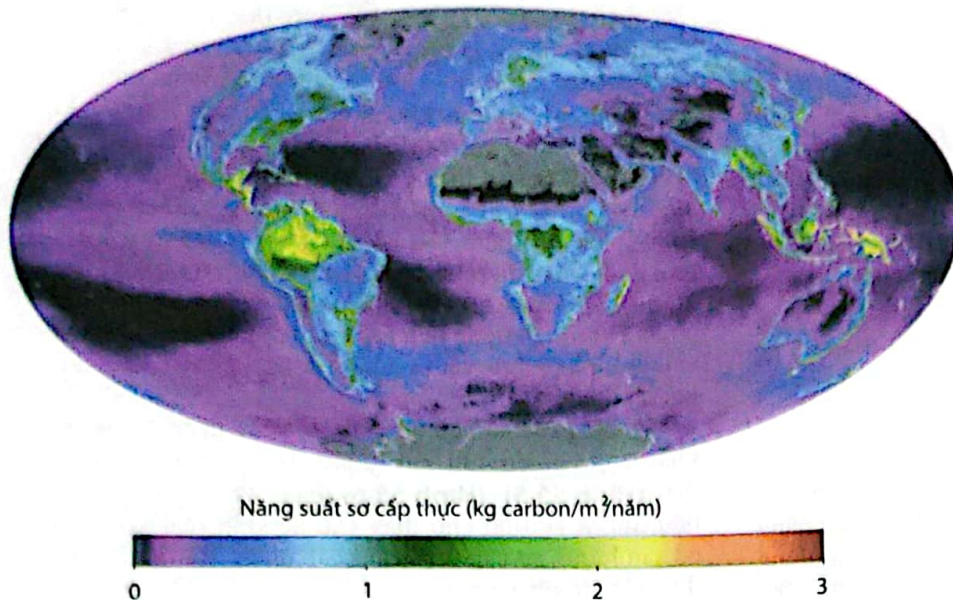
Sử dụng vệ tinh để tính sản lượng sơ cấp

ỨNG DỤNG Do chất diệp lục thu nhận các ánh sáng nhìn thấy (xem Hình 10.9) nên sinh vật quang hợp hấp thụ nhiều ánh sáng có bước sóng nhìn thấy (khoảng từ 380 - 750nm) hơn là bước sóng hồng ngoại (750 - 1.100nm). Các nhà khoa học dựa vào khả năng hấp thụ khác nhau đó để tính tỷ lệ quang hợp ở các vùng khác nhau trên Trái Đất, sử dụng các số liệu từ vệ tinh.

KỸ THUẬT Hầu hết các vệ tinh xác định được những cái mà nó có thể "nhìn thấy" bằng cách so sánh tỷ lệ bước sóng phản chiếu ngược trở lại chúng. Thảm thực vật phản chiếu nhiều bức xạ hồng ngoại hơn bức xạ nhìn thấy, tạo ra kiểu phản chiếu rất khác với tuyết, mây, đất và nước.



KẾT QUẢ Các nhà khoa học sử dụng số liệu vệ tinh để xây dựng bản đồ về sản lượng sơ cấp như trong Hình 55.6.



▲ Hình 55.6 Sản lượng sơ cấp thực toàn cầu năm 2002. Bản đồ xây dựng dựa trên các số liệu về hoạt tính của chlorophyll, thu nhận từ vệ tinh. Chú ý rằng, các vùng nhiệt đới trên đất liền có tỷ lệ sản lượng cao nhất (màu vàng và màu đỏ trên bản đồ).

? Bản đồ toàn cầu này có phản ánh chính xác tầm quan trọng của một số môi trường có sản lượng cao, ví dụ như vùng đất ngập nước, rạn san hô, và các vùng ven biển hay không? Giải thích.

thực của cả hành tinh. Vùng cửa sông và rạn san hô cũng có sản lượng sơ cấp thực rất cao, nhưng do diện tích của các hệ sinh thái này nhỏ (chỉ bằng khoảng 1/10 diện tích của rừng mưa nhiệt đới) nên chúng chỉ góp một phần nhỏ sản lượng so với các hệ sinh thái khác. Một điều đáng chú ý rút ra từ Hình 55.6 là : vì sao các đại dương lại không có sản lượng sơ cấp trên một đơn vị diện tích lớn như với rừng mưa nhiệt đới và một số hệ sinh thái khác. Tuy nhiên, dù sản lượng tính trên đơn vị diện tích là không lớn nhưng do đại dương có kính thước rất rộng lớn nên khi tính gộp sản lượng của tất cả các vùng lại thì đại dương cũng có sản lượng sơ cấp thực bằng với các hệ sinh thái trên cạn.

Các nhân tố hạn chế sản lượng sơ cấp của các hệ sinh thái là gì? Ta có thể đặt những hỏi câu hỏi tương tự như vậy, ví dụ như những nhân tố nào giúp chúng ta có thể làm cho sản lượng sơ cấp của một hệ sinh thái tăng hoặc giảm? Chúng ta sẽ trả lời câu hỏi này, trước hết là với hệ sinh thái dưới nước.

Sản lượng sơ cấp của hệ sinh thái nước

Trong môi trường nước (cả nước mặn và nước ngọt), cả ánh sáng và chất dinh dưỡng là những nhân tố quan trọng khống chế sản lượng sơ cấp.

Hạn chế bởi ánh sáng

Do bức xạ ánh sáng thúc đẩy quang hợp nên chúng ta có thể nghĩ rằng ánh sáng là nhân tố chủ yếu kiểm soát sản lượng sơ cấp ở đại dương. Trong thực tế, mức độ xuyên sâu của ánh sáng có ảnh hưởng tới quang hợp ở những vùng chiếu sáng của đại dương hoặc hồ nước (Hình 52.16). Khoảng một nửa ánh sáng bị nước hấp thụ ở độ sâu khoảng 15 m nước. Cho dù là nước trong cũng chỉ 5-10% bức xạ có thể tới được độ sâu 75 m.

Nếu ánh sáng là nhân tố giới hạn sản lượng sơ cấp ở đại dương thì chúng ta có thể thấy sản lượng sơ cấp sẽ tăng dần từ vùng cực của Trái Đất tới vùng xích đạo - nơi nhận nhiều ánh sáng mặt trời. Tuy nhiên, như trong Hình 55.6 không có sự thay đổi như vậy. Còn có nhân tố khác ảnh hưởng tới năng suất sơ cấp ở đại dương.

Hạn chế bởi chất dinh dưỡng

Ở các vùng địa lý khác nhau của đại dương và ở các hồ nước, các chất dinh dưỡng làm hạn chế sản lượng sơ cấp nhiều hơn so với ánh sáng. Một chất dinh dưỡng giới hạn là nguyên tố phải được thêm vào thì mới làm gia tăng sản lượng. Chất dinh dưỡng thường giới hạn sản lượng biển là nitrogen và phosphorus. Nồng độ của các chất này thường rất thấp ở vùng nước có nhiều ánh sáng, do chúng nhanh chóng được thực vật phù du hấp thụ và các mảnh vụn hữu cơ có xu hướng

chìm xuống.

Như đã mô tả chi tiết trong **Hình 55.7**, các thí nghiệm làm giàu chất dinh dưỡng khẳng định rằng nitrogen là nguyên tố đã giới hạn sinh trưởng của thực vật phù du ở vùng gần bờ biển đảo Long, New York. Ứng dụng kết quả thực nghiệm đó người ta có thể hạn chế hiện tượng “tảo nở hoa” gây ra do ô nhiễm nitrogen, khi thực vật phù du được cung cấp quá nhiều nitrogen. Giới hạn lượng phosphate trong nước thải (đã từng cho là nhân tố gây tác hại) sẽ không giúp hạn chế tảo nở hoa, trừ khi hạn chế được ô nhiễm nitrogen.

Tuy nhiên, một số vùng rộng lớn của đại dương có mật độ thực vật phù du rất thấp, mặc dù nồng độ nitrogen trong nước tương đối cao. Ví dụ, biển Sargasso, một vùng ôn đới của Đại Tây Dương, có một số vùng nước trong nhất trên Trái Đất do mật độ thực vật phù du rất thấp. Nhiều thí nghiệm làm giàu chất dinh dưỡng đã được thực hiện tại đây cho thấy lượng vi chất dinh dưỡng sắt có trong môi trường giới hạn sản lượng sơ cấp ở đó (**Bảng 55.1**). Nguồn sắt cung cấp cho đại dương chủ yếu là từ bụi được gió thổi từ đất liền ra, tuy nhiên có rất ít bụi có thể bay tới những vùng đại dương xa xôi.

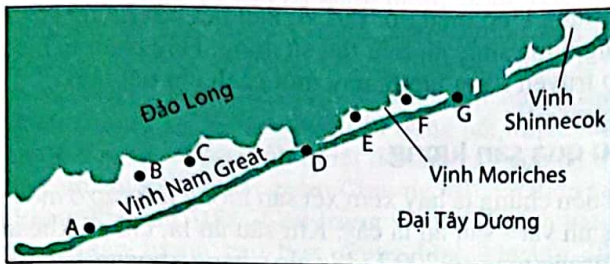
Phát hiện ra sắt là nguyên tố giới hạn sản lượng ở một số hệ sinh thái biển đã khích lệ các nhà sinh thái học biển thực hiện thí nghiệm trên diện rộng ở biển Thái Bình Dương. Trong một nghiên cứu, các nhà khoa học đã rải sắt hoà tan với nồng độ thấp trên vùng biển rộng 72km² và theo dõi sự thay đổi mật độ của thực vật phù du sau 7 ngày rải chất sắt. Thực vật phù du đã nở hoa với khối lượng lớn, nồng độ chất diệp lục trong nước tăng lên. Chất sắt được thêm vào đã kích thích vi khuẩn lam sinh trưởng, chúng đã cố định nitrogen trong khí quyển (xem Chương 27), và lượng nitrogen tăng lên đã kích thích tăng trưởng của thực vật phù du.

Vùng nước xáo trộn, nơi có nhiều chất dinh dưỡng ở lớp nước sâu chuyển vận lên vùng nước bề mặt, có sản

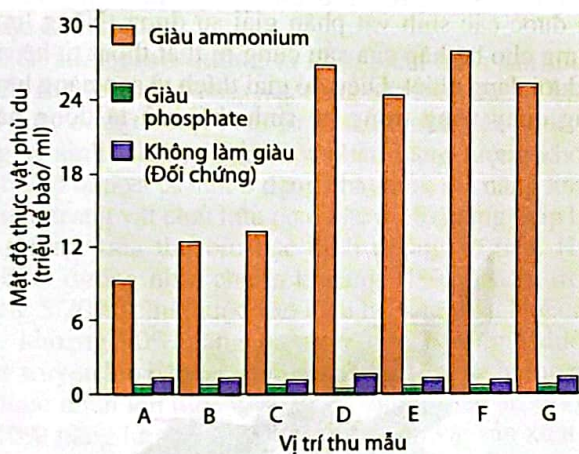
Hình 55.7 Tìm hiểu

Chất dinh dưỡng nào giới hạn sản lượng thực vật phù du ở dọc bờ biển đảo Long?

THÍ NGHIỆM Ở nhiệm từ các trại chăn nuôi vịt tập trung gần vịnh Moriches, làm tăng lượng nitrogen và phosphorus vào vùng nước xung quanh đảo Long, New York. Để xác định chất dinh dưỡng nào giới hạn tăng trưởng của thực vật phù du trong vùng đó, John Ryther and William Dunstan ở viện Nghiên cứu Hải dương học Woods Hole đã nuôi thực vật phù du *Nannochloris atomus* trong nước lấy từ nhiều vị trí khác nhau (được đánh dấu từ A - G trong bản đồ phía dưới). Hai ông đã bỏ thêm một lượng ammonium (NH_4^+) hoặc phosphate (PO_4^{3-}) vào môi trường nuôi thực vật phù du.



KẾT QUẢ Thêm một lượng ammonium vào làm cho tăng trưởng của thực vật phù du tăng lên rất nhiều, nhưng phosphate thì không.



KẾT LUẬN Do lượng phosphorus đã có đủ trong môi trường nước nên lượng thêm vào không làm ảnh hưởng tới tăng trưởng của *Nannochloris atomus*, còn thêm nitrogen vào đã làm mật độ thực vật phù du tăng lên nhanh chóng nên các nhà nghiên cứu đã kết luận rằng nitrogen là chất dinh dưỡng hạn chế tăng trưởng của thực vật phù du trong hệ sinh thái này.

NGUỒN R. H. Ryther and W. M. Dunstan, Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment, *Science* 171: 1008-1013 (1971).

ĐIỀU GÌ NẾU? Bạn kỳ vọng kết quả của thí nghiệm sẽ thay đổi thế nào nếu các trại nuôi vịt mới làm tăng một cách đáng kể lượng chất ô nhiễm trong nước? Giải thích.

Bảng 55.1 Thí nghiệm làm giàu chất dinh dưỡng trong các mẫu nước biển Sargasso

Chất dinh dưỡng được thêm vào môi trường nuôi cấy	Mức độ hấp thụ tương đối C^{14} bởi thực vật phù du *
Môi trường đối chứng (không thêm vào)	1,00
Nitrogen (N) + phosphorus (P)	1,10
N + P + kim loại (không có sắt)	1,08
N + P + kim loại (gồm có sắt)	12,90
N + P + sắt	12,00

* C^{14} hấp thụ thu được tính bằng sản lượng sơ cấp.

Nguồn: D. W. Menzel and J. H. Ryther, Nutrients limiting the production of phytoplankton in the Sargasso Sea, with special reference to iron, *Deep Sea Research* 7:276-281 (1961).

lượng sơ cấp khá cao. Điều đó phù hợp với giả thuyết cho rằng, chất dinh dưỡng quyết định sản lượng sơ cấp biển. Do chất dinh dưỡng được cung cấp ổn định kích thích thực vật phù du sinh trưởng, hình thành cơ sở của lưới thức ăn nên vùng nước xáo trộn là ngư trường đánh cá quan trọng. Những vùng nước xáo trộn lớn nhất nằm ở đại dương phía Nam (còn gọi là đại dương Nam Cực) và vùng biển Peru, California và một phần của Tây Phi.

Giới hạn dinh dưỡng cũng phổ biến ở hồ nước ngọt. Trong những năm 1970, các nhà khoa học đã chỉ ra rằng, nước thải và phân bón chảy từ đồng ruộng và kho xưởng làm tăng lượng chất dinh dưỡng trong nước hồ. Vi khuẩn lam và tảo sinh trưởng nhanh chóng đáp ứng lại với sự tăng chất dinh dưỡng, cuối cùng làm giảm nồng độ oxygen và làm trong nước. Quá trình này gọi là **phú dưỡng** (từ thuật ngữ *eutrophos* trong tiếng Hy Lạp là nuôi dưỡng), có nhiều tác động sinh thái, bao gồm cả việc làm mất hầu hết các sinh vật trừ loài cá có khả năng chịu đựng tốt nhất trong hồ (xem Hình 52.18). Kiểm soát hiện tượng phú dưỡng, trước hết là phải hạn chế ô nhiễm. Nitrogen là chất dinh dưỡng giới hạn có ít trong hồ. Các nhà sinh thái học đã tiến hành nhiều thí nghiệm và thấy rằng lượng phosphorus đã giới hạn vi khuẩn lam sinh trưởng. Từ nghiên cứu đó và một số nghiên cứu khác, các nhà nghiên cứu đề xuất sử dụng thuốc tẩy không có phosphate và các biện pháp quan trọng cải tạo chất lượng nước.

Sản lượng sơ cấp ở các hệ sinh thái trên cạn

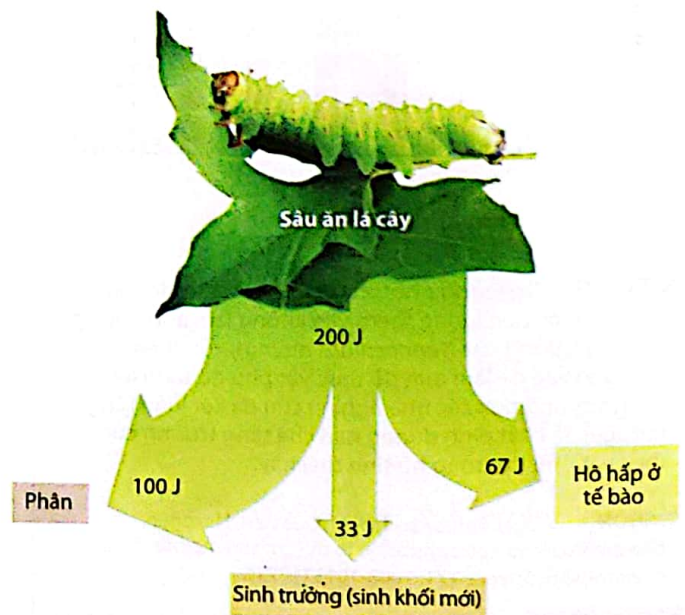
Trên vùng địa lý rộng lớn, nhiệt độ và độ ẩm là các nhân tố chủ yếu khống chế sản lượng sơ cấp của các hệ sinh thái trên cạn. Xem lại Hình 55.6, rừng mưa nhiệt đới, với nhiệt độ ẩm áp, độ ẩm cao thúc đẩy thực vật sinh trưởng, có sản lượng cao nhất trong các hệ sinh thái trên cạn. Ngược lại, hệ sinh thái có sản lượng thấp là các hệ sinh thái khô - ví dụ, sa mạc lạnh hoặc sa mạc nóng, đồng rêu đới lạnh. Nằm giữa hai vùng khắc nghiệt đó là vùng rừng ôn đới và các hệ sinh thái đồng cỏ có khí hậu ôn hoà và sản lượng trung bình. Sự tương phản về khí hậu này được thể hiện qua thước đo được gọi là **độ bốc và thoát hơi**

Năng lượng truyền qua các bậc dinh dưỡng thường chỉ đạt hiệu quả 10%

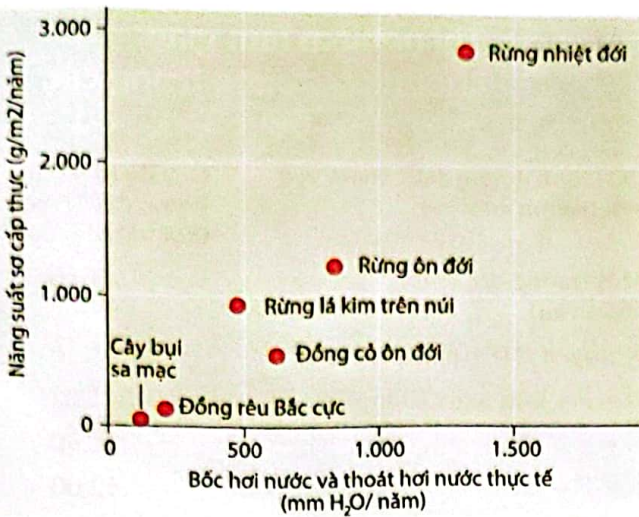
Lượng năng lượng hoá học trong thức ăn của sinh vật tiêu thụ được chuyển thành sinh khối mới của chúng tính trên một khoảng thời gian được gọi là **sản lượng thứ cấp** của hệ sinh thái. Trong khái niệm này chúng ta xem xét việc chuyển vật chất hữu cơ từ sinh vật sản xuất tới động vật ăn thực vật (sinh vật tiêu thụ sơ cấp). Trong hầu hết các hệ sinh thái, sinh vật tiêu thụ sơ cấp chỉ ăn một phần nhỏ chất sống của thực vật. Hơn nữa, sinh vật tiêu thụ cũng không tiêu hoá được hết vật chất thực vật mà chúng từng ăn. Khi tới thăm trại chăn nuôi gia súc chúng ta có thể chứng kiến điều đó. Bởi vì, hầu hết sản lượng sơ cấp không được sinh vật tiêu thụ sử dụng. Hãy phân tích quá trình truyền năng lượng này một cách chi tiết hơn.

Hiệu quả sản lượng

Đầu tiên chúng ta hãy xem xét sản lượng thứ cấp ở một cá thể sinh vật - sâu ăn lá cây. Khi sâu ăn lá, chỉ có khoảng 33 J trong tổng số 200 J (48 calo), bằng khoảng 1/6 năng lượng trong lá cây được sâu sử dụng cho sản lượng thứ cấp, hoặc tăng trưởng (**Hình 55.9**). Sâu sử dụng một phần năng lượng cho hô hấp tế bào và thải qua phân. Năng lượng thải qua phân được giữ tạm thời trong hệ sinh thái, nhưng hầu hết năng lượng đó sẽ mất qua tỏa nhiệt khi phân được các sinh vật phân giải sử dụng. Năng lượng sử dụng cho hô hấp của sâu cũng bị thất thoát từ hệ sinh thái dưới dạng nhiệt. Điều đó giải thích vì sao năng lượng không quay vòng trong hệ sinh thái mà là dòng năng



▲ **Hình 55.9** Phân chia năng lượng trong một mắt xích của lưới thức ăn. Dưới 17% thức ăn của sâu được sử dụng thực tế cho sản lượng thứ cấp (tăng trưởng).



▲ **Hình 55.8** Quan hệ giữa sản lượng sơ cấp thực với độ bốc và thoát hơi nước thực tế ở 6 hệ sinh thái trên cạn.

nước thực tế, đó là lượng nước hàng năm thoát qua lá cây cộng với lượng nước bốc hơi từ đất, thường được tính bằng milimet. Bốc hơi nước và thoát hơi nước thực tế tăng khi lượng mưa trong vùng tăng và năng lượng mặt trời dồi dào thúc đẩy thoát hơi nước và bốc hơi nước. **Hình 55.8** cho thấy sản lượng sơ cấp thực tỷ lệ thuận với độ bốc hơi nước và thoát hơi nước trong các khu vực nghiên cứu.

Trên phạm vi của một vùng, các chất dinh dưỡng trong đất có thể giới hạn sản lượng sơ cấp của các hệ sinh thái trên cạn. Giống như các hệ sinh thái dưới nước, nitrogen và phosphorus là chất dinh dưỡng phổ biến nhất giới hạn sản lượng trên cạn. Cho thêm vào môi trường một chất dinh dưỡng không giới hạn, thậm chí là đó là chất dinh dưỡng hiếm có trong môi trường cũng không làm tăng sản lượng. Ngược lại, tăng lượng chất dinh dưỡng giới hạn làm tăng sản lượng cho tới khi một số chất khác trở thành chất giới hạn.

Các nghiên cứu về các chất dinh dưỡng có liên quan tới sản lượng sơ cấp trên cạn có những ứng dụng thực tiễn trong nông nghiệp. Nhà nông có thể tối ưu hoá sản lượng cây trồng bằng cách sử dụng phân bón cân bằng các chất dinh dưỡng đối với đất của địa phương mình và với loại cây trồng.

KIỂM TRA KHÁI NIỆM 55.2

1. Tại sao chỉ có một phần nhỏ năng lượng mặt trời chiếu trên mặt đất được sinh vật sơ cấp hấp thụ?
2. Làm thế nào các nhà sinh thái học qua thực nghiệm có thể xác định được yếu tố nào đó làm giới hạn sản lượng sơ cấp trong hệ sinh thái?
3. **ĐIỀU GÌ NẾU?** Trong một dự án khoa học, một sinh viên đang cố gắng tính sản lượng sơ cấp của thực vật ở một hệ sinh thái đồng cỏ trong một năm. Sau mỗi quý, sinh viên cắt tất cả cỏ trong ô thí nghiệm bằng máy xén cỏ, thu thập và sau đó cân số cỏ đã cắt để tính sản lượng thực vật. Thành phần nào của sản lượng sơ cấp của thực vật mà sinh viên đã bỏ qua với cách làm như vậy?

Câu trả lời có trong Phụ lục A.

lượng đi xuyên qua hệ sinh thái. Chỉ có năng lượng hoá học tích lũy trong động vật ăn thực vật.

Chúng ta có thể đo hiệu quả truyền năng lượng của động vật theo công thức sau :

$$\text{Hiệu suất sản lượng} = \frac{\text{Năng suất thứ cấp} \times 100\%}{\text{Sự đồng hoá của năng suất sơ cấp}}$$

Dưới dạng sinh khối (thông qua sinh trưởng hoặc sản lượng của hậu thể) là dạng thức ăn cho sinh vật tiêu thụ thứ cấp. Sản lượng thứ cấp thực là năng lượng tích lũy trong sinh khối, được thể hiện qua sinh trưởng và sinh sản. Đồng hoá bao gồm năng lượng tổng số được sinh vật sử dụng cho sinh trưởng, sinh sản và hô hấp. Do vậy, **hiệu suất sản lượng** là tỷ lệ phần trăm của năng lượng tích lũy trong thức ăn không được sử dụng cho hô hấp. Với sâu ăn lá cây trong Hình 55.9, hiệu suất sản lượng là 33%; 67 J trong 100 J của năng lượng đồng hoá được sử dụng để hô hấp. (Chú ý rằng, năng lượng mất qua thức ăn không được tiêu hoá không tính vào đồng hoá). Chim và thú có đặc điểm là hiệu suất sản lượng thấp, trong khoảng từ 1-3%, do chúng sử dụng hết nhiều năng lượng để duy trì sự ổn định nhiệt độ khá cao của cơ thể. Cá, là sinh vật biến nhiệt (xem Chương 40), có hiệu suất sản lượng khoảng 10%. Còn trùng và các vi sinh vật có hiệu suất sản lượng cao hơn, trung bình khoảng 40% hoặc cao hơn.

Hiệu suất dinh dưỡng và các tháp sinh thái

Chúng ta hãy nâng cấp độ xem xét hiệu suất sản lượng của các cá thể sinh vật tiêu thụ theo dòng năng lượng qua các bậc dinh dưỡng.

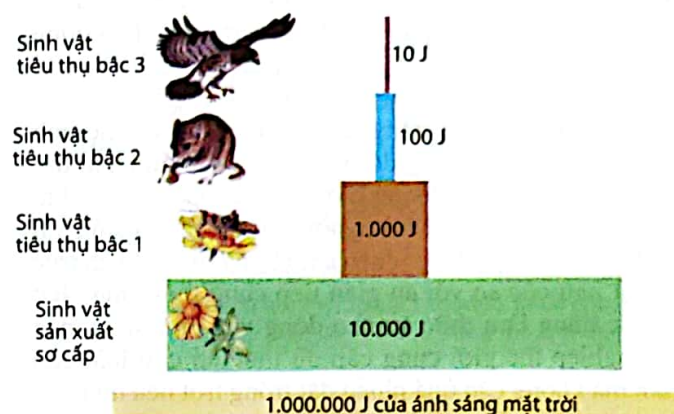
Hiệu suất dinh dưỡng là tỷ lệ phần trăm sản lượng chuyển từ bậc dinh dưỡng này sang bậc dinh dưỡng khác. Hiệu suất dinh dưỡng phải luôn thấp hơn hiệu suất sản lượng vì sinh vật tiêu tốn một phần năng lượng không chỉ cho hô hấp và bị mất ở dạng chất thải, mà năng lượng còn nằm trong vật chất hữu cơ ở bậc dinh dưỡng thấp hơn không được tiêu thụ bởi bậc dinh dưỡng kế tiếp. Hiệu suất dinh dưỡng nhìn chung khoảng 10% và nằm trong khoảng 5-20%, phụ thuộc vào kiểu hệ sinh thái. Nói cách khác, khoảng 90% năng lượng ở mỗi bậc dinh dưỡng *không* truyền lên bậc cao hơn. Sự tiêu tốn năng lượng như vậy được nhân lên theo độ dài của chuỗi thức ăn. Ví dụ, nếu 10% năng lượng được truyền từ sinh vật sản xuất tới sinh vật tiêu thụ bậc 1, và 10% năng lượng từ sinh vật tiêu thụ bậc 1 được truyền tới sinh vật tiêu thụ bậc 2, như vậy sinh vật tiêu thụ bậc 2 chỉ nhận được khoảng 1% năng lượng từ sản lượng sơ cấp (10% của 10%).

Năng lượng lượng bị mất dần qua chuỗi thức ăn làm hạn chế mạnh số lượng sinh vật ăn thịt ở bậc cao nhất của một hệ sinh thái. Chỉ khoảng 0,1% năng lượng hoá học, được sinh vật có khả năng quang hợp tổng hợp, có thể truyền qua lưới thức ăn tới sinh vật tiêu thụ bậc 3, ví dụ như rắn hoặc cá mập. Điều đó giải thích tại sao hầu hết lưới thức ăn chỉ bao gồm 4 hoặc 5 bậc dinh dưỡng (xem Chương 54).

Năng lượng thất thoát qua mỗi lần truyền năng lượng ở mỗi bậc dinh dưỡng trong chuỗi thức ăn được thể hiện trong *tháp sản lượng thực*, trong đó các bậc dinh dưỡng được sắp xếp theo từng bậc (Hình 55.10). Trong tháp sinh thái, chiều rộng của mỗi bậc biểu hiện độ lớn của

sản lượng thực, theo đơn vị jun. Bậc dinh dưỡng cao nhất, thể hiện sinh vật ăn thịt bậc cao nhất, có ít cá thể. Bởi vì, quần thể của sinh vật ăn thịt bậc bao nhất thường có đặc điểm là nhỏ và có thể có phân bố trong môi trường rộng lớn, nhiều loài trong tình trạng bị đe dọa tuyệt chủng (cũng giống như hậu quả tiến hoá của quần thể kích thước nhỏ, đã từng đề cập trong Chương 23).

Một hậu quả sinh thái quan trọng của hiệu suất dinh dưỡng thấp được thể hiện trong *tháp sinh khối*, trong đó mỗi bậc của tháp đại diện cho sản lượng hiện có của hệ sinh thái (khối lượng chất khô tổng số của tất cả các sinh vật) ở mỗi bậc dinh dưỡng. Hầu hết tháp sinh khối đều hẹp và nhọn dần từ sinh vật sản xuất ở đáy tháp tới động vật ăn thịt bậc cao nhất, do truyền năng lượng không đạt hiệu quả cao giữa các bậc dinh dưỡng (Hình 55.11a). Tuy



▲ **Hình 55.10** Một tháp sinh thái lý tưởng của sản lượng thực. Ví dụ này giả thiết rằng về hiệu suất dinh dưỡng khoảng 10% ở mỗi bậc dinh dưỡng trong chuỗi thức ăn. Chú ý rằng, sinh vật sản xuất sơ cấp chuyển hoá chỉ khoảng 1% năng lượng mà chúng nhận được trong môi trường thành sản lượng sơ cấp thực.

Bậc dinh dưỡng	Sinh khối khô (g/m ²)
Sinh vật tiêu thụ bậc 3	1,5
Sinh vật tiêu thụ bậc 2	11
Sinh vật tiêu thụ bậc 1	37
Sinh vật sản xuất sơ cấp	809

(a) Hầu hết các tháp sinh thái có sinh khối giảm mạnh khi chuyển từ bậc dinh dưỡng thấp tới bậc cao hơn, như minh hoạ từ số liệu ở đầm lầy Florida.

Bậc dinh dưỡng	Sinh khối khô (g/m ²)
Sinh vật tiêu thụ bậc 1 (động vật phù du)	21
Sinh vật sản xuất sơ cấp (thực vật phù du)	4

(b) Trong một số hệ sinh thái thủy sinh, ví dụ như eo biển nước Anh, sinh khối sinh vật sản xuất sơ cấp (thực vật phù du) nhỏ nhưng cung cấp đủ năng lượng cho sinh khối của sinh vật tiêu thụ (động vật phù du) lớn hơn.

▲ **Hình 55.11** Các tháp sinh khối (tổng sinh khối hiện hữu của hệ sinh thái). Số lượng thể hiện sinh khối khô của tất cả các sinh vật ở mỗi bậc dinh dưỡng.

nhiên, một số hệ sinh thái nước có tháp sinh khối ngược: Sinh vật tiêu thụ bậc 1 có sinh khối lớn hơn sinh vật sản xuất (**Hình 55.11b**). Tháp sinh khối ngược như vậy xuất hiện ở hệ sinh thái có sinh vật sản xuất - thực vật phù du - sinh trưởng, sinh sản nhanh và cũng được sinh vật tiêu thụ là các động vật phù du tiêu thụ nhanh chóng, không phát triển thành quần thể có kích thước lớn hay tổng sinh khối hiện hữu lớn. Nói cách khác, thực vật phù du có thời gian quay vòng ngắn, chúng có tổng sinh khối lượng hiện hữu nhỏ so với sản lượng của chúng:

$$\text{Thời gian quay vòng} = \frac{\text{Khối lượng hiện tại (g/m}^2\text{)}}{\text{Sản lượng (g/m}^2\text{/ngày)}}$$

Do thực vật phù du có tốc độ thay thế cao (sinh sản mạnh) nên chúng có thể nuôi dưỡng một lượng sinh khối của động vật phù du lớn hơn sinh khối của bản thân chúng. Tuy nhiên, do thực vật phù du có sản lượng cao hơn động vật phù du nhiều, nên tháp *sản lượng* của hệ sinh thái này vẫn có đáy rộng giống như tháp trong Hình 55.10.

Động học của dòng năng lượng truyền qua các hệ sinh thái có hệ lụy quan trọng đối với quần thể người. Ăn thịt là cách chiết rút năng lượng tương đối không hiệu quả từ sản lượng quang hợp. Một người với tư cách là sinh vật tiêu thụ bậc 1 nhận được nhiều calo hơn nhiều khi ăn trực tiếp hạt ngũ cốc so với ăn gián tiếp cùng một lượng hạt ngũ cốc dùng làm thức ăn cho động vật. Quả thực, nền nông nghiệp thế giới cung cấp đủ thức ăn cho loài con người mà không cần quá nhiều đất trồng trọt nếu như con người có thể sử dụng thức ăn hiệu quả - như sinh vật tiêu thụ bậc một, chỉ ăn thức ăn thực vật. Hệ quả là, số lượng người mà Trái Đất có thể chứa (xem Chương 53) ước tính được sẽ phụ thuộc nhiều vào thức ăn của chúng ta và lượng tài nguyên mà mỗi người trong chúng ta sử dụng.

Giả thuyết Thế giới xanh

Trong phần trước của sách này, bạn đã được biết tại sao thế giới lại có màu xanh: Thực vật phản xạ nhiều tia sáng màu xanh lá cây hơn tia đỏ hoặc tia xanh da trời (xem Hình 10.9). Thực vật trên cạn tích lũy khoảng 70×10^{10} tấn carbon, và sản lượng sơ cấp trên cạn toàn cầu là khoảng 6×10^{10} tấn / năm. Tuy nhiên, sinh vật ăn thực vật hằng năm tiêu thụ ít hơn 1/6 NPP của thực vật toàn cầu

(**Hình 55.12**). Phần lớn còn lại được sinh vật phân giải sử dụng. Do vậy, mặc dù thịnh vượng thảm thực vật bị sâu bệnh và động vật ăn thực vật phá hoại nhưng cũng chỉ là thiệt hại nhỏ bé trên Trái Đất.

Tại sao động vật ăn thực vật chỉ tiêu thụ một phần nhỏ sản lượng sơ cấp từ thực vật? Theo giả thuyết **Thế giới xanh**, động vật trên cạn được kiểm soát bởi nhiều nhân tố khác nhau. Thực vật có khả năng tự vệ, như có gai hoặc cơ thể có chứa chất độc (xem Chương 39) nhờ đó hạn chế khả năng bị động vật ăn. Nhiều nhân tố khác cũng hạn chế sự phát triển của các động vật ăn thực vật, như sự không thuận lợi của các nhân tố vô sinh (ví dụ như những khắc nghiệt về nhiệt độ và độ ẩm), sự cạnh tranh trong cùng loài (kể cả tập tính cạnh tranh giành lãnh thổ) và cạnh tranh khác loài, đặc biệt là cạnh tranh giữa vật ăn thịt và con mồi, ký sinh với vật chủ (theo mô hình ảnh hưởng từ trên xuống của cấu trúc quần xã, như đã trình bày trong Chương 54).

Trong phần tiếp theo, chúng ta sẽ xem xét chất dinh dưỡng được truyền như thế nào cùng với quá trình truyền năng lượng qua chuỗi thức ăn, là một phần của bức tranh lớn hơn của chu trình hoá học trong hệ sinh thái.

KIỂM TRA KHÁI NIỆM 55.3

1. Nếu một côn trùng ăn hạt thực vật chứa 100 J năng lượng, côn trùng sử dụng 30 J năng lượng cho hô hấp và thải 50 J qua phân. Sản lượng thứ cấp thực của côn trùng là bao nhiêu? Hiệu suất sản lượng là bao nhiêu?
2. Lá cây thuốc lá chứa nicotine, một chất độc mà cây phải tốn rất nhiều năng lượng để tổng hợp nên chúng. Cây thuốc lá có thể được lợi thế gì khi sử dụng một phần nguồn sống của nó để tạo ra chất nicotine?
3. **ĐIỀU GÌ NẾU?** Trên tivi cho thấy một thực tế là có một nhóm người béo phì đang cố gắng làm giảm trọng lượng cơ thể càng nhiều càng tốt, một cách an toàn chỉ trong vòng một tháng. Ngoài việc ăn ít thức ăn hơn thường lệ, họ có thể làm gì để giảm hiệu suất sản lượng khi họ ăn thức ăn?

Câu trả lời có trong Phụ lục A.

► **Hình 55.12 Một hệ sinh thái xanh.** Hầu hết các hệ sinh thái trên cạn có khối lượng hiện hữu của thảm thực vật lớn, cho dù thực vật có một số lượng lớn động vật ăn cỏ hiện hữu. Giả thuyết về thế giới xanh có thể giải thích quan sát đó.



Các quá trình sinh học và địa hoá học quay vòng các chất dinh dưỡng giữa các thành phần vô cơ và hữu cơ của hệ sinh thái

Mặc dù hầu hết các hệ sinh thái nhận một lượng dồi dào năng lượng Mặt Trời, các nguyên tố hoá học thì chỉ có số lượng giới hạn. (Thiên thạch thỉnh thoảng rơi xuống Trái Đất cung cấp nguyên liệu mới từ ngoài Trái Đất với số lượng rất ít ỏi). Do vậy, cuộc sống trên Trái Đất phụ thuộc vào sự quay vòng của các nguyên tố hoá học thiết yếu. Một sinh vật đang sống cần thay thế liên tục các nguyên tố hoá học qua các hoạt động đồng hoá chất dinh dưỡng và đào thải các chất cặn bã ra khỏi cơ thể. Khi sinh vật chết, các nguyên tử của phân tử trong thành phần cơ thể của chúng được chuyển sang dạng hợp chất đơn giản trong bầu khí quyển, nước, đất qua hoạt động phân giải chất hữu cơ. Hoạt động phân giải bổ sung chất dinh dưỡng vô cơ là những chất mà thực vật và các sinh vật tự dưỡng khác có thể sử dụng để tổng hợp nên chất hữu cơ. Do chu trình dinh dưỡng liên quan tới cả thành phần hữu sinh và vô sinh nên được gọi là **chu trình sinh địa hoá**.

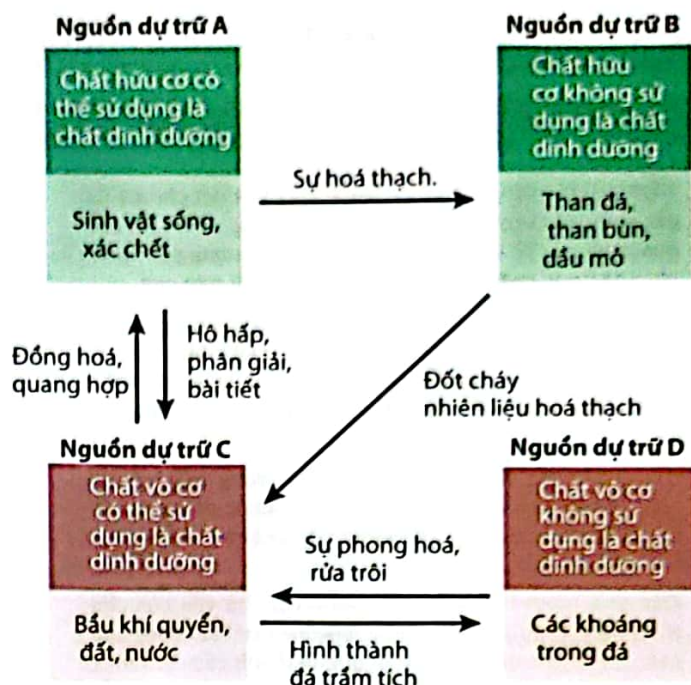
Các chu trình sinh địa hoá

Con đường chuyển vận của một nguyên tố qua chu trình sinh địa hoá phụ thuộc vào từng nguyên tố và cấu trúc dinh dưỡng của hệ sinh thái. Tuy nhiên, chúng ta có thể nhận ra 2 kiểu chung của chu trình sinh địa hoá là: chu trình toàn cầu và chu trình cục bộ. Khí carbon, oxygen, lưu huỳnh và nitrogen có trong bầu khí quyển và chu kỳ của các nguyên tố này là trên phạm vi toàn cầu. Ví dụ, một số nguyên tử carbon, oxygen mà thực vật thu nhận dưới dạng khí CO_2 trong bầu khí quyển có thể thải ra qua hoạt động hô hấp của sinh vật ở cách đó rất xa. Các nguyên tố khác như phosphorus, kali, calcium là quá nặng để chuyển vận dưới dạng khí trên bề mặt Trái Đất. Trong các hệ sinh thái trên cạn, chu trình chuyển vận của các nguyên tố này chỉ giới hạn trong một vùng, rễ cây hấp thu các nguyên tố từ đất, và các nguyên tố đó lại quay trở lại đất qua hoạt động phân giải hữu cơ của sinh vật phân giải. Tuy nhiên, trong các hệ sinh thái thủy sinh, chu trình chuyển vận của các nguyên tố đó có thể xảy ra trên phạm vi rộng hơn, do các nguyên tố hoà tan và chuyển vận theo dòng nước.

Trước khi đi vào chi tiết từng chu trình, chúng ta hãy xem xét chu trình dinh dưỡng tổng quát, bao gồm sự vận chuyển các nguồn dự trữ chính của các nguyên tố và các quá trình truyền các nguyên tố giữa các nguồn dự trữ (**Hình 55.13**). Mỗi nguồn dự trữ có 2 đặc điểm: hoặc chúng chứa chất hữu cơ hoặc chất vô cơ, và hoặc có hoặc không có chất cần cho sinh vật.

Các chất dinh dưỡng trong cơ thể sinh vật sống và xác chết (nguồn dự trữ A trong Hình 55.13) là có sẵn cho các sinh vật khác khi chúng ăn và khi sinh vật phân giải tiêu thụ các xác sinh vật. Một số nguyên tố chuyển từ nguồn dự trữ chất hữu cơ trong cơ thể sống sang nguồn dự trữ chất hữu cơ hoá thạch (nguồn dự trữ B) từ thời gian trước đó rất lâu, khi sinh vật chết chuyển hoá thành than đá, than bùn hoặc dầu lửa. Chất dinh dưỡng dưới dạng dự trữ đó nhìn chung không thể được đồng hoá trực tiếp.

Các vật chất vô cơ (nguyên tố hoặc hợp chất) hoà tan trong nước hoặc có trong đất, không khí (ở nguồn dự trữ



▲ **Hình 55.13** Mô hình tổng quát của chu trình dinh dưỡng. Các mũi tên chỉ các quá trình chuyển vận chất dinh dưỡng giữa các nguồn dự trữ.

? Các chứng cứ hiện nay cho rằng nấm rễ mycorrhizal có thể tiết acid làm hoà tan một số chất khoáng, kể cả phosphate calcium. Loại nấm này hoạt động ở đâu trong mô hình trên là phù hợp?

C) có thể được sinh vật sử dụng. Sinh vật sử dụng trực tiếp các chất từ nguồn dự trữ này trong quá trình đồng hoá và trả lại nguồn dự trữ các chất hoá học của chúng một cách nhanh chóng qua các quá trình hô hấp tế bào, quá trình bài tiết và phân giải chất hữu cơ. Mặc dù hầu hết các sinh vật không thể trực tiếp hấp thụ các nguyên tố vô cơ từ đá (ở nguồn dự trữ D), nhưng các nguyên tố ở nguồn dự trữ này có thể dần dần được sử dụng nhờ quá trình phong hoá và xói mòn. Tương tự, những vật chất hữu cơ không được sử dụng nằm trong các mỏ hoá thạch có thể trở thành chất vô cơ khi hoá thạch bị đốt cháy, giải thoát khí vào bầu khí quyển.

Làm thế nào các nhà sinh thái học đã tìm ra chu trình hoá học chi tiết ở các hệ sinh thái khác nhau? Hai phương pháp phổ biến là sử dụng chất đồng vị – hoặc bằng cách thêm vào một lượng nhỏ chất đồng vị phóng xạ của các nguyên tố riêng biệt và theo dõi quá trình di chuyển của chúng, hoặc bằng phương pháp theo dõi sự chuyển vận xảy ra tự nhiên, các chất đồng vị không phóng xạ chuyển qua thành phần hữu sinh và vô sinh của một hệ sinh thái. Ví dụ, các nhà khoa học có thể theo dõi dòng di chuyển của nguyên tố C^{14} đi qua hệ sinh thái và giải thoát ra bầu khí quyển trong thời gian thử bom hạt nhân vào những năm 1950 và 1960. Nguyên tố C^{14} có thể được sử dụng để tính tuổi của xương và răng động vật, để đo mức độ biến đổi chất hữu cơ trong đất và để theo dõi sự thay đổi của các nguồn dự trữ carbon trong môi trường.

Hình 55.14, ở trang sau, cung cấp cái nhìn chi tiết về chu trình nước, carbon, nitrogen và phosphorus. Xem xét 4 chu trình sinh địa hoá đó một cách cẩn thận, có thể thấy nguồn dự trữ chủ yếu của mỗi nguyên tố và chiều hướng chuyển vận của mỗi nguyên tố hoá học thông qua chu trình của chúng.

Khảo sát Các chu trình dinh dưỡng

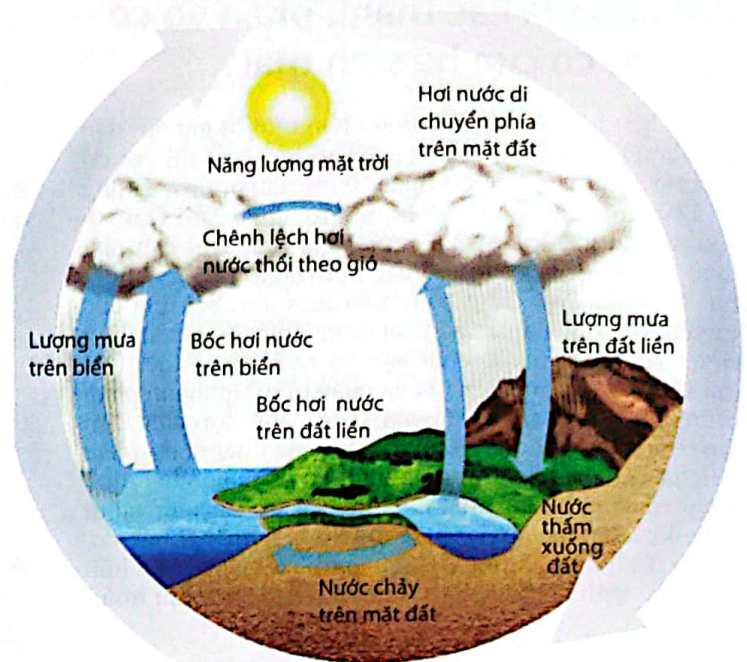
Chu trình nước

Tầm quan trọng sinh học Nước rất cần thiết cho tất cả các sinh vật (xem Chương 3) và ảnh hưởng nhiều tới các quá trình của hệ sinh thái, nhất là tới sản lượng sơ cấp và phân huỷ các chất hữu cơ ở các hệ sinh thái trên cạn.

Các dạng nước cần thiết cho sự sống Nước ở dạng lỏng là trạng thái vật lý chủ yếu được sinh vật sử dụng, mặc dù có một số sinh vật có thể thu nhận nước ở dạng hơi nước. Nước đóng băng rất ít được thực vật trên cạn sử dụng.

Nguồn dự trữ nước Đại dương chứa tới 97% lượng nước của sinh quyển. Khoảng 2% nước đóng băng và ở hai cực của Trái Đất, còn lại chỉ có 1% nguồn nước có trong các hồ, sông và trong lòng đất cùng với số lượng ít ỏi trong bầu khí quyển.

Các quá trình chủ yếu Các giai đoạn chủ yếu của chu trình nước là nước từ dạng lỏng bốc hơi dưới tác động của ánh sáng mặt trời, hơi nước ngưng tụ thành các đám mây và mưa. Thoát hơi nước ở thực vật trên cạn cũng chuyển vận một lượng hơi nước đáng kể vào bầu khí quyển. Nước bề mặt đất và nước ngầm có thể chảy xuống đại dương, khép kín chu trình chuyển vận nước. Chiều rộng của mỗi mũi tên trong hình thể hiện độ lớn của mỗi quá trình chuyển vận nước trong sinh quyển.



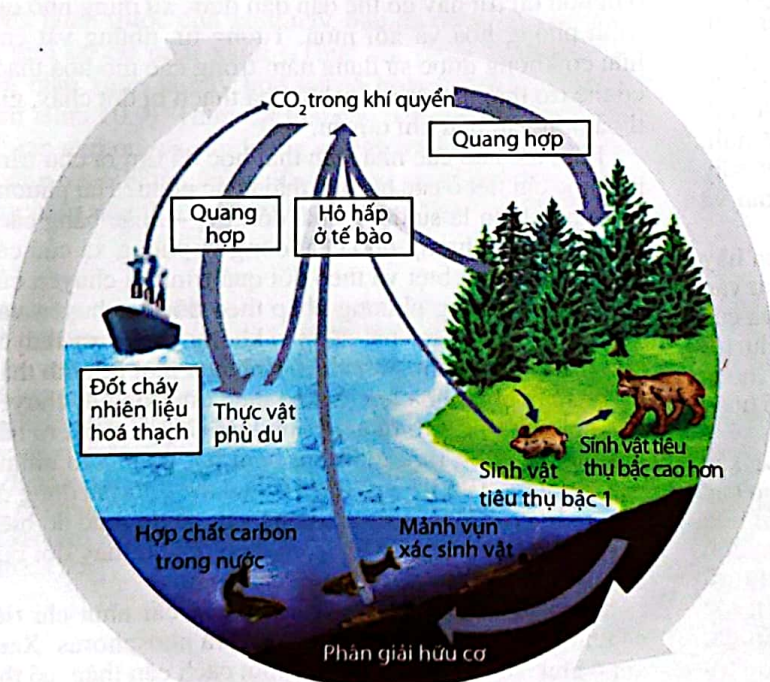
Chu trình carbon

Tầm quan trọng sinh học Carbon cấu tạo nên khung của các phân tử hữu cơ cần thiết cho tất cả các sinh vật.

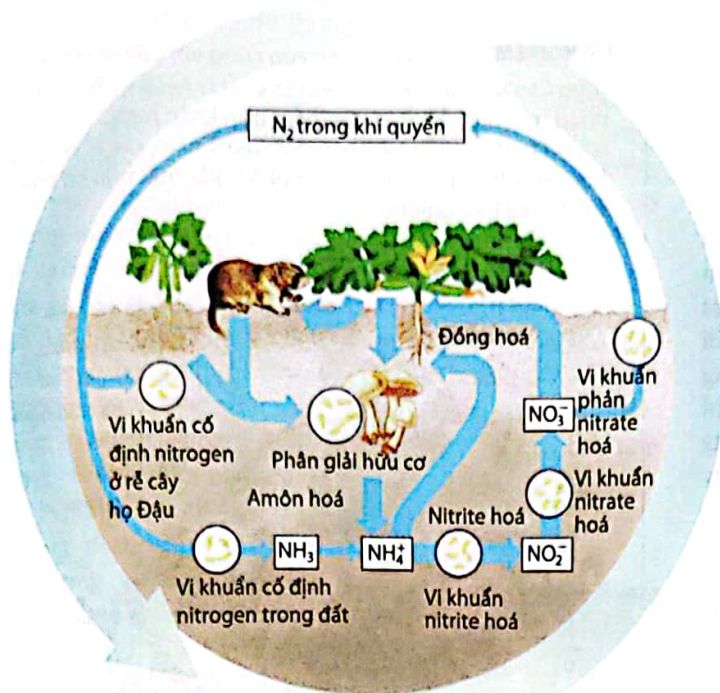
Các dạng carbon cần thiết cho sự sống Sinh vật quang hợp sử dụng CO_2 cho hoạt động quang hợp và chuyển carbon vô cơ sang hữu cơ là thức ăn của sinh vật tiêu thụ, bao gồm động vật, nấm, và cả sinh vật nguyên sinh dị dưỡng và sinh vật nhân sơ.

Nguồn dự trữ carbon Nguồn dự trữ chính của carbon là nguyên liệu hoá thạch, đất, trầm tích biển, đại dương (hợp chất carbon hoà tan), sinh khối thực vật và động vật, và trong bầu khí quyển (CO_2). Một nguồn dự trữ lớn là trong đá trầm tích như đá vôi; tuy nhiên, sự chuyển hoá carbon ở nguồn dự trữ này diễn ra rất chậm chạp.

Các quá trình chủ yếu Quang hợp ở thực vật và thực vật phù du hấp thụ một lượng lớn CO_2 trong bầu khí quyển mỗi năm. Số lượng carbon này là gần tương đương với lượng carbon quay trở lại bầu khí quyển qua hô hấp tế bào của sinh vật sản xuất và sinh vật tiêu thụ. Qua các đại địa chất, núi lửa cũng là nguồn cung cấp đáng kể khí CO_2 . Đốt cháy nguyên liệu hoá thạch làm tăng đáng kể lượng CO_2 trong bầu khí quyển. Chiều rộng của mỗi mũi tên trong hình thể hiện độ lớn của mỗi quá trình chuyển vận carbon.



Chu trình nitrogen trên cạn



Tầm quan trọng sinh học Nitrogen là một phần của các amino acid, protein, và acid nucleic và thường giới hạn sinh trưởng của thực vật.

Các dạng nitrogen cần thiết cho sự sống Thực vật sử dụng 2 dạng nitrogen vô cơ (đạm vô cơ) - amonium (NH_4^+) và nitrate (NO_3^-) và một số dạng nitrogen hữu cơ như amino acid. Các vi khuẩn khác nhau có thể sử dụng tất cả các dạng nitrogen kể cả nitrite (NO_2^-). Động vật chỉ sử dụng nitrogen hữu cơ.

Nguồn dự trữ nitrogen Nguồn dự trữ nitrogen chủ yếu là bầu khí quyển, với 80% khí nitrogen (N_2). Nguồn dự trữ khác là trong đất và các trầm tích hồ, sông và đại dương (nitrogen liên kết); nước bề mặt và nước ngầm (nitrogen hoà tan); và sinh khối của sinh vật sống.

Các quá trình chủ yếu Con đường chính của nitrogen đi vào hệ sinh thái là cố định nitrogen phân tử, vi khuẩn cố định nitrogen phân tử (N_2) thành dạng đạm có thể sử dụng để tổng hợp thành phần nitrogen hữu cơ (xem Chương 37). Một số phân tử nitrogen cũng có thể được cố định nhờ ánh sáng mặt trời. Các dạng phân đạm NH_4^+ và NO_3^- hình thành trong bầu khí quyển, theo nước mưa và bụi đi vào các hệ sinh thái. Quá trình *ammonia hoá* phân giải chất hữu cơ thành đạm ammonia (NH_4^+). Quá trình *nitrate hoá*, qua hoạt động của vi khuẩn nitrate hoá, phân giải đạm ammonia thành đạm nitrate (NO_3^-). Dưới các điều kiện kỵ khí, vi khuẩn *phản nitrate hoá* sử dụng đạm NO_3^- trong quá trình trao đổi chất thay cho O_2 và giải phóng N_2 - quá trình này gọi là phản nitrate hoá. Chiều rộng của mỗi mũi tên trong hình thể hiện độ lớn của mỗi quá trình chuyển vận nitrogen.

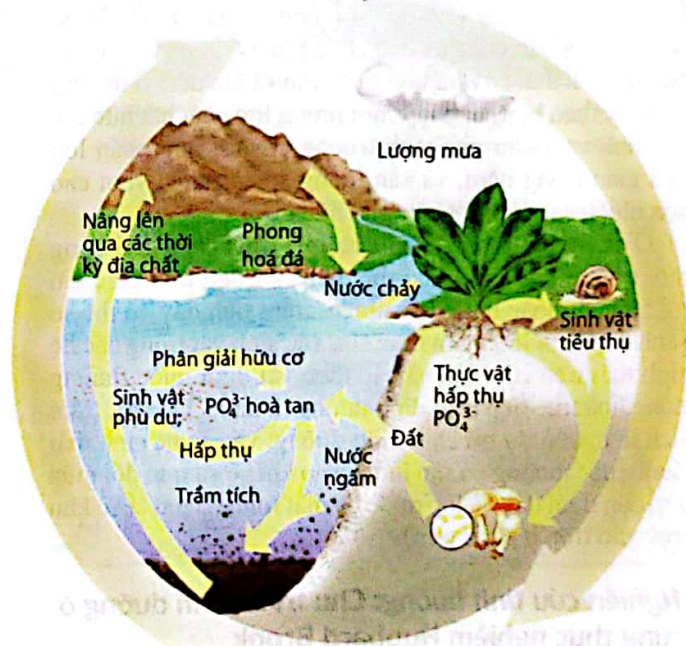
Chu trình phosphorus

Tầm quan trọng sinh học Sinh vật cần phosphorus cấu tạo nên acid nucleic, phospholipit, ATP và các phân tử giàu năng lượng khác, các khoáng của xương và răng động vật.

Các dạng phosphorus cần thiết cho sự sống Hầu hết các dạng chất vô cơ sinh học quan trọng của phosphorus là phosphate (PO_4^{3-}), là dạng thực vật có thể hấp thụ và sử dụng trong quá trình tổng hợp chất hữu cơ.

Nguồn dự trữ phosphorus Nguồn phosphorus tích lũy lớn nhất là trong đá trầm tích biển. Ngoài ra có một lượng lớn trong đất, trong đại dương (dạng hoà tan), và trong sinh vật. Do phosphate kết thành khối trong mùn và đất nên chu trình phosphorus thường giới hạn trong phạm vi của một vùng trong các hệ sinh thái.

Các quá trình chủ yếu Quá trình phong hoá đá làm tăng dần lượng phosphate PO_4^{3-} trong đất; một số trong đó chảy vào nguồn nước ngầm và nước bề mặt và có thể dần dần trôi ra biển. Phosphate được sinh vật sản xuất hấp thụ và kết hợp chặt chẽ trong các phân tử sinh học, chúng có thể đi qua lưới thức ăn qua thức ăn của sinh vật tiêu thụ. Phosphate quay trở lại đất hoặc nước qua quá trình phân giải hữu cơ hoặc bài tiết của sinh vật tiêu thụ. Phosphate không tồn tại chủ yếu ở dạng khí, chỉ một lượng nhỏ phosphorus chuyển vào khí quyển, thường hoà lẫn trong bụi và hơi nước biển. Chiều rộng của mỗi mũi tên trong hình thể hiện độ lớn của mỗi quá trình chuyển vận phosphorus.



Tốc độ phân giải và tái sinh các chất dinh dưỡng

Các sơ đồ trong Hình 55.14 minh họa vai trò cần thiết của sinh vật phân giải chất hữu cơ trong chu trình carbon, nitrogen và phosphorus. Tốc độ tái sinh (quay vòng) của các chất dinh dưỡng này là cực kỳ khác nhau, chủ yếu phụ thuộc vào sự khác nhau về tốc độ phân giải chất hữu cơ.

Phân giải hữu cơ được kiểm soát bởi các nhân tố giới hạn sản lượng sơ cấp trong các hệ sinh thái trên cạn và dưới nước (xem Khái niệm 55.2). Các nhân tố này bao gồm nhiệt độ, độ ẩm và các chất dinh dưỡng cần thiết. Trong môi trường ẩm áp, sinh vật phân giải hữu cơ thường sinh trưởng nhanh và quá trình phân giải diễn ra nhanh hơn (Hình 55.15). Ví dụ, trong rừng mưa nhiệt đới, hầu hết quá trình phân giải hữu cơ diễn ra trong thời gian trung bình là một vài tháng tới một vài năm, trong khi ở rừng ôn đới quá trình phân giải diễn ra trung bình 4 đến 6 năm. Sự khác nhau đáng kể như vậy là do tác động của nhân tố nhiệt độ cao và lượng mưa dồi dào trong các rừng mưa nhiệt đới.

Do quá trình phân giải hữu cơ trong rừng mưa nhiệt đới diễn ra nhanh chóng nên sự tích tụ các vật chất hữu cơ là xác sinh vật trên nền rừng ít; khoảng 75% chất dinh dưỡng trong hệ sinh thái có trong thân cây gỗ và 10% chứa trong đất. Do vậy, nồng độ một số chất dinh dưỡng tương đối thấp trong đất của rừng mưa nhiệt đới là kết quả của một chu trình phân giải diễn ra trong thời gian tương đối ngắn chứ không phải do thiếu các nguyên tố đó trong hệ sinh thái. Ở rừng ôn đới, quá trình phân giải diễn ra chậm hơn, đất có thể chứa tới 50% vật chất hữu cơ của hệ sinh thái. Các chất dinh dưỡng có trong các mảnh vụn từ xác sinh vật rừng ôn đới và trong đất có thể giữ lại trong đất trong thời gian tương đối dài trước khi được thực vật đồng hoá.

Quá trình phân giải trong đất diễn ra chậm hơn trong điều kiện hoặc quá khô đối với sinh vật phân giải, hoặc quá ướt làm hạn chế quá trình hấp thụ oxygen của chúng. Các hệ sinh thái có nhiệt độ quá lạnh và ẩm ướt, ví dụ như đầm lầy than bùn, tích lũy một lượng lớn vật chất hữu cơ; các sinh vật phân giải sinh trưởng chậm trong phần lớn thời gian trong năm, và sản lượng sơ cấp thực vượt cao hơn nhiều sản lượng phân giải hữu cơ.

Ở các hệ sinh thái dưới nước, quá trình phân giải trong môi trường bùn kỵ khí có thể diễn ra trong thời gian dài tới 50 năm hoặc hơn. Tuy nhiên, trầm tích đáy có thể so sánh được với lớp thảm mục của xác sinh vật trong các hệ sinh thái trên cạn; tảo và các thực vật dưới nước thường đông hoá trực tiếp chất dinh dưỡng từ nước. Do vậy, trầm tích là nguồn dự trữ chất dinh dưỡng, và các hệ sinh thái dưới nước thường có sản lượng cao khi có sự trao đổi giữa lớp bùn dưới đáy và lớp nước bề mặt (như đã mô tả về khu vực xáo trộn ở phần trên).

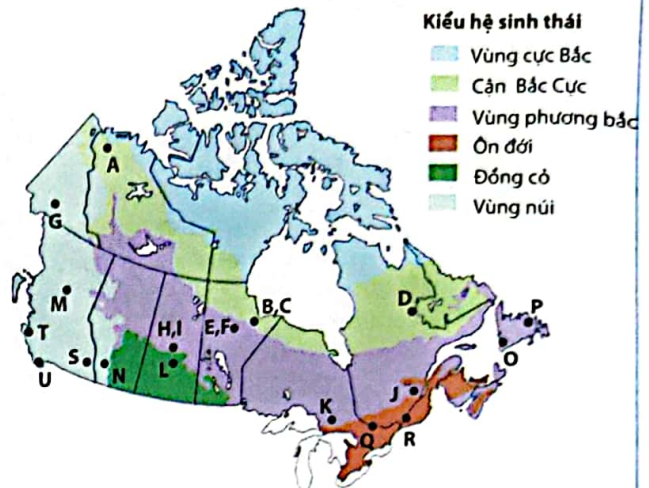
Nghiên cứu tình huống: Chu trình dinh dưỡng ở rừng thực nghiệm Hubbard Brook

Một thí nghiệm sinh thái học được thực hiện trong thời gian dài ở Bắc Mỹ. Các nhà sinh thái học Herbert Bormann, Eugene Likens cùng các đồng nghiệp đã nghiên cứu chu trình dinh dưỡng của hệ sinh thái rừng

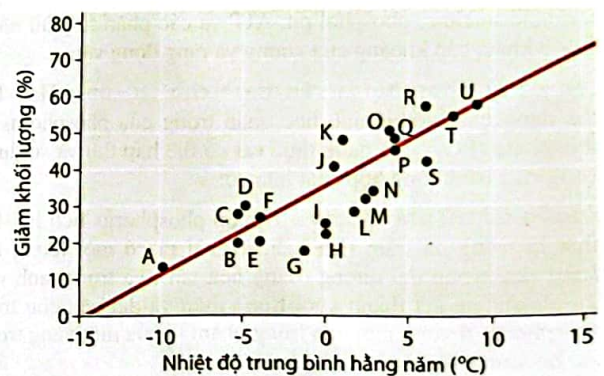
▼ Hình 55.15 Tìm hiểu

Nhiệt độ ảnh hưởng tới sự phân giải xác sinh vật trong các hệ sinh thái như thế nào?

THÍ NGHIỆM Các nhà nghiên cứu cùng với Cục Quản lý rừng Canada đã đặt các mẫu vật chất hữu cơ y hệt như nhau trên mặt đất ở 21 địa điểm trên khắp nước Canada (các vị trí đánh dấu trên bản đồ). Sau 3 năm, các nhà khoa học quay lại phân tích kết quả phân giải chất hữu cơ của từng mẫu thí nghiệm.



KẾT QUẢ Các hệ sinh thái có nhiệt độ cao có khối lượng xác sinh vật phân giải giảm 4 lần nhanh hơn so với ở hệ sinh thái vùng lạnh.



KẾT LUẬN Mức độ phân giải tăng khi nhiệt độ tăng, ở các vùng trên đất nước Canada.

NGUỒN T.R. Moore et al., Litter decomposition rate in Canada forest, *Global Change Biology* 5 :75-82 (1999).

ĐIỀU GÌ NẾU? Những nhân tố nào ngoài nhân tố nhiệt độ cũng có thể khác nhau ở 21 vị trí đó? Sự khác nhau đó có thể ảnh hưởng như thế nào tới kết quả?

từ năm 1963. Địa điểm nghiên cứu của họ là rừng thí nghiệm Hubbard Brook ở Núi trắng của New Hampshire, rừng cây rụng lá có một vài thung lũng, mỗi thung lũng thoát nước ra một lạch nhỏ, đó là một đoạn nhánh của sông Hubbard Brook. Nền đá không thấm nước nằm gần mặt đất, và nước ở mỗi thung lũng chỉ có thể chảy vào các lạch nhỏ.

Các đội nghiên cứu đầu tiên xác định lượng khoáng có trong mỗi thung lũng ở 6 thung lũng khác nhau, bằng cách đo đầu vào và đầu ra của một vài chất dinh dưỡng chủ yếu. Họ đã hứng nước mưa ở một vài vị trí để đo số lượng nước và khoáng hoà tan chảy xuống hệ sinh thái. Để giám sát lượng khoáng và nước chảy ra khỏi vùng, các nhà khoa học đã xây những con đập nhỏ bằng bê tông có đập tràn hình chữ V chắn ngang lạch thoát nước ở đáy của mỗi thung lũng (**Hình 55.16a**). Khoảng 60% lượng nước chảy vào hệ sinh thái và chảy ra qua suối là nước mưa và tuyết, khoảng 40% lượng nước mất qua bốc hơi nước và thoát hơi nước.

Những nghiên cứu ban đầu khẳng định rằng chu trình nội tại trong hệ sinh thái bảo tồn hầu hết các chất dinh dưỡng khoáng. Ví dụ, lượng calcium chảy ra khỏi thung lũng qua các kênh nhỏ dẫn nước nhiều hơn lượng calcium được cung cấp qua nước mưa chỉ có 0,3%, và lượng calcium chênh lệch đó có thể được bù đắp qua quá trình phân giải và phong hoá các chất hoá học từ nền đá. Trong nhiều năm, quả thực rừng đã tích lũy thêm một số ít chất dinh dưỡng khoáng, gồm cả nitrogen.

Trong một thí nghiệm, các cây trong một thung lũng bị chặt hạ và sau đó các nhà khoa học dùng thuốc hoá học để ngăn cản sự tái sinh của các cây (**Hình 55.16b**). Tất cả các vật chất từ thực vật ban đầu đã bị phân giải hết. Lượng nước và lượng khoáng thay đổi trong thí nghiệm này được so sánh với lượng nước và lượng khoáng của thí nghiệm đối chứng. Qua 3 năm, lượng nước chảy qua vùng thí nghiệm tăng 30 - 40% do không có cây mọc trong vùng. Lượng khoáng mất là rất lớn. Ví dụ, nồng độ Ca^{2+} trong các con kênh tăng 4 lần và nồng độ K^+ tăng 15 lần. Đáng chú ý nhất là mất nitrate, nồng độ nitrate trong nước ở các kênh tăng 60 lần, bằng với mức độ nước không an toàn khi uống (**Hình 55.16c**).

Thí nghiệm này thể hiện rằng số lượng chất dinh dưỡng trong một hệ sinh thái được kiểm soát chủ yếu bởi thực vật của hệ sinh thái đó. Chặt phá rừng sẽ gây ra hậu quả ngay sau vài tháng và tiếp tục trong nhiều năm.

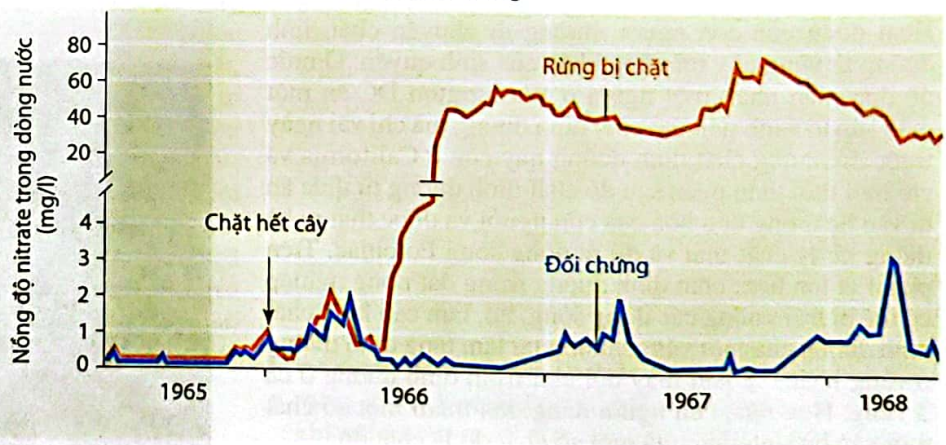
Số liệu trong thời gian nghiên cứu 45 năm từ Hubbard Brook bộc lộ một số hướng khác. Ví dụ, trong nửa thế kỷ qua, mưa acid và tuyết rơi đã hoà tan hầu hết Ca^{2+} của đất rừng và chúng đã theo dòng nước trôi đi nơi khác. Đến những năm 1990, sinh khối rừng ở Hubbard Brook đã ngừng tăng, rõ ràng là do thiếu Ca^{2+} . Để kiểm tra điều đó, các nhà sinh thái học ở Hubbard Brook bắt đầu một thí nghiệm lớn vào năm 1998. Đầu tiên họ thiết kế các đối chứng và lưu vực sông thực nghiệm, được họ giám sát qua 2 năm trước khi sử dụng máy bay trực thăng để rải thêm Ca^{2+} vào lưu vực sông thí nghiệm. Tới năm 2006, các cây thích đường mọc ở vùng rải thêm Ca^{2+} có nồng độ Ca^{2+} trong lá cao, nhờ đó tán lá phát triển mạnh và cây non mọc nhanh hơn các cây ở vùng đối chứng. Các



(a) Các đập bằng bê tông và đập tràn hình chữ V chắn ngang dòng kênh ở cuối của lưu vực sông, giúp cho các nhà khoa học có thể giám sát dòng chất dinh dưỡng và nước chảy ra khỏi hệ sinh thái.



(b) Một thung lũng bị chặt hết cây để nghiên cứu ảnh hưởng của mất thảm thực vật đến chu trình nước và chất dinh dưỡng.



(c) Nồng độ của nitrate trong dòng nước chảy từ vùng chặt phá rừng cao hơn vùng đối chứng không chặt phá rừng là 60 lần.

▲ **Hình 55.16** Chu trình dinh dưỡng ở rừng thí nghiệm Hubbard Brook: một ví dụ về nghiên cứu dài hạn hệ sinh thái.

số liệu này cho thấy, cây thích đường bị suy giảm ở vùng Đông Bắc của Hoa Kỳ và ở vùng rừng phía nam Canada một phần là do hậu quả của đất bị acid hoá.

Các nghiên cứu ở Hubbard Brook, cùng với nhiều dự án nghiên cứu dài hạn hệ sinh thái khác do Cơ quan khoa học Quốc gia tài trợ nhằm đánh giá các quá trình tự nhiên và tìm hiểu các cơ chế tác động của các hoạt động do con người tới các quá trình đó.

KIỂM TRA KHÁI NIỆM 55.4

1. **HÃY VẼ** Từ 1 trong 4 chu trình sinh địa hoá chỉ tiết trong Hình 55.14, hãy vẽ sơ đồ đơn giản thể hiện một con đường có thể có cho một nguyên tử hay một phân tử của chất hoá học đi từ nguồn vô cơ tới nguồn hữu cơ và quay trở lại.
2. Tại sao chặt phá rừng đầu nguồn nước lại làm tăng nồng độ nitrate trong các dòng kênh dẫn nước vào đầu nguồn nước?
3. **ĐIỀU GÌ NẾU?** Tại sao lượng chất dinh dưỡng trong rừng mưa nhiệt đới lại phụ thuộc nhiều vào mức độ chặt phá rừng?

Câu trả lời có trong Phụ lục A.

KHÁI NIỆM 55.5

Hoạt động của con người hiện nay đang chi phối hầu hết các chu trình hoá học trên Trái Đất

Do dân số thế giới tăng lên nhanh chóng trong thời gian qua (xem Khái niệm 53.6), hoạt động và khả năng công nghệ của chúng ta đang phá vỡ cấu trúc dinh dưỡng, dòng năng lượng và chu trình hoá học của các hệ sinh thái. Thực tế, hầu hết các chu trình hoá học hiện nay đang bị ảnh hưởng bởi các hoạt động của con người, hơn là các quá trình tự nhiên.

Làm giàu chất dinh dưỡng

Hoạt động của con người thường di chuyển chất dinh dưỡng từ vùng này tới vùng khác của sinh quyển. Ở mức độ đơn giản nhất, một người ở Washington DC ăn một mẩu súp lơ xanh tiêu thụ chất dinh dưỡng mà chỉ vài ngày trước đó những chất dinh dưỡng này còn ở California và chỉ một thời gian ngắn sau đó chất dinh dưỡng từ thức ăn đi vào hệ thống tiêu hoá của con người và được thải ra hệ thống xử lý chất thải và đổ ra dòng sông Potomac. Trên phạm vi lớn hơn, chất dinh dưỡng trong đất nông nghiệp có thể bị trôi xuống các dòng sông, hồ, làm cạn kiệt chất dinh dưỡng của một vùng, nhưng lại làm tăng dinh dưỡng ở vùng khác, và làm thay đổi chu trình dinh dưỡng ở cả 2 vùng. Hơn nữa, con người đang đưa thêm một số chất mới vào hệ sinh thái, mà một số chất đó là chất độc.

Con người đang làm thay đổi quá nhiều chu trình dinh dưỡng, có thể chúng ta không còn hiểu được một chu trình không bị tác động là như thế nào. Hãy xem xét một số ví dụ cụ thể về tác động của con người như thế nào tới động thái hoá học trong sinh quyển.

Nông nghiệp và chu trình nitrogen

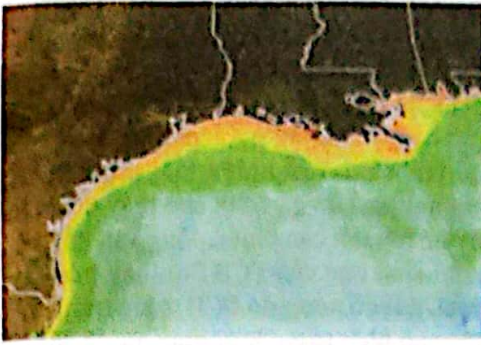
Sau khi thảm thực vật bị chặt bỏ khỏi một khu vực thì nguồn dự trữ các chất dinh dưỡng hiện có trong đất chỉ đủ cho cây trồng sinh trưởng trong một thời gian. Trong các hệ sinh thái nông nghiệp, một phần chất dinh dưỡng được cây hấp thụ tạo nên sinh khối thực vật. Khi chất dinh dưỡng trong đất dôi dào, sản lượng cây trồng có thể rất cao. Lần đầu tiên khi đất mới cày lên ở Bắc Mỹ, vụ mùa đạt sản lượng rất cao trong thời gian dài chục năm, do trong đất chứa một lượng lớn chất hữu cơ và chúng tiếp tục được phân giải trong thời gian dài, cung cấp dinh dưỡng cho cây trồng. Ngược lại, một số vùng đất ở các vùng nhiệt đới chỉ có thể trồng trọt được một hoặc hai năm do trong hệ sinh thái có ít chất dinh dưỡng dự trữ. Do vậy, ở nhiều vùng nông nghiệp đất trở nên bạc màu, rất nghèo chất dinh dưỡng.

Nitrogen là thành phần dinh dưỡng chủ yếu bị thất thoát qua quá trình canh tác nông nghiệp, do vậy hoạt động nông nghiệp được cho là tác động lớn tới chu trình nitrogen. Cày xới đất, làm tăng quá trình phân giải hữu cơ trong đất là tăng cường giải thoát nitrogen, một phần nitrogen sau đó bị đưa ra khỏi hệ sinh thái qua hoạt động thu hoạch mùa màng. Trong hệ sinh thái nông nghiệp, người ta có thể cung cấp thêm một lượng phân bón nitrogen cho đất (Hình 55.17). Ngoài ra, như trường hợp ở rừng Hubbard Brook, nếu không có thực vật bao phủ, lượng nitrate trong đất gần như bị rửa trôi khỏi hệ sinh thái.

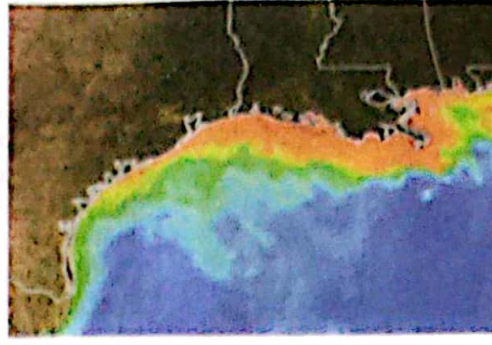
Những nghiên cứu gần đây cho thấy, hoạt động của con người đã cung cấp một lượng nitrogen nhiều gấp đôi lượng nitrogen sử dụng cho sản lượng sơ cấp của Trái Đất. Ngành sản xuất phân bón cung cấp một lượng lớn nhất phân bón nitrogen. Đốt cháy nhiên liệu hoá thạch cũng giải thoát một lượng lớn khí nitrogen oxide, chúng bay vào bầu khí quyển và hoà tan trong nước mưa; nitrogen cuối cùng đi vào hệ sinh thái, là cơ sở để tạo ra nitrate. Tăng cường trồng cây họ đậu, với các vi sinh vật cộng sinh có khả năng cố định nitrogen, là hoạt động thứ ba của con người góp phần làm tăng cố định nitrogen trong đất.



▲ Hình 55.17 Bón phân đạm cho ngô. Để bù đắp lượng dinh dưỡng trong đất do cây trồng sử dụng, những người nông dân phải cung cấp thêm một lượng phân bón, hoặc là phân hữu cơ hoặc là phân vô cơ tổng hợp từ các nhà máy.



Mùa đông



Mùa hè

◀ **Hình 55.18** Vùng chết xuất hiện do ô nhiễm nitơgen ở lưu vực sông Mississippi. Trong các ảnh vệ tinh từ năm 2004, màu đỏ và vàng thể hiện mật độ thực vật phù du cao và trầm tích sông ở vịnh Mexico. Vùng chết này vào mùa hè trải rộng hơn nhiều so với ở mùa đông.

Ô nhiễm các hệ sinh thái nước

Vấn đề chủ chốt liên quan đến thừa chất dinh dưỡng là **gánh nặng tối hạn**, tức là lượng chất dinh dưỡng thêm vào, thường là nitrogen và phosphorus, được thực vật hấp thụ mà không làm tổn hại đến sự toàn vẹn của hệ sinh thái. Ví dụ, một khi nitrogen khoáng trong đất vượt quá gánh nặng tối hạn và cuối cùng ngấm vào các mạch nước ngầm hoặc chảy vào các hệ sinh thái nước ngọt hoặc hệ sinh thái biển, làm ô nhiễm nguồn nước và giết chết cá. Ở các vùng nông nghiệp, nồng độ nitrate ở mạch nước ngầm thường tăng cao, vượt quá ngưỡng nước uống an toàn.

Nitrate và ammonia dùng trong nông nghiệp chảy xuống nhiều dòng sông, cùng với chất thải có nồng độ chất ô nhiễm cao đến nhiều nhất từ Bắc Âu và miền Trung nước Mỹ đổ xuống Đại Tây Dương. Sông Mississippi mang một lượng lớn chất ô nhiễm nitrogen đổ xuống vịnh Mexico. Do lượng chất dinh dưỡng tăng cao nên thực vật phù du nở hoa vào mỗi mùa hè. Khi thực vật phù du bị chết, quá trình phân huỷ xác của chúng làm cho nồng độ oxygen trong nước hạ xuống rất thấp, gây nên một "vùng chết" chạy dọc theo bờ biển (**Hình 55.18**). Cá, tôm và nhiều sinh vật biển khác biến mất khỏi một số vùng nước kinh tế quan trọng của đất nước. Để giảm diện tích của vùng chết, những người nông dân khôi phục lại các vùng đất ngập nước ở lưu vực sông Mississippi và kết quả thực nghiệm đã đem lại hai sự thay đổi.

Nồng độ chất dinh dưỡng quá cao cũng có thể gây hiện tượng phì dưỡng ở các hồ nước, như chúng ta đã học ở Khái niệm 55.2. Tảo và vi khuẩn lam bùng phát rồi chết, tiếp đến là nồng độ oxygen trong nước hạ thấp, tương tự như những gì xảy ra vùng biển chết. Những điều kiện môi trường như vậy đe dọa sự tồn tại của các sinh vật. Ví dụ, vào những năm 1960, phú dưỡng ở hồ Erie cùng với việc đánh bắt cá vì mục đích thương mại quá mức đã làm cạn kiệt nguồn cá trong hồ, như các loài cá chó xanh, cá hồi trắng, cá hồi hồ. Sau khi có quy định nghiêm ngặt về việc đổ chất thải xuống hồ đã góp phần phục hồi một số loài cá, tuy nhiên nhiều loài cá địa phương và một số loài động vật không xương sống đã không phục hồi được.

Mưa acid

Việc đốt cháy gỗ củi và sản phẩm hoá thạch như than đá và dầu mỏ thải ra một lượng khí oxide lưu huỳnh và nitrogen oxide, những chất này phản ứng với nước trong bầu khí quyển hình thành acid sulphuric và acid nitric.

Các acid này có độ pH thấp hơn 5,2 hoà tan trong nước mưa, tuyết, sương mù và rơi xuống mặt đất. Mưa acid làm giảm độ pH của nước trong các sông, suối và hồ, và làm ảnh hưởng tới hoá học đất cũng như lượng chất dinh dưỡng trong đất và nước. Mặc dù mưa acid đã xuất hiện từ thời Cách mạng công nghiệp, nhưng trong thế kỷ vừa qua khí thải gây mưa acid ngày một tăng lên chủ yếu từ hoạt động luyện quặng và sản xuất nhiệt điện.

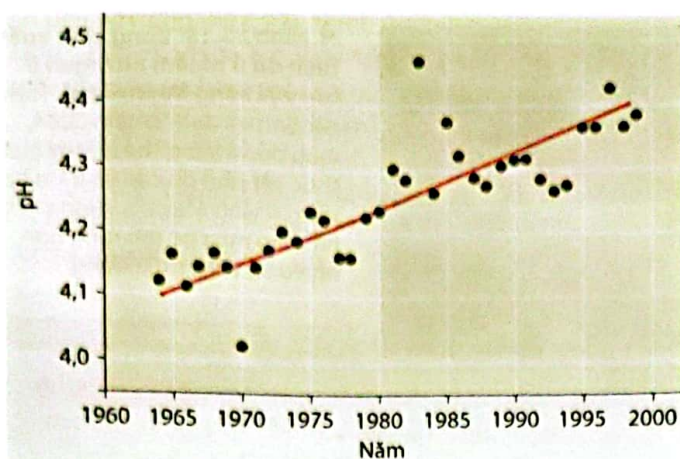
Mưa acid là vấn đề của một vùng, phát sinh từ hoạt động thải khí của vùng đó. Các nhà máy luyện quặng và sản xuất điện được xây dựng với những ống khói cao hơn 300m có thể làm giảm ô nhiễm khí ở một vùng, nhưng lại phát tán không khí ô nhiễm tới vùng khác. Khí lưu huỳnh và nitrogen có thể bị cuốn đi xa tới hàng trăm kilomet, trước khi theo nước mưa rơi xuống đất.

Vào những năm 1960, các nhà sinh thái học đã xác nhận rằng các sinh vật sống trong hồ ở miền Đông Canada đã bị chết do ô nhiễm không khí gây ra do các nhà máy ở vùng trung tâm của miền Tây nước Mỹ. Các hồ nước và sông suối ở miền Nam Na Uy và Thụy Điển đã bị mất nguồn cá do mưa acid, do hoạt động của các nhà máy ở Anh và Trung Âu. Năm 1980, độ pH trung bình của nước mưa ở vùng rộng lớn của Bắc Mỹ và châu Âu là 4,0 - 4,5 và thỉnh thoảng giảm xuống tới 3.

Trong các hệ sinh thái trên cạn, như hệ sinh thái rừng rụng lá ở New England, sự thay đổi độ pH đất do mưa acid làm cho calcium và các chất dinh dưỡng khác trong đất bị nước rửa trôi (xem nghiên cứu Hubbard Brook ở Khái niệm 55.4). Sự thay đổi chất dinh dưỡng trong đất ảnh hưởng tới thể chất của thực vật và hạn chế sinh trưởng của chúng. Mưa acid cũng có thể phá huỷ trực tiếp thực vật, chủ yếu do rửa trôi các chất dinh dưỡng ở lá cây.

Các hệ sinh thái nước ngọt đặc biệt nhạy cảm với mưa acid. Các hồ ở Bắc Mỹ và Bắc Âu rất dễ bị mưa acid phá huỷ, do các hồ này có nồng độ chất đệm là bicarbonate rất thấp (xem Chương 3). Quần thể cá giảm trong hàng nghìn hồ nước ở Na Uy và Thụy Điển, nơi có độ pH của nước mưa hạ xuống dưới 5. Ở Canada, loài cá hồi áp trứng khi mới sinh, là loài chủ chốt trong quần xã, bị chết khi pH xuống dưới 5,4. Trong hồ, khi cá hồi bị các loài cá chịu được acid thay thế thì động thái của lưới thức ăn thay đổi đột ngột.

Một vài thí nghiệm ở hệ sinh thái lớn đã được tiến hành để kiểm tra tính khả thi của việc khắc phục hậu quả của mưa acid. Một trong số thí nghiệm đó là thí nghiệm



▲ **Hình 55.19** Thay đổi độ pH của nước mưa ở Hubbard Brook. Mặc dù vẫn còn rất acid, độ pH của nước mưa ở rừng thuộc vùng Đông Bắc của nước Mỹ này đang ngày một tăng lên, trong ba thập kỷ qua.

thêm Ca^{2+} ở Hubbard Brook mà chúng ta đã thấy ở phần đầu của chương này. Một thí nghiệm khác là thí nghiệm 17 năm ở Na Uy, trong đó các nhà khoa học xây dựng một mái nhà bằng kính bao quanh một vùng rừng đã bị mưa acid, sau đó làm mưa nhân tạo rửa hết acid trên cây. Con mưa nhân tạo “rửa cây” này đã nhanh chóng làm cho độ pH tăng và làm giảm nồng độ nitrate, ammonia và sulphate trong nước chảy ra từ rừng. Kết quả thu được từ những thí nghiệm này và các thí nghiệm khác đã thuyết phục được các nhà lãnh đạo của hơn 40 quốc gia châu Âu ký hiệp ước giảm ô nhiễm không khí.

Các quy định về bảo vệ môi trường và các công nghệ công nghiệp mới đang giúp cho các nước phát triển giảm lượng sulfur dioxide vào không khí trong 40 năm qua. Ví dụ, ở Mỹ, lượng sulfur dioxide thải ra đã giảm 31% giữa những năm 1993 – 2002. Kết quả, nước mưa ở miền Đông Bắc nước Mỹ giảm acid dần dần (**Hình 55.19**). Tuy nhiên, các nhà sinh thái học cho rằng cần phải mất hàng chục năm nữa để phục hồi các hệ sinh thái trong vùng này, cho dù việc thải sulfur dioxide tiếp tục giảm dần. Trong khi đó, thải nitrogen oxide đang ngày một tăng lên ở Mỹ, và thải sulfur dioxide và mưa acid đang tiếp tục phá huỷ các vùng rừng ở Trung và Đông Âu.

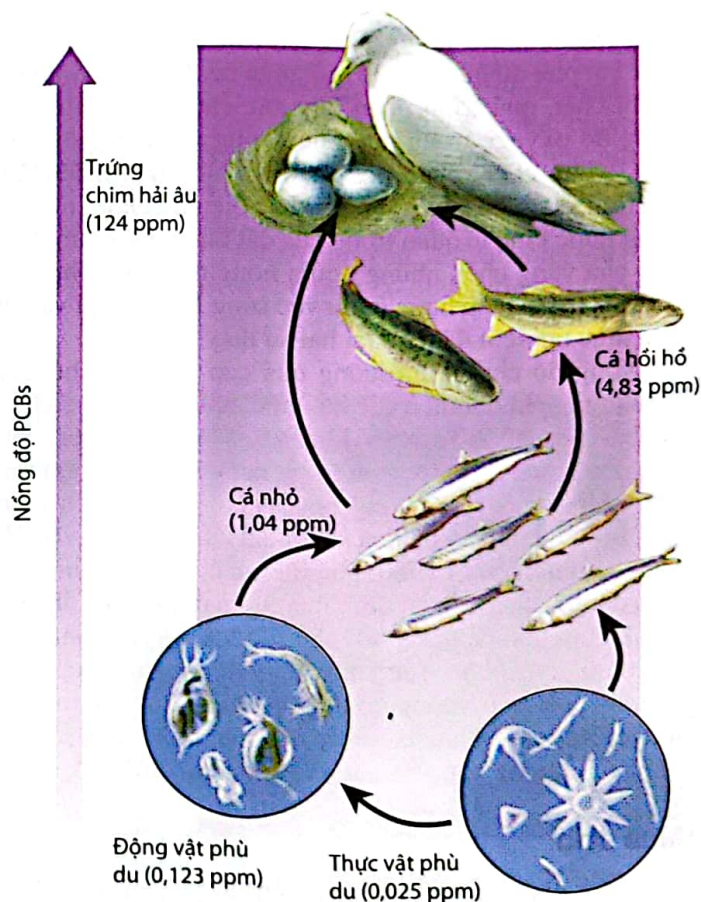
Các chất độc trong môi trường

Con người thải rất nhiều các chất hoá học độc hại, bao gồm hàng nghìn hợp chất tổng hợp chưa từng có trong tự nhiên mà rất ít quan tâm đến hậu quả sinh thái của chúng. Sinh vật thu nhận các chất độc từ môi trường, qua thức ăn và nước uống. Một số chất độc đi vào con đường trao đổi chất và được tiết ra ngoài, nhưng một số chất khác lại tích tụ trong một số mô riêng biệt, đặc biệt là mô mỡ. Một trong những lý do của việc tích tụ chất độc rất có hại đó là nồng độ chất độc tăng dần khi chuyển dần qua bậc dinh dưỡng của lưới thức ăn, quá trình đó gọi là **khuếch đại sinh học**. Khuếch đại sinh học xảy ra do sinh khối ở một bậc dinh dưỡng cao được hình thành trên cơ sở sinh khối lớn hơn của bậc thấp hơn (xem Chương 55.3). Do vậy, động vật ăn thịt bậc cao nhất có xu hướng là sinh

vật bị ảnh hưởng nghiêm trọng nhất của chất độc từ môi trường.

Một loại hợp chất tổng hợp công nghiệp được tìm thấy trong khuếch đại sinh học là hydrocarbon được chlorid hoá bao gồm các hoá chất công nghiệp được gọi là PCB (polychlorinated biphenyls) và nhiều loại thuốc trừ sâu như DDT. Những nghiên cứu gần đây cho thấy nhiều hợp chất độc phá huỷ hệ nội tiết của nhiều động vật, kể cả con người. Khuếch đại sinh học của PCB tìm thấy trong lưới thức ăn ở hồ Great, nơi có nồng độ PCB trong trứng chim hải âu, loài ở bậc cao nhất trong lưới thức ăn, là gần gấp 5000 lần lượng chất này trong thực vật phù du, sinh vật sản xuất của lưới thức ăn (**Hình 55.20**).

Một trường hợp rất được biết đến trong khuếch đại sinh học gây hại cho động vật ở bậc dinh dưỡng cao nhất là hợp chất DDT. DDT là hoá chất được sử dụng làm thuốc diệt côn trùng gây hại cho nông nghiệp và diệt muỗi. Trong thập kỷ sau Chiến tranh Thế giới lần thứ II, DDT được sử dụng rất rộng rãi, và hậu quả sinh thái của nó chưa được hiểu đầy đủ. Vào những năm 1950, các nhà khoa học nhận thấy DDT tồn tại rất lâu trong môi trường và phát tán theo dòng nước từ một vùng tới những vùng khác ở rất xa nơi sử dụng. Dấu hiệu đầu tiên cho thấy DDT là chất độc nghiêm trọng đối với môi trường là quần thể của các loài bồ nông, chim ưng biển, đại bàng và những loài chim ăn thịt thuộc bậc cao nhất trong chuỗi thức ăn bị suy giảm. Sự tích tụ DDT (và DDE - sản phẩm phân huỷ từ DDT) trong mô của các loài chim gây cản



▲ **Hình 55.20** Khuếch đại sinh học của PCBs trong lưới thức ăn ở hồ Great.

trở khả năng tổng hợp vỏ calcium của trứng chim. Khi chim bố mẹ cố gắng ấp trứng, chim bố mẹ sẽ rất dễ làm cho trứng bị vỡ, kết quả làm giảm tỷ lệ sinh sản của chim. Trong sách *Silent Spring*, Rachel Carson vào những năm 1960 đã giúp công chúng hiểu được vấn đề này (xem Chương 52) và DDT sau đó bị cấm sử dụng ở Mỹ vào năm 1971. Sau khi cấm, các quần thể chim bị ảnh hưởng của DDT đã phục hồi nhanh chóng.

Ở những vùng nhiệt đới, DDT vẫn còn được sử dụng để diệt muỗi gây bệnh sốt rét và nhiều bệnh khác. Các xã hội ở đây phải giải quyết mâu thuẫn giữa việc bảo vệ con người với bảo vệ các loài sinh vật khác. Hướng giải quyết dường như tốt nhất là sử dụng hạn chế DDT và phải kết hợp với nhiều biện pháp khác như sử dụng màn chống muỗi, hoặc các biện pháp đơn giản hơn. Lịch sử phức tạp của sử dụng DDT cho thấy tầm quan trọng của những hiểu biết về sinh thái học, liên quan giữa bệnh tật và các quần xã (xem Khái niệm 54.5).

Có nhiều chất độc mà vi sinh vật không thể phân giải được và các chất độc đó tồn tại lâu dài trong môi trường hàng năm hoặc thậm chí hàng chục năm. Mặt khác, chất hoá học thoát ra môi trường có thể chỉ tương đối độc hại, nhưng khi chúng phản ứng với các chất hoá học khác hoặc do ánh sáng mặt trời, hoặc do hoạt động của vi sinh vật thì có thể trở thành chất vô cùng độc hại. Ví dụ, chất thủy ngân, là sản phẩm thải ra sau quá trình sản xuất nhựa và máy phát điện chạy bằng than đá, khi chảy xuống sông và biển trở thành dạng hoà tan. Vi sinh vật ở đáy chuyển hoá thủy ngân thành methyl thủy ngân (CH_3Hg^+), là một chất cực kỳ độc hại tích lũy trong mô của sinh vật, kể cả mô người, ăn cá từ nước bị ô nhiễm.

Khí nhà kính và sự nóng lên trên toàn cầu

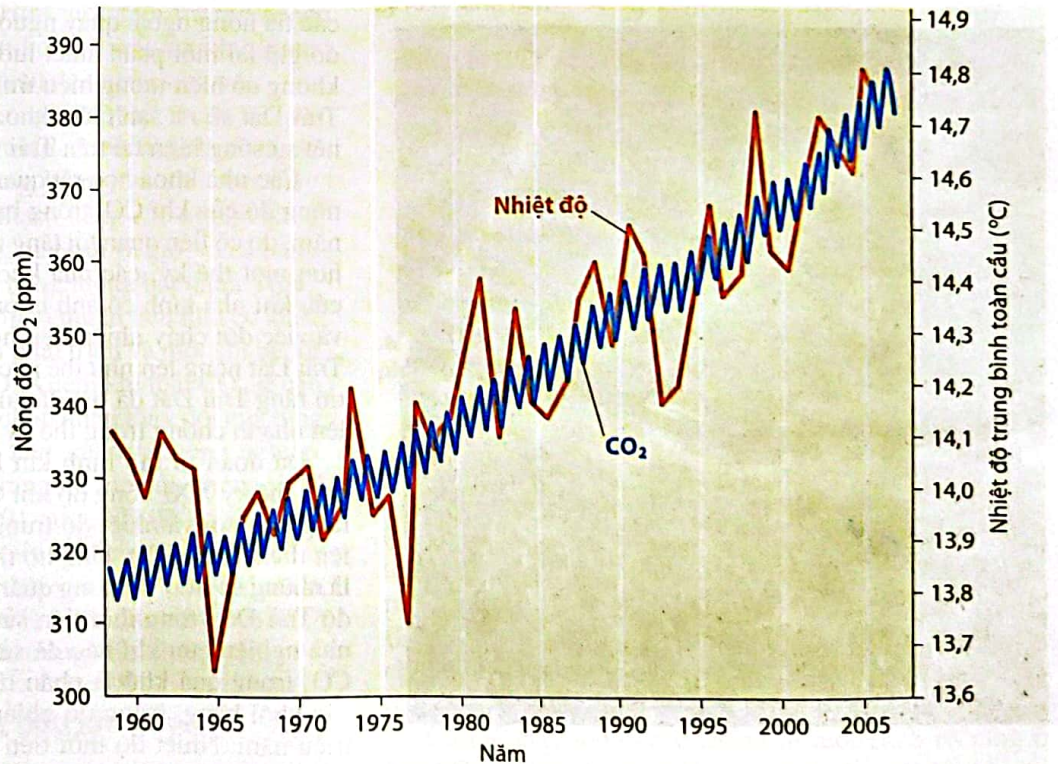
Hoạt động của con người thải ra nhiều loại khí. Con người từng nghĩ rằng bầu khí quyển vô cùng to lớn và chúng có thể hấp thụ hết các loại khí thải đó, nhưng ngày nay chúng ta đã biết rằng tăng thêm nhiều loại khí có thể gây nên những thay đổi rất cơ bản của bầu khí quyển và tương tác của các khí đó với những phần khác của sinh quyển. Trong phần này, chúng ta sẽ xem xét nồng độ khí carbon dioxide trong bầu khí quyển tăng lên như thế nào và ảnh hưởng của hiện tượng Trái Đất nóng lên đến các hệ sinh thái. Cho dù nóng lên toàn cầu

có thể đem lại một vài lợi ích cho con người, nhưng sẽ ảnh hưởng lớn tới các sinh vật, và con người phải trả giá đắt cho những hoạt động làm cho Trái Đất nóng lên.

Nồng độ khí CO_2 trong bầu khí quyển tăng lên

Kể từ Cách mạng công nghiệp, nồng độ khí CO_2 trong bầu khí quyển đã ngày một tăng lên, đó là do kết quả của quá trình đốt cháy nhiên liệu hoá thạch và khai thác rừng. Các nhà khoa học tính toán rằng, nồng độ khí CO_2 trong bầu khí quyển trước năm 1850 là khoảng 274 ppm. Năm 1958, một trạm giám sát đã được xây dựng ở núi Mauna Loa của Hawaii, là nơi ở xa thành phố và có độ cao phù hợp, để đo chính xác nồng độ khí CO_2 trong bầu khí quyển. Ở vào thời gian đó, nồng độ khí CO_2 là 316 ppm (Hình 55.21). Ngày nay, nồng độ này đã vượt quá 380 ppm, tăng khoảng 40% kể từ giữa thế kỷ XIX. Nếu lượng khí thải CO_2 tiếp tục tăng với mức độ hiện tại, thì đến năm 2075 nồng độ khí CO_2 trong bầu khí quyển sẽ tăng lên gấp đôi, so với thời gian bắt đầu của Cách mạng công nghiệp.

Tăng sản lượng thực vật là một trong những hệ quả được dự báo của tăng nồng độ khí CO_2 . Quả thực, khi nồng độ CO_2 tăng lên trong các nhà kính thí nghiệm thì hầu hết thực vật sinh trưởng rất nhanh. Do lượng CO_2 có trong không khí làm hạn chế sự phân bố của thực vật C_3 hơn nhiều so với sự phân bố của thực vật C_4 (xem Chương 10), nên một trong số các tác động do gia tăng nồng độ khí CO_2 toàn cầu sẽ giúp mở rộng các nơi sống trên cạn cho thực vật C_3 tới những nơi mà hiện tại đang thích hợp



▲ Hình 55.21 Tăng nồng độ CO_2 trong bầu khí quyển ở Mauna Loa của Hawaii, và nhiệt độ trung bình toàn cầu. Ngoài sự thay đổi theo mùa, nồng độ CO_2 (đường màu xanh) tăng lên một cách đáng kể từ năm 1958 tới 2007. Mặc dù nhiệt độ trung bình trên toàn cầu (đường màu đỏ) dao động lớn trong cùng thời gian, nhưng vẫn thể hiện rõ ràng chiều hướng tăng nhiệt độ trên toàn cầu.

cho thực vật C_4 . Sự thay đổi này có thể khiến cho cây ngô - loài thực vật C_4 và hầu hết các cây lương thực có hạt quan trọng ở Mỹ, sẽ bị thay thế bởi lúa mì và đậu tương là các loài cây trồng phát triển mạnh hơn ngô trong môi trường giàu CO_2 . Để dự báo những ảnh hưởng tăng dần và phức tạp của việc tăng nồng độ khí CO_2 đến năng suất và thành phần loài, các nhà khoa học đã chuyển sang nghiên cứu thí nghiệm thực địa dài hạn.

Nồng độ khí CO_2 tăng lên ảnh hưởng như thế nào tới sinh thái rừng: Thí nghiệm FACTS-I

Để đánh giá xem nồng độ khí CO_2 trong bầu khí quyển tăng lên có ảnh hưởng như thế nào tới rừng ôn đới, các nhà khoa học ở Trường Đại học Duke vào năm 1995 đã tiến hành thí nghiệm Vận chuyển và tích lũy carbon giữa rừng và khí quyển (FACTS-I). Các nhà nghiên cứu đã thiết kế thí nghiệm làm thay đổi nồng độ CO_2 tiếp xúc với cây. Thí nghiệm FACTS-I được tiến hành tại 6 ô thí nghiệm trong vùng rừng thông rộng 80 ha (200 acre), trong khu vực thực nghiệm của trường đại học. Bao quanh diện tích của mỗi ô thí nghiệm rộng chừng 30m đường kính người ta đóng 16 cọc cao (Hình 55.22). Tại 3 trong số 6 ô thí nghiệm, mỗi ô có một tháp cao trên đó có vòng tròn tỏa ra lượng khí có nồng độ CO_2 cao hơn nồng độ CO_2 của không khí vào ban ngày khoảng 1,5 lần. Trên đỉnh tháp đặt các thiết bị đo hướng và tốc độ gió, điều chỉnh sự phân phối CO_2 để giữ cho nồng độ CO_2 luôn ổn định. Tất cả các nhân tố khác, như nhiệt độ, lượng mưa và tốc độ gió, hướng gió, thay đổi một cách bình thường cho cả ô thí nghiệm và ô đối chứng tiếp xúc với CO_2 của khí quyển.



▲ Hình 55.22 Thí nghiệm trên diện rộng về ảnh hưởng của nồng độ CO_2 tăng lên. Các vòng tròn trên các tháp ở rừng thí nghiệm thuộc Trường Đại học Duke toả ra một lượng khí CO_2 đủ để làm tăng và giữ ổn định nồng độ CO_2 là 200 ppm cao hơn nồng độ CO_2 hiện nay trong một nửa số ô thí nghiệm.

Nghiên cứu FACTS-I nhằm kiểm tra xem nồng độ CO_2 trong không khí tăng lên ảnh hưởng ra sao đến sự sinh trưởng của cây, nồng độ carbon trong đất, các quần thể côn trùng, độ ẩm đất, sự sinh trưởng của thực vật dưới tán và các nhân tố khác. Sau 10 năm nghiên cứu, các cây trong ô thí nghiệm tạo ra khoảng 15% lượng gỗ mỗi năm cao hơn cây trong ô đối chứng. Việc tăng sinh trưởng này là rất quan trọng với cây lấy gỗ và các cây tích lũy carbon, tuy nhiên, tăng sản lượng này còn thấp hơn nhiều kết quả thí nghiệm trong nhà kính. Lượng nitrogen và các chất dinh dưỡng khác trong đất rõ ràng đã giới hạn khả năng sử dụng CO_2 bổ sung của các cây. Các nhà nghiên cứu thuộc thí nghiệm FACTS-I đã loại bỏ các hạn chế này bằng cách tiến hành bón phân ammonium nitrate vào một nửa số ô thí nghiệm trong năm 2005.

Trong hầu hết các hệ sinh thái trên Trái Đất, chất dinh dưỡng làm hạn chế sản lượng của hệ sinh thái, tuy nhiên bón phân không thể thực hiện rộng rãi được. Kết quả của thí nghiệm FACTS-I và các thí nghiệm khác cho thấy tăng nồng độ CO_2 trong bầu khí quyển sẽ làm tăng một phần sản lượng thực vật, tuy nhiên lượng gia tăng thấp hơn nhiều so với các nhà khoa học ở thập kỷ trước đã dự đoán.

Hiệu ứng nhà kính và khí hậu

Nồng độ của khí nhà kính tăng lên trong thời gian dài, ví dụ như nồng độ khí CO_2 , đang làm thay đổi nhiệt độ của Trái Đất. Một phần lớn năng lượng mặt trời chiếu xuống Trái Đất phản chiếu quay trở lại và đi vào bầu khí quyển. Mặc dù CO_2 , hơi nước và các khí nhà kính trong bầu khí quyển đều trong suốt, ánh sáng có thể xuyên qua, nhưng chúng cũng ngăn chặn và hấp thụ một lượng tia hồng ngoại tạo nhiệt độ. Từ bầu khí quyển, một số trong số các tia hồng ngoại quay ngược trở lại Trái Đất. Quá trình đó giữ lại một phần nhiệt lượng mặt trời. Nếu hoàn toàn không có hiện tượng hiệu ứng nhà kính thì nhiệt độ của Trái Đất sẽ rất lạnh lẽo, khoảng $-18^\circ C$ ($-2,4^\circ F$), và hầu hết sự sống hiện tại trên Trái Đất không thể tồn tại.

Các nhà khoa học rất quan tâm tới việc tăng đáng kể nồng độ của khí CO_2 trong bầu khí quyển trong hơn 150 năm, do có liên quan tới tăng nhiệt độ của Trái Đất. Trong hơn một thế kỷ, các nhà khoa học đã tiến hành nghiên cứu khí nhà kính có ảnh hưởng như thế nào tới Trái Đất và việc đốt cháy nhiên liệu hoá thạch góp phần làm cho Trái Đất nóng lên như thế nào. Hầu hết các nhà khoa học tin rằng Trái Đất đã bắt đầu nóng lên và sẽ tiếp tục nóng lên nhanh chóng trong thế kỷ tới (xem Hình 55.21).

Dự đoán từ mô hình khí hậu toàn cầu cho rằng vào cuối thế kỷ XXI nồng độ khí CO_2 trong bầu khí quyển sẽ tăng gấp đôi và nhiệt độ trung bình của Trái Đất sẽ tăng lên thêm $3^\circ C$ ($5^\circ F$). Ủng hộ theo dự báo của mô hình đó là những số liệu về tương quan giữa nồng độ CO_2 và nhiệt độ Trái Đất trong thời tiền sử. Một phương pháp mà các nhà nghiên cứu khí hậu đã sử dụng để ước tính nồng độ CO_2 trong quá khứ là phân tích lượng CO_2 bị giữ trong các khối băng, trong đó nhiều khối băng đã tồn tại nửa triệu năm. Nhiệt độ thời tiền sử được phỏng đoán bằng một vài phương pháp, bao gồm cả phương pháp phân tích thực vật trong quá khứ qua các hoá thạch và phân tích thành phần hoá học của các trầm tích và của san hô. Có thể nhiệt độ đã tăng lên $1,3^\circ C$ làm cho Trái Đất ấm hơn trong thời gian 100.000 năm trước.

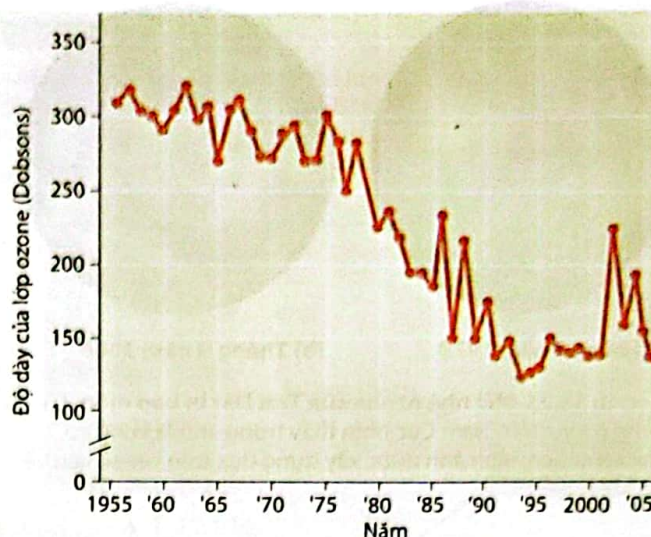
Hiện nay, những hệ sinh thái có nhiệt độ tăng lớn nhất đã xuất hiện là ở các vùng phía Bắc, đặc biệt là rừng lá kim phương bắc và đồng rêu đới lạnh. Ở đó tuyết và băng tan để lộ mặt đất, mặt đất hấp thụ nhiều năng lượng ánh sáng và bức xạ tia sáng mặt trời vào bầu khí quyển hơn, nhiệt độ tăng hơn trước đó. Băng ở biển Bắc Cực vào năm 2007 bao phủ một diện tích nhỏ nhất từng thấy. Mô hình khí hậu cho thấy vào cuối thế kỷ có thể sẽ không có băng vào mùa hè. Điều đó làm giảm môi trường sống của gấu Bắc cực, hải cẩu và chim biển. Nhiệt độ tăng cao hơn cũng làm tăng khả năng cháy rừng. Ở rừng phương bắc thuộc vùng phía tây của Bắc Mỹ và ở nước Nga, cháy rừng đã tăng lên gấp đôi và xảy ra thường xuyên trong thập kỷ qua.

Xu hướng ấm lên cũng làm thay đổi sự phân bố địa lý của lượng mưa trên toàn cầu, ví dụ như những vùng nông nghiệp quan trọng nhất ở miền Trung nước Mỹ có thể bị khô hạn hơn. Tuy nhiên, các mô hình toán học khác nhau cũng chưa thống nhất được những ảnh hưởng chi tiết đến khí hậu của mỗi vùng. Từ những nghiên cứu về nhiệt độ Trái Đất nóng lên và lạnh đi trong quá khứ đã ảnh hưởng như thế nào tới quần xã sinh vật, các nhà sinh thái học đang cố gắng dự báo hậu quả của sự thay đổi nhiệt độ trong tương lai. Những phân tích về hoá thạch của bào tử phấn hoa cho thấy các quần xã thực vật đã thay đổi rất nhiều cùng với sự thay đổi của nhiệt độ. Trong quá khứ, nhiệt độ thay đổi từ từ, nhờ đó thực vật và động vật có thời gian để di cư từ vùng này sang vùng khác, tới nơi có các điều kiện vô cơ cho phép chúng tồn tại. Ngược lại, nhiều sinh vật, nhất là thực vật và những sinh vật không có khả năng di chuyển đi xa, sẽ không có thể sống sót khi khí hậu thay đổi nhiều. Hơn nữa, môi trường sống ngày nay bị phân mảnh nhiều hơn so với quá khứ (xem Chương 56) làm hạn chế thêm sự di cư của sinh vật.

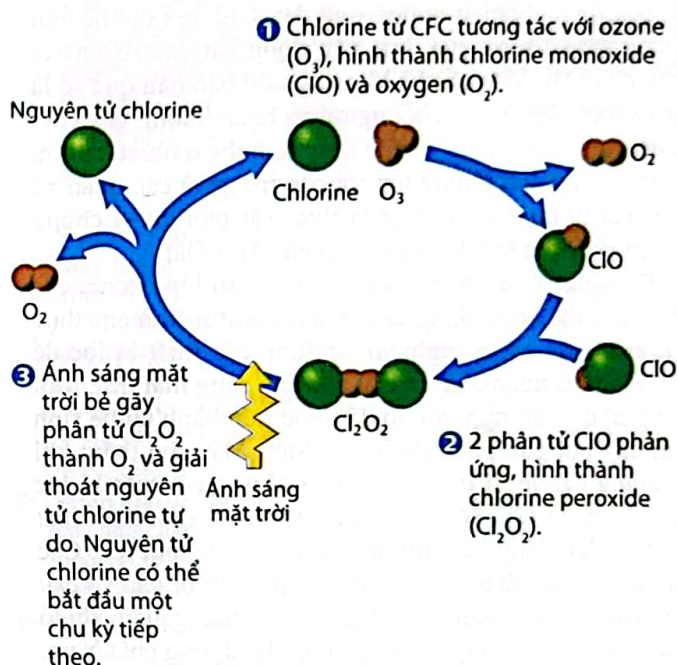
Chúng ta sẽ cần có nhiều công cụ để làm chậm lại quá trình nóng lên toàn cầu. Tiến triển nhanh nhất là sử dụng một cách hiệu quả nguồn năng lượng, và dần dần thay thế sử dụng năng lượng hoá thạch bằng các nguồn năng lượng thay thế như năng lượng mặt trời và gió, và cả năng lượng đang còn tranh cãi như năng lượng hạt nhân. Ngày nay, than đá, khí gas, củi và nhiên liệu hữu cơ khác tập trung chủ yếu ở các xã hội phát triển và một khi bị đốt cháy sẽ thải một lượng khí CO_2 . Giảm khí thải CO_2 sẽ cần nỗ lực quốc tế và một thái độ chấp nhận thay đổi của từng cá nhân, cùng với những cải tiến sản xuất công nghiệp. Nhiều nhà sinh thái học cho rằng nỗ lực của chúng ta đã bị đẩy lùi lại, khi vào năm 2001 nước Mỹ đã tuyên bố rút khỏi Nghị định thư Kyoto và lời hứa của các nước công nghiệp là giảm 5% lượng khí thải vào năm 1997. Mặc dù, mức độ giảm như vậy mới chỉ là bước đầu tiên trên hành trình ổn định nồng độ khí CO_2 trong bầu khí quyển.

Sự suy giảm ozone trong bầu khí quyển

Sự sống trên Trái Đất được bảo vệ khỏi những tác hại của các tia tử ngoại (UV) nhờ lớp phân tử ozone (O_3) nằm trong tầng bình lưu, cách mặt đất khoảng 17 - 25 km. Tuy nhiên, những nghiên cứu về bầu khí quyển từ vệ tinh cho thấy, lớp ozone đang dần dần mỏng đi kể từ



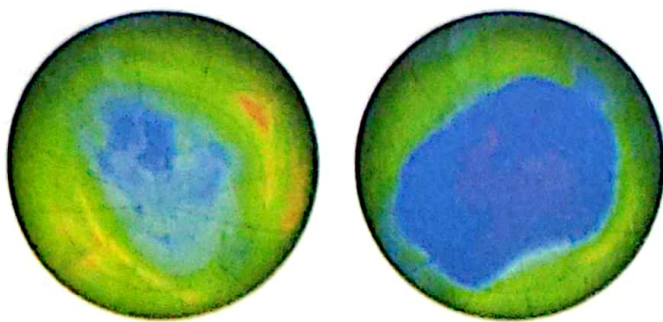
▲ Hình 55.23 Độ dày của lớp ozone trên tầng bình lưu ở Nam Cực, theo đơn vị Dobsons.



▲ Hình 55.24 Nguyên tử chlorine tự do trong khí quyển phá hủy lớp ozone ra sao.

những năm 1970 (Hình 55.23). Nguyên nhân phá hủy lớp ozone chủ yếu là do sử dụng chất chlorofluorocarbon (CFC), là chất hoá học được sử dụng trong các máy làm lạnh và trong công nghiệp. Khi chất này bị phân giải, phân tử chlorine sẽ phản ứng với ozone, khử O_3 thành O_2 (Hình 55.24). Sau phản ứng hoá học giải thoát chlorine, chlorine tiếp tục phản ứng với phân tử ozone khác trong phản ứng chuỗi xúc tác.

Có thể thấy lớp ozone mỏng đi một cách rõ ràng ở Nam Cực vào mùa xuân, khi không khí ổn định và lạnh, cho phép phản ứng chuỗi tiếp tục. Mức độ giảm lớp ozone và kích thước của lỗ thủng ozone đang ngày một tăng lên trong những năm gần đây, và lỗ thủng ozone nhiều khi lan rộng tới tận miền Nam của nước Úc, New Zealand và



(a) Tháng 9 năm 1979

(b) Tháng 9 năm 2006

▲ **Hình 55.25** Mái nhà ozone của Trái Đất bị bào mòn. Lỗ thủng ozone trên Nam Cực nhìn thấy trong ảnh là vùng có màu xanh đen, hình ảnh được xây dựng dựa trên các số liệu về bầu khí quyển.

Nam Mỹ (**Hình 55.25**). Ở những vùng vĩ độ trung bình có mật độ dân cư cao, lớp ozone đã giảm đi 2-10% trong 20 năm qua.

Suy giảm lớp ozone trong tầng bình lưu làm tăng mật độ của tia UV chiếu xuống mặt đất, hậu quả có thể ảnh hưởng tới sự sống của thực vật, động vật và vi sinh vật trên Trái Đất. Một số nhà khoa học dự báo hậu quả sẽ là tăng cả các bệnh gây chết người và bệnh không gây chết người như ung thư da và đục thủy tinh thể ở nhiều người, ngoài ra còn ảnh hưởng lớn tới cây trồng và các quần xã sinh vật tự nhiên, đặc biệt là thực vật phù du vì chúng chiếm tỷ lệ lớn sản lượng sơ cấp của Trái Đất.

Để nghiên cứu hậu quả của suy giảm lớp ozone, các nhà sinh thái học đang tiến hành các thí nghiệm thực địa, trong đó có thí nghiệm sử dụng các thiết bị lọc để làm giảm và ngăn cản tia UV của ánh sáng mặt trời. Một trong những thí nghiệm đó đã được tiến hành tại hệ sinh thái cây bụi gần phần đỉnh của Nam Mỹ, cho thấy: khi lỗ thủng ozone đi qua vùng, nếu không có thiết bị lọc làm giảm tia UV, số lượng tia UV chiếu xuống tới mặt đất tăng lên đáng kể, làm phá vỡ DNA của thực vật. Các nhà khoa học thấy rằng, thực vật phù du bị phá vỡ cấu trúc DNA và khả năng sinh trưởng của chúng giảm khi lỗ thủng ozone lan rộng ra khắp vùng đại dương phía Nam, hàng năm.

Điều đáng mừng là thông tin về lỗ thủng lớp ozone đã nhanh chóng được các quốc gia thông báo rộng rãi. Từ năm 1987, khoảng 190 nước, kể cả nước Mỹ, đã ký Nghị định thư Montreal, thỏa thuận điều chỉnh việc sử dụng các hoá chất làm giảm lớp ozone. Nhiều quốc gia, một lần nữa có cả nước Mỹ, đã chấm dứt việc sản xuất CFC. Kết quả của những việc làm đó là nồng độ ozone trong tầng bình lưu đã ổn định và suy giảm đã chậm lại. Tuy nhiên, ngay cả CFC bị cấm sử dụng hoàn toàn trên thế giới thì lượng phân tử chlorine đã tồn tại trong bầu khí quyển vẫn còn tiếp tục gây hậu quả cho lớp ozone trên tầng bình lưu khoảng ít nhất là 50 năm nữa.

Việc phá huỷ lớp ozone - được cho là mái nhà của Trái Đất là ví dụ về hoạt động của con người đã phá huỷ như thế nào các hệ sinh thái và sinh quyển. Điều đó cũng cho thấy khả năng của chúng ta hoàn toàn có thể giải quyết các vấn đề về môi trường khi chúng ta quan tâm tới điều đó. Trong chương cuối cùng của cuốn sách này, chúng ta sẽ tìm hiểu nỗ lực của các nhà khoa học trong lĩnh vực bảo tồn sinh học tại thực địa và khôi phục các hệ sinh thái, ảnh hưởng của hoạt động của con người tới đa dạng hệ sinh thái trên Trái Đất và sử dụng các kiến thức sinh thái học để hạn chế những ảnh hưởng đó.

KIỂM TRA KHÁI NIỆM 55.5

1. Việc thêm vào một lượng quá nhiều chất dinh dưỡng trong hồ sẽ có thể đe dọa quần thể cá của hồ như thế nào?
2. Theo như nội dung của khuếch đại sinh học, loài ở bậc dinh dưỡng cao hơn hay thấp hơn sẽ khỏe mạnh hơn? Giải thích.
3. **ĐIỀU GÌ NẾU?** Có một khối lượng rất lớn các chất hữu cơ tích lũy trong đất rừng cây lá kim phương bắc và ở đồng rêu đối lạnh trên Trái Đất. Dựa vào những kiến thức mà bạn đã học được từ Hình 55.15, hãy giải thích tại sao các nhà khoa học nghiên cứu về nhiệt độ trái đất nóng lên lại đang giám sát rất kỹ các chất hữu cơ tích lũy đó.

Câu trả lời có trong Phụ lục A.

Ôn tập chương 55

TÓM TẮT CÁC KHÁI NIỆM THEN CHỐT

KHÁI NIỆM 55.1

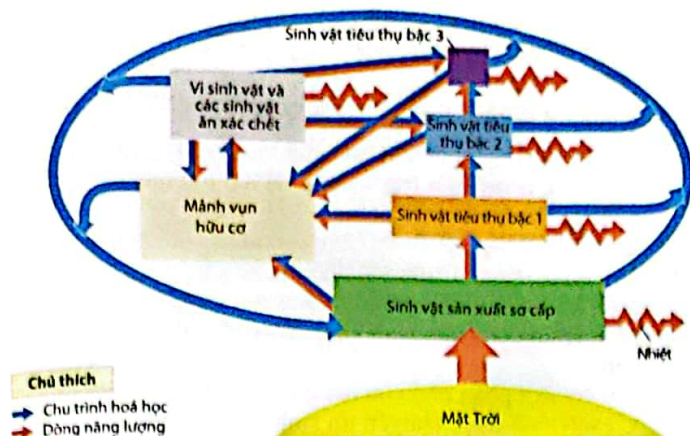
Các định luật vật lý chi phối dòng năng lượng và chu trình hoá học trong các hệ sinh thái (tr. 1223-1224)

- **Bảo toàn năng lượng** Một hệ sinh thái bao gồm tất cả các sinh vật trong quần xã và các nhân tố vô sinh tương tác với nhau. Hệ sinh thái tuân theo các định luật vật lý và hoá học, đặc biệt liên quan đến dòng năng lượng. Trong

các quá trình của hệ sinh thái, năng lượng được bảo toàn, nhưng chuyển hoá thành năng lượng nhiệt.

- **Bảo toàn khối lượng** Các nhà sinh thái học nghiên cứu lượng nguyên tố hoá học vào và ra khỏi một hệ sinh thái là bao nhiêu, và chu trình của các nguyên tố đó trong hệ sinh thái. Số lượng đầu vào và đầu ra khỏi hệ sinh thái thường nhỏ hơn số lượng tồn tại trong hệ sinh thái, tuy nhiên trạng thái cân bằng này của các nguyên tố đạt được khi hệ sinh thái tăng thêm hoặc mất đi nguyên tố theo thời gian.

► Năng lượng, khối lượng và các bậc dinh dưỡng



KHÁI NIỆM 55.2

Năng lượng và các nhân tố giới hạn khác kiểm soát sản lượng sơ cấp của các hệ sinh thái (tr. 1224-1228)

- **Năng lượng trong hệ sinh thái** Sản lượng sơ cấp xác định giới hạn sử dụng quỹ năng lượng trên toàn cầu. Sản lượng sơ cấp tổng số là năng lượng tổng số được một hệ sinh thái đồng hoá trong một thời gian nhất định. Sản lượng sơ cấp thực là năng lượng tích lũy trong sinh khối của sinh vật tự dưỡng, tương đương với sản lượng sơ cấp tổng số trừ đi năng lượng sử dụng của sinh vật sản xuất, chủ yếu là sử dụng qua hô hấp. Chỉ có năng lượng sơ cấp thực là được sinh vật tiêu thụ sử dụng.
- **Sản lượng sơ cấp ở hệ sinh thái nước** Trong các hệ sinh thái biển và nước ngọt, ánh sáng và chất dinh dưỡng giới hạn sản lượng sơ cấp. Ở vùng nước có nhiều ánh sáng, yếu tố có vai trò quan trọng nhất giới hạn sản lượng sơ cấp là chất dinh dưỡng như nitrogen, phosphorus hoặc sắt.
- **Sản lượng sơ cấp ở hệ sinh thái trên cạn** Ở các hệ sinh thái trên cạn, các nhân tố khí hậu như nhiệt độ, độ ẩm ảnh hưởng tới sản lượng sơ cấp của một vùng địa lý rộng lớn. Trên phạm vi một địa phương, nguồn dinh dưỡng trong đất thường là nhân tố giới hạn tới sản lượng sơ cấp của hệ sinh thái.

KHÁI NIỆM 55.3

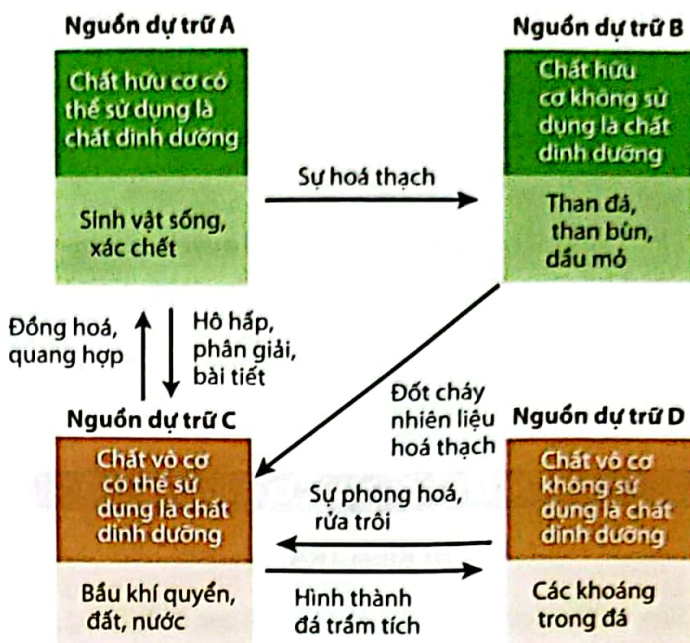
Năng lượng truyền qua các bậc dinh dưỡng thường chỉ đạt hiệu quả 10% (tr. 1228-1230)

- **Hiệu suất sản lượng** Lượng năng lượng được sử dụng ở mỗi bậc dinh dưỡng được xác định bằng sản lượng sơ cấp thực và hiệu suất bao nhiêu năng lượng trong thức ăn được chuyển hoá thành sinh khối ở mỗi mắt xích trong chuỗi thức ăn. Tỷ lệ phần trăm năng lượng được chuyển hoá từ một bậc dinh dưỡng tới bậc tiếp theo gọi là hiệu suất dinh dưỡng, thường khoảng 5-20%, trong đó 10% là giá trị phổ biến. Thấp sản lượng thực và thấp sinh khối cho thấy hệ sinh thái có hiệu suất dinh dưỡng thấp.
- **Giả thuyết Thế giới xanh** Theo giả thuyết thế giới xanh, động vật ăn thực vật chỉ tiêu thụ hết một phần nhỏ thực vật do các động vật ăn thực vật chịu nhiều tác động của các nhân tố trong hệ sinh thái như sự khống chế của các động vật ăn thịt, sinh vật ký sinh, sinh vật cạnh tranh, hạn chế về chất dinh dưỡng và nhiều nhân tố kiểm chế khác.

KHÁI NIỆM 55.4

Các quá trình sinh học và địa hoá học quay vòng chất dinh dưỡng giữa các thành phần vô cơ và hữu cơ của hệ sinh thái (tr. 1231-1236)

► Chu trình sinh địa hoá



Nước vận chuyển theo chu trình toàn cầu bởi tác động của năng lượng mặt trời. Chu trình carbon phản ánh các quá trình của cả quang hợp và hô hấp tế bào. Nitrogen đi vào hệ sinh thái qua quá trình lắng đọng trong khí quyển và cố định nitrogen của vi sinh vật, nhưng phần lớn chu trình nitrogen trong các hệ sinh thái tự nhiên có liên quan tới chu trình cục bộ ở một vùng giữa các sinh vật và đất hoặc nước. Chu trình phosphorus mang đặc điểm chu trình của một vùng.

- **Phân giải và tốc độ chu chuyển chất dinh dưỡng** Lượng của một chất dinh dưỡng nào đó và thời gian của chất đó trao đổi trong chu trình là rất khác nhau giữa các hệ sinh thái, do có sự khác nhau về tốc độ phân giải của chúng.
- **Nghiên cứu tình huống: Chu trình dinh dưỡng ở rừng thí nghiệm Hubbard Brook** Chu trình dinh dưỡng có liên quan rất chặt chẽ tới thực vật. Nghiên cứu Hubbard Brook cho thấy chặt hạ cây cối làm tăng lượng nước chảy trên mặt đất, có thể làm mất các chất dinh dưỡng khoáng trong đất. Thí nghiệm cũng cho thấy tầm quan trọng của những nghiên cứu sinh thái học trong thời gian dài đối với việc giải quyết các vấn đề về môi trường.

KHÁI NIỆM 55.5

Hoạt động của con người hiện nay chi phối hầu hết các chu trình hoá học trên Trái Đất (tr. 1236-1242)

- **Làm giàu chất dinh dưỡng** Hoạt động nông nghiệp làm cạn kiệt nhiều chất dinh dưỡng của hệ sinh thái, do vậy cần phải cung cấp một lượng lớn chất dinh dưỡng cho đất. Tuy nhiên, bón phân có thể làm ô nhiễm nguồn nước ngầm và hệ sinh thái nước bề mặt làm cho tảo ở các hệ sinh thái này phát triển quá nhiều gây hiện tượng phú dưỡng.
- **Mưa acid** Đốt cháy nhiên liệu hoá thạch là nguyên nhân chủ yếu gây ra mưa acid. Các hệ sinh thái ở Bắc Mỹ

và châu Âu, nằm ở cuối chiều gió thổi từ các vùng công nghiệp tới, đã bị tàn phá bởi mưa và tuyết acid chứa nhiều acid nitric và acid sulphuric.

► **Các chất độc trong môi trường** Nồng độ chất độc tích lũy trong mô sinh vật có thể tăng cao dần từ bậc dinh dưỡng thấp lên bậc dinh dưỡng cao hơn trong lưới thức ăn. Đồ hoá chất độc ra môi trường thường gây hậu quả lâu dài và nồng độ các chất đó tăng dần qua chuỗi thức ăn, theo cơ chế của hiện tượng khuếch đại sinh học.

► **Khí nhà kính và sự ấm lên toàn cầu** Do đốt cháy gỗ củi và nhiên liệu hoá thạch và nhiều hoạt động khác của con người, nồng độ khí CO_2 trong bầu khí quyển đang tăng lên một cách ổn định. Hậu quả là nhiệt độ Trái Đất tăng lên và biến đổi khí hậu.

► **Suy giảm ozone trong bầu khí quyển** Lớp ozone suy giảm làm cho các tia UV xuyên qua bầu khí quyển, xuống mặt đất. Hoạt động của con người, bao gồm thải các chất ô nhiễm chứa chlorine làm mỏng lớp ozone. Tuy nhiên, hiện nay chính phủ thuộc nhiều quốc gia đang nỗ lực giải quyết vấn đề này.

KIỂM TRA KIẾN THỨC CỦA BẠN

TỰ KIỂM TRA

- Sinh vật nào dưới đây *không phù hợp* với bậc dinh dưỡng của nó?
 - vi khuẩn quang hợp – sinh vật sản xuất sơ cấp
 - châu chấu – sinh vật tiêu thụ sơ cấp
 - động vật phù du – sinh vật sản xuất sơ cấp
 - dại bàng – sinh vật tiêu thụ bậc 3
 - nấm – sinh vật phân giải chất hữu cơ
- Hệ sinh thái nào sau đây có sản lượng sơ cấp thực (tính trên một m^2) là thấp nhất?
 - đồng muối
 - dại dương
 - ran san hô
 - đồng cỏ
 - rừng mưa nhiệt đới
- Vi khuẩn nitrate hoá tham gia trong chu trình nitrogen chủ yếu là
 - chuyển hoá khí nitrogen thành ammonia
 - giải phóng ammonia khỏi các hợp chất hữu cơ, nhờ đó chuyển chúng quay trở lại đất.
 - chuyển hoá ammonia thành khí nitrogen, quay trở lại bầu khí quyển.
 - chuyển hoá ammonia thành nitrate, thực vật có thể hấp thụ.
 - tổng hợp nitrogen thành amino acid và hợp chất hữu cơ.
- Hiện tượng nào sau đây có ảnh hưởng lớn nhất tới tốc độ chu chuyển hoá học trong các hệ sinh thái?
 - tỷ lệ sản lượng sơ cấp của hệ sinh thái
 - hiệu suất sản lượng của các sinh vật tiêu thụ trong hệ sinh thái
 - tốc độ phân giải trong hệ sinh thái
 - hiệu suất dinh dưỡng của hệ sinh thái
 - vị trí của nguồn dinh dưỡng trong hệ sinh thái
- Thí nghiệm chặt cây rừng ở lưu vực sông Hubbard Brook thu được tất cả các kết quả sau, *ngoại trừ*
 - hầu hết các nguyên tố khoáng tái sinh trong hệ sinh thái.

- đồng khoáng trôi ra khỏi lưu vực sông được bù lại bởi dòng khoáng đi vào.
- phá rừng làm tăng lượng nước chảy.
- nồng độ nitrate trong nước chảy qua vùng rừng bị chặt phá rất cao.
- trong đất rừng bị chặt phá lượng calcium còn lại khá cao.

- Điều nào sau đây là do kết quả của khuếch đại sinh học?
 - Chất độc trong môi trường gây tai hại lớn hơn cho động vật tiêu thụ bậc cao nhất.
 - Quần thể động vật ăn thịt bậc cao nhất nhìn chung nhỏ hơn quần thể của sinh vật tiêu thụ sơ cấp.
 - Sinh khối của sinh vật sản xuất trong một hệ sinh thái nhìn chung cao hơn sinh khối của sinh vật tiêu thụ sơ cấp.
 - Chỉ có một phần nhỏ của năng lượng thu nhận bởi sinh vật sản xuất được chuyển tới sinh vật tiêu thụ.
 - Sinh khối của sinh vật sản xuất của hệ sinh thái giảm nếu thời gian quay vòng của sinh vật sản xuất tăng lên.
- Nguyên nhân chủ yếu của tăng lượng khí CO_2 trong bầu khí quyển của Trái Đất qua 150 năm qua là
 - tăng sản lượng sơ cấp trên toàn thế giới.
 - tăng trồng cây nông nghiệp trên toàn thế giới.
 - tăng lượng tia hồng ngoại do khí quyển hấp thụ.
 - đốt cháy một lượng lớn gỗ củi và nhiên liệu hoá thạch.
 - hô hấp của con người tăng lên do tăng dân số quá nhanh.

- HÃY VẼ** Sử dụng Hình 55.21 như là điểm bắt đầu, kéo dài thêm trục hoành tới năm 2100. Sau đó vẽ thêm đường đồ thị về nồng độ CO_2 , giả sử rằng nồng độ CO_2 tiếp tục tăng với mức độ như những năm 1974 - 2007. Có thể ước lượng nồng độ CO_2 năm 2100 là bao nhiêu? Những nhân tố sinh thái nào và những quyết định nào của con người sẽ ảnh hưởng tới việc tăng thực tế của nồng độ khí CO_2 ? Các số liệu khoa học ngày một nhiều có thể giúp chúng ta dự đoán giá trị này như thế nào?

Đáp án cho câu hỏi trắc nghiệm có trong Phụ lục A.

LIÊN HỆ VỚI TIẾN HOÁ

- Một số nhà sinh học cho rằng các hệ sinh thái là đặc điểm nổi trội của các hệ thống “sống” có khả năng tiến hoá. Một trong những người đưa ra giả thuyết này là nhà môi trường học James Lovelock's Gaia, ông đưa ra quan điểm Trái Đất tự nó đã là một tổ chức sống, một thực thể tự ổn định – một kiểu siêu sinh vật. Sử dụng các nguyên tắc tiến hoá đã đề cập trong sách này, bạn hãy bình luận ý tưởng cho rằng các hệ sinh thái và sinh quyển có thể tiến hoá. Nếu hệ sinh thái có thể tiến hoá, đó có phải là kiểu tiến hoá của Darwin hay không? Vì sao đúng hoặc không?

TÌM HIỂU KHOA HỌC

- Tiến hành nghiên cứu trong 2 ô thí nghiệm gần nhau trong một rừng nơi bạn nghiên cứu, thiết kế các thí nghiệm có thể kiểm soát được để đo ảnh hưởng của lá cây rụng tới sản lượng sơ cấp ở mỗi ô.