



# Phân hủy sinh học, xử lý sinh học, và phục hồi sinh học

Bởi:

Ngô Tự Thành

## Phân hủy sinh học, xử lý sinh học, và phục hồi sinh học

### Phân hủy sinh học

Có nhiều cách hiểu về **sự phân hủy sinh học (biodegradation)**:

- Đó là sự chuyển hóa một chất hữu cơ, chủ yếu bởi vi sinh vật, thành các sản phẩm cuối cùng ở dạng vô cơ.
- Đó là sự phân hủy hóa học đối với một chất hữu cơ, chủ yếu bởi vi sinh vật hoặc các enzym của chúng.

Trong tự nhiên, sự phân hủy sinh học gần như là một trong hai phần đối lập nhau của sự tuần hoàn vật chất, phần kia là sự tổng hợp các chất hữu cơ từ các chất vô cơ (Xem mục 1.4 và chương 7).

Đối với đời sống và sản xuất của con người, tùy theo quá trình phân hủy sinh học cụ thể nào mà nó có thể là có lợi (phân hủy các phân tử phức tạp thành các sản phẩm của công nghiệp lên men như rượu, axit hữu cơ v.v.), hay có hại (phân hủy nguyên vật liệu như giấy, vải, sơn v.v.).

Mọi cơ thể sống đều cần phải và có khả năng sử dụng tức là chuyển hóa các chất dinh dưỡng mà chúng hấp thu thành vật chất (sinh khối) và năng lượng của mình. Tuy nhiên, kỳ lạ thay, chỉ một số vi sinh vật có khả năng sử dụng cả những nguồn dinh dưỡng và năng lượng là các chất hữu cơ tổng hợp vốn xa lạ với sự sống theo nghĩa sinh học (các xenobiotic), và thường rất độc hại với mọi sinh vật, cũng như sử dụng được cả những hydrocarbon của dầu mỏ không có chút giá trị dinh dưỡng nào đối với con người. Chính những vi sinh vật kỳ diệu như vậy đang là cứu cánh của con người để xử lý môi trường ô nhiễm bởi các chất độc hại (xem chuyên mục bạn có biết? Bạn nghĩ gì? Trang...).

Tuy nhiên, đừng quên rằng các chất hữu cơ tự nhiên (thông thường, không độc hại) như cellulose, đường, protein v.v., nếu vượt quá ngưỡng nồng độ nào đó trong môi trường thì

cũng gây ô nhiễm theo nghĩa làm biến đổi tính chất của môi trường theo hướng không mong muốn. Những chất như vậy thì được phân hủy, “xử lý” bởi rất nhiều loài vi sinh vật thông thường.

Bởi vậy, trong lĩnh vực xử lý môi trường ô nhiễm, người ta muốn vi sinh vật thực hiện phân hủy sinh học để phân hủy các chất gây ô nhiễm độc hại trong môi trường thành những chất không độc ại hoặc ít độc hại hơn, hoặc giảm nồng độ của chúng xuống tới mức an toàn. Tuy vậy, kết quả không phải bao giờ cũng như ý muốn: sự phân hủy sinh học có thể chuyển hóa một chất không độc thành chất độc, hoặc một chất độc thành chất độc hơn.

Bạn có biết? Bạn nghĩ gì?*CÓ CẦN NHỚ ĐẾN CÁC SINH VẬT TỪ NGOÀI HÀNH TINH?*

Theo các tiêu thuyết hư cấu về khoa học, những sinh vật đến từ ngoài hành tinh có cấu trúc hóa học hoàn toàn khác chúng ta, và chúng có thể ăn, uống, hít thở những chất mà chúng ta không thể hấp thụ.

*Như vậy, những cơ thể xa lạ này là vô giá nếu chúng giúp chúng ta làm sạch (loại trừ) những chất gây ô nhiễm hành tinh này như dầu thô, xăng, thủy ngân..., tất cả đều độc hại đối với cây cối, động vật và con người.*

May thay, chúng ta không cần chờ đợi sự viếng thăm của những cơ thể chỉ có trong trí tưởng tượng ấy, mà vẫn có thể giải quyết được vấn đề của mình, nhờ những cơ thể sống có thực ngay quanh ta: mặc dù nhiều vi sinh vật có nhu cầu dinh dưỡng giống như con người (nên chúng mới “ăn vụng” và làm hỏng thực phẩm của chúng ta!), nhưng có những vi sinh vật khác lại chuyển hóa được những chất mà chỉ có thể là các “món ăn” của các cơ thể giả tưởng! Trên đây, như các kim loại nặng, lưu huỳnh, nitơ dạng khí, dầu thô, thậm chí cả polyclorinat biphenyls (PCBs) và thủy ngân. Bằng chứng rất thuyết phục về sự “giúp đỡ con người” của những vi sinh vật kỳ diệu ấy là việc xử lý thành công môi trường rộng lớn bị ô nhiễm bởi vụ tràn dầu Exxon Valdez (xem chuyên mục Bạn có biết? Bạn nghĩ gì? Trang...)

Về mặt hóa học, sự phân hủy sinh học có thể diễn ra ở một, hai, hay cả ba mức độ sau đây, tùy theo bản chất của chất bị phân hủy, tùy theo điều kiện môi trường và vi sinh vật thực hiện:

- Một sự thay đổi rất nhỏ trong phân tử hữu cơ, qua đó cấu trúc chủ yếu của phân tử ấy không thay đổi.
- Một sự phân hủy triệt để hơn phân tử hữu cơ phức hợp sao cho những phần nhỏ hơn được tạo ra lại có thể kết hợp với nhau để tái tạo cấu trúc ban đầu.
- Một sự vô cơ hóa hoàn toàn các phân tử hữu cơ, nghĩa là tạo thành các phân tử vô cơ.

Nếu xét một chất hữu cơ cụ thể thì nó có thể thuộc về một trong *ba nhóm sau đây*:

- *Có khả năng bị phân hủy sinh học (biodegradable)*, nghĩa là chịu sự chuyển hóa sinh học.
- *Bền vững (persistent)*, nghĩa là không bị phân hủy sinh học trong một số môi trường nào đó.
- *Rất bền vững (recalcitrant)*, nếu chất ấy không bị phân hủy sinh học trong rất nhiều môi trường khác nhau.

Ở một góc độ khác nữa, bản chất các thuật ngữ có khả năng bị phân hủy sinh học (biodegradable) và sự phân hủy sinh học (biodegradation) không hàm ý chỉ bất kỳ một mức độ phân hủy nào. Sự chuyển hóa có thể bao gồm một hay nhiều phản ứng, và hiệu ứng của sự chuyển hóa ấy có thể là nhỏ hay lớn. Do vậy chúng ta có một khái niệm nữa, chỉ bất kỳ mức độ nào của sự phân hủy sinh học: sự chuyển hóa sinh học (biotransformation) - là một quá trình do vi sinh vật thực hiện, trong đó hợp chất ban đầu được chuyển thành các sản phẩm thứ cấp hoặc trung gian. Cùng đó sự phân hủy sinh học có thể xảy ra ở nhiều mức độ khác nhau nên chúng ta còn có thể phân biệt:

- Sự phân hủy sinh học sơ bộ (primary biodegradation) thường được hiểu là sự thay đổi do một phản ứng riêng lẻ gây ra, trong khi đó
- Sự phân hủy sinh học một phần (partial biodegradation) chỉ một sự thay đổi nhiều hơn về hóa học.

Tuy nhiên, theo cách nói thông thường, khi nói rằng một chất có khả năng bị phân hủy sinh học thì người ta muốn nói rằng nó có thể bị vô cơ hóa. **Sự vô cơ hóa (mineralization)** là sự phân hủy triệt để (hoàn toàn) thành các sản phẩm cuối cùng như CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O và các chất vô cơ khác. Nói chung các chất này là vô hại, bởi vậy phân hủy sinh học được con người khai thác, tận dụng và tăng cường để dùng cho các quá trình xử lý sinh học và phục hồi sinh học. Nói cách khác, phân hủy sinh học là tiên đề, là cơ sở của xử lý sinh học và phục hồi sinh học.

### Câu hỏi

1. Hiểu thế nào là sự phân hủy sinh học (biodegradation), theo nghĩa rộng nhất và theo nghĩa thông thường?
2. Có nghĩa nào của thuật ngữ đó riêng cho lĩnh vực xử lý môi trường ô nhiễm không?
3. Dưới góc độ về sự phân hủy sinh học thì hiểu thế nào là các nguồn vật chất (hoặc dinh dưỡng) và năng lượng “thông thường” và “không thông thường”? Kể ra một vài ví dụ cho mỗi nhóm ấy.
4. Vì sao có thể sử dụng một số vi sinh vật để xử lý môi trường ô nhiễm các chất rất độc hại?
5. Có thể nói gì về hóa học của sự phân hủy sinh học?

6. Có thể nói gì về khả năng bị phân hủy sinh học của một chất nói chung?
7. Vì sao sự phân hủy sinh học là tiền đề, là cơ sở của xử lý sinh học và phục hồi sinh học?

### **Xử lý sinh học**

Trước hết, hãy bàn về khái niệm xử lý (treatment) trong khuôn khổ môn học này. Chúng ta thường nói tới *việc xử lý môi trường* (thực ra là xử lý môi trường ô nhiễm), mà ít khi đề cập đúng mức rằng thực ra đó là *việc xử lý đối với chất gây ô nhiễm trong môi trường đó*. Việc xử lý chất gây ô nhiễm ấy có thể là một *xử lý không sinh học (non-biological treatment)* như thiêu đốt, hấp phụ (adsorption), v.v. đối với vật liệu chứa chất gây ô nhiễm hay chính chất gây ô nhiễm; hoặc đó có thể là một *xử lý sinh học (biological treatment)*. Trong khuôn khổ của giáo trình này thì chúng ta chủ yếu đề cập đến xử lý sinh học.

Bây giờ, chúng ta cần nhận thức rằng *xử lý sinh học phải dựa trên cơ sở của sự phân hủy sinh học*: sự phân hủy sinh học vẫn thường xảy ra trong tự nhiên, ở mọi lúc nào và mọi nơi nào có đủ điều kiện cho nó xảy ra, nhưng rất chậm. Còn trong các quá trình xử lý sinh học, người ta tăng cường sự phân hủy sinh học bằng cách tạo điều kiện thuận lợi nhất đến mức có thể cho vi sinh vật, để chúng sinh trưởng và phân hủy chất gây ô nhiễm.

Tiếp theo, cần phân biệt hai khái niệm rất gần nhau và do đó rất hay được dung lẫn cho nhau, nhưng thực ra vẫn có sự khác nhau: xử lý sinh học và phục hồi sinh học. Sự phân biệt này sẽ được đề cập ở mục 12.3.3 ngay dưới đây.

### **Câu hỏi**

1. Thực chất của xử lý môi trường là gì xử lý môi trường là xử lý cái gì trong môi trường ấy?
2. Hãy tự tìm hiểu hoặc suy luận để biết sơ qua nguyên lý của các xử lý không sinh học, và từ đó trình bày vắn tắt sự khác nhau về nguyên lý giữa các xử lý không sinh học với xử lý sinh học.
3. Vì sao xử lý sinh học phải dựa trên tiền đề và cơ sở là sự phân hủy sinh học.
4. Xử lý sinh học là gì?

### **Phục hồi sinh học**

Như trên đây đã đề cập, thực chất của “xử lý môi trường” là “xử lý chất gây ô nhiễm trong môi trường bị ô nhiễm”. Tương tự, thực chất của “xử lý sinh học môi trường” là “xử lý sinh học chất gây ô nhiễm trong môi trường”. Trái lại, khi nói đến “phục hồi sinh học môi trường ô nhiễm” là chúng ta muốn nói đến những tác động vào chính môi trường ô nhiễm ấy, thông qua việc xử lý sinh học các chất gây ô nhiễm, để trả môi

trường ấy trở về trạng thái an toàn. Sự khác nhau rất nhỏ giữa hai thuật ngữ hoặc hai khái niệm là ở chỗ đó. Chính vì sự khác nhau rất nhỏ ấy mà, nếu hiểu đúng, thì có thể dùng lẫn hai khái niệm ấy cho nhau. Nói cách khác, gần đúng, rằng phục hồi sinh học chính là xử lý sinh học. Nói đúng hơn, phục hồi sinh học thì dựa trên cơ sở của xử lý sinh học, tức là cũng dựa trên cơ sở của sự phân hủy sinh học.

Có một số cách hiểu về phục hồi sinh học:

- Trong phạm vi môn học này thì: Phục hồi sinh học (bioremediation) là quá trình tạo điều kiện cho vi sinh vật chúng phân hủy nhanh các chất gây ô nhiễm hữu cơ độc hại trong môi trường để trả môi trường ô nhiễm ấy về trạng thái an toàn.
- Theo một cách hiểu rộng rãi hơn thì: Phục hồi sinh học là một quá trình tự phát hoặc có điều khiển, trong đó xảy ra sự phân hủy sinh học (nhất là vi sinh vật học) đối với các chất gây ô nhiễm và do đó làm giảm bớt hoặc loại bỏ sự ô nhiễm môi trường. Sự tự làm sạch của các dòng sông hay suối bị ô nhiễm nhẹ là những ví dụ về sự phục hồi sinh học tự phát; tuy nhiên đó không phải là chủ đề chính của phần III. Chủ đề chính ở đây là các quá trình phục hồi sinh học có kiểm soát.
- Gần đây khái niệm phục hồi sinh học được mở rộng, bao gồm cả các quá trình sinh học kể cả của thực vật, làm kết tủa hoặc cố định các chất gây ô nhiễm vô cơ, ví dụ các kim loại nặng. Cách hiểu mở rộng này không thuộc khái niệm đã nêu trên đây, nhưng sẽ được đề cập vắn tắt trong một phần về sau.

Sự phân hủy các chất gây ô nhiễm hữu cơ nhờ vi sinh vật là một quá trình xảy ra trong tự nhiên và bị giới hạn bởi các điều kiện vật lý, hóa học và môi trường. Những ví dụ về các điều kiện giới hạn ấy là: cấu trúc phân tử của chất gây ô nhiễm và tính đề kháng của nó đối với sự phân hủy sinh học, thiếu sự tiếp xúc giữa các chất gây ô nhiễm với chủng vi sinh vật phân hủy, sự có mặt của chủng vi sinh vật có khả năng phân hủy chất gây ô nhiễm, và những điều kiện môi trường thích hợp cho vi sinh vật. Trong các hệ thống phục hồi sinh học, những điều kiện giới hạn sự phân hủy sinh học được cải biến đi, và hoạt động phân hủy của vi sinh vật được nâng cao, chẳng hạn như bằng việc hiệu chỉnh một vài nhân tố môi trường vốn giới hạn hoạt tính sinh học.

Việc tạo điều kiện thuận lợi cho vi sinh vật (cũng gọi là kích thích chúng) bao gồm sự bổ sung hoặc cung cấp các chất dinh dưỡng, các chất cho điện tử, và chất nhận điện tử cuối cùng, hoặc kết hợp các việc ấy, cũng như tạo các điều kiện thuận lợi khác (về pH, nhiệt độ v.v.) để tăng cường sinh trưởng, tăng cường sự phân hủy sinh học và sự chuyển hóa sinh học.

Mục đích cuối cùng của phục hồi sinh học là vô cơ hóa chất gây ô nhiễm, nghĩa là chuyển hóa một hóa chất có hại thành các hợp chất không có hại, như cacbon dioxide hoặc một số khí khác, hoặc các chất vô cơ, nước, và vật chất tế bào của vi sinh vật phân

hủy. *Hầu hết vi sinh vật dùng oxy để oxy hóa và phân hủy sinh học chất hữu cơ (sự phân hủy sinh học hiếu khí); những vi sinh vật khác thì dùng nitrat, sulfat, metan, hoặc các chất nhận điện tử khác (sự phân hủy sinh học kỵ khí).* Trước kia, hầu hết các quá trình phục hồi sinh học đều dựa vào sự phân hủy sinh học hiếu khí. Nguyên nhân là vì nhiều chất gây ô nhiễm dễ bị phân hủy trong điều kiện hiếu khí, vì phân hủy kỵ khí thường diễn ra với tốc độ chậm hơn, và vì việc duy trì các điều kiện kỵ khí trong một quá trình phục hồi sinh học có điều khiển là khó hơn so với duy trì điều kiện hiếu khí. Các quá trình kỵ khí được dành cho một số nhóm các chất gây ô nhiễm nào dễ bị phân hủy kỵ khí, ví dụ như các chất clo hóa ở mức độ cao. Trong giáo trình này chủ yếu đề cập đến sự phân hủy sinh học hiếu khí vì nó được áp dụng rộng rãi hơn. Sự phân hủy sinh học kỵ khí được đề cập ở mức độ hạn chế hơn.

Vi sinh vật tham gia phục hồi sinh học thường là các vi sinh vật bản địa (indigenous microorganisms). Tuy nhiên nếu quần thể này không có khả năng phân hủy chất đích hoặc bị ức chế bởi một yếu tố nào đó trong môi trường thì cần đưa vào đó những vi sinh vật có khả năng trao đổi chất đặc hiệu đối với chất gây ô nhiễm. Đó có thể là những vi sinh vật đã được tuyển lựa hoặc được cải biến di truyền. Biện pháp vừa nêu được gọi là **sự tăng cường sinh học (bioaugmentation)**.

Trong quá trình phục hồi sinh học, các vi sinh vật tham gia có thể thu nhận được cả vật chất (cacbon) và năng lượng nhờ sự phân hủy các chất gây ô nhiễm hữu cơ. Đôi khi sự phân hủy ấy diễn ra thông qua *sự đồng trao đổi chất (cometabolisms, xem mục...)* hoặc nhờ sự nhận điện tử cuối cùng.

Phục hồi sinh học có thể diễn ra theo kiểu in situ hoặc ex situ (xem mục 12.7)

Các đối tượng của phục hồi sinh học, hay là các môi trường cần được phục hồi, có thể là những thực thể ở dạng rắn, lỏng hoặc khí (như đất hoặc rác, nước ngầm hoặc nước thải, không khí, theo thứ tự). Các công nghệ phục hồi sinh học có rất nhiều kỹ thuật phương pháp khác nhau để phù hợp với mỗi thực thể môi trường đó, ví dụ: làm đất (landfarming), ủ đống (composting), lọc sinh học (biofiltration) v.v. Tất cả các kỹ thuật đó được chia thành hai nhóm, tùy theo việc vật liệu ô nhiễm không bị rời khỏi vùng ô nhiễm để xử lý (xử lý in situ) hay có bị dời đi để xử lý (xử lý ex situ) (xem mục 12.7).

Phục hồi sinh học rất thường được sử dụng để khắc phục sự cố tràn dầu trên biển. Một ví dụ điển hình là việc khắc phục sự cố tràn dầu Exxon Valdez năm 1989.

### **Bạn có biết? Bạn nghĩ gì? VI SINH VẬT THAM GIA KHẮC PHỤC**

#### **SỰ CỐ TRÀN DẦU EXXON VALDEZ**

*Tháng 3 năm 1989, tàu chở dầu Valdez của tập đoàn dầu mỏ hàng đầu thế giới Exxon bị mắc cạn ở vùng biển Alaska, làm tràn vào nước biển 41,5 triệu lít dầu thô. Đó là vụ*

*tràn dầu tồi tệ nhất trong lịch sử Hoa Kỳ, gây tác hại đến hàng trăm kilomet bờ biển, làm chết vô số động vật hoang dã tại đó.*

Việc khắc phục sự cố này đã tiêu tốn 2 tỷ đôla Mỹ, đòi hỏi sự phối hợp giữa Cơ quan Bảo vệ Môi trường của Mỹ (EPA) với Chính quyền bang Alaska và tập đoàn Exxon, đòi hỏi sự tham gia trực tiếp của 10.000 công nhân và rất nhiều không tính xuể ...vi sinh vật.

*Các vi sinh vật bản địa của vùng ô nhiễm, trong đó có Pseudomonas, chuyển hóa dầu thành các sản phẩm cuối cùng không độc như CO<sub>2</sub> và nước. Để tăng cường hoạt động của những vi sinh vật này, người ta bổ sung các chất dinh dưỡng chứa nitơ, photpho, và các nguyên tố vi lượng vào vùng bờ biển ô nhiễm. Việc bổ sung dinh dưỡng này không chỉ tăng cường sinh trưởng của vi sinh vật mà còn tăng cường tốc độ phân hủy dầu và làm sạch bờ biển.*

Tác hại lâu dài của vụ tràn dầu này tới vùng biển nơi xảy ra sự cố vẫn còn là vấn đề gây tranh cãi. Thậm chí hơn 10 năm sau đó, một số quần thể động vật và thực vật vẫn chưa phục hồi hoàn toàn. Tuy nhiên, cũng có những dấu hiệu về sự phục hồi đáng ngạc nhiên của hệ sinh thái ở đây. Phần lớn vùng này bây giờ trông giống như trước khi xảy ra sự cố, một phần nhờ sự phục hồi sinh học do các vi sinh vật “ăn dầu mỡ” thực hiện.

\*\*\*

Câu hỏi:

1. Phân tích mối quan hệ giữa ba khái niệm phục hồi sinh học, xử lý sinh học và phân hủy sinh học.
2. Phân tích ý kiến cho rằng “phục hồi sinh học” và “xử lý sinh học” chẳng qua chỉ là hai cách gọi khác nhau của cùng một quá trình.
3. Phục hồi sinh học có xảy ra trong tự nhiên hay không, vì sao, dẫn chứng ?
4. Phân tích sự giống và khác nhau giữa ba cách hiểu về phục hồi sinh học đã nêu ở mục 12.3.3.
5. Trình bày cụ thể đến mức có thể, con người muốn thực hành phục hồi sinh học thì cần phải làm những công việc gì ?
6. Tại sao có trường hợp phục hồi sinh học trong đó người ta đưa các vi sinh vật không phải của môi trường cần phục hồi vào môi trường ấy? Đó có thể là những loại vi sinh vật nào ?
7. Vi sinh vật tham gia phục hồi sinh học là nhằm mục đích gì cho chúng ?
8. Nếu trong một quá trình phục hồi sinh học, vi sinh vật không thể phân hủy một chất đích thì người ta khắc phục bằng cách nào ?
9. Thế nào là phục hồi sinh học in situ và ex situ ?
10. Hãy nói về hoạt động của con người đối với vi sinh vật, trong việc khắc phục sự cố tràn dầu Exxon Valdez.