



# Những nhân tố ảnh hưởng đến sự phân hủy sinh học

Bởi:

Ngô Tự Thành

## Mở đầu

Chúng ta hãy xem xét sự phân hủy sinh học một chất gây ô nhiễm X phụ thuộc những nhân tố nào. Nghĩa là chúng ta xem xét sự phân hủy ấy trong môi trường tự nhiên của nơi xử lý hoặc môi trường trong nơi phản ứng sinh học (bioreactor) với các nhân tố của môi trường, với một quần xã các vi sinh vật tương tác với môi trường ấy và tương tác với nhau trong quá trình phân hủy. Bản thân chất gây ô nhiễm có những thuộc tính của mình cũng ảnh hưởng đến sự phân hủy nó.

Như vậy sự phân hủy sinh học một chất gây ô nhiễm chịu ảnh hưởng của hàng loạt nhân tố, trong đó nồng độ và thành phần của quần xã vi sinh vật chịu ảnh hưởng của nhiều nhân tố để đến lượt mình, chúng chịu ảnh hưởng đến sự phân hủy sinh học chất ô nhiễm.

Do đó chúng ta có thể xem xét sự phân hủy sinh học một chất gây ô nhiễm bằng cách đặt một là vi sinh vật (mật độ và thành phần của quần xã các hoạt tính của chúng trong đó có sự phân hủy sinh học chất gây ô nhiễm) cùng với chất gây ô nhiễm, và bên kia là các nhân tố ảnh hưởng đến các vi sinh vật và sự phân hủy ấy.

Các nhân tố ảnh hưởng đến các vi sinh vật và sự phân hủy sinh học ở đây gồm ba loại nhân tố :

- Các nhân tố môi trường
- Các nhân tố thuộc bản thân chất cần phân hủy, mà ở đây được gọi là cơ chất của các vi sinh vật trong môi trường mà chúng ta đang xem xét, và
- Các nhân tố thuộc về những vi sinh vật nói trên.

*Các nhân tố môi trường* bao gồm:

- Độ ẩm

Những nhân tố ảnh hưởng đến sự phân hủy sinh học

- Sự thông khí
- Nhiệt độ
- pH
- Sự cung cấp chất dinh dưỡng

Các nhân tố thuộc về cơ chất bao gồm:

- Tính độc
- Nồng độ
- Độ tan
- Độ bay hơi
- Sự phân chia thành pha rắn
- Cấu trúc hoá học

Các nhân tố vi sinh vật học bao gồm:

- Sự có mặt (hay không) các con đường phân huỷ chất X
- Sự thích nghi của các quần thể vi sinh vật, và
- Các nhân tố sinh thái.

Dưới đây chúng ta thảo luận về những nhân tố quan trọng nhất trong số nói trên.

#### 1. Các nhân tố môi trường thuộc về môi trường

##### **Các nhu cầu dinh dưỡng**

Để tồn tại và sinh trưởng, vi sinh vật cần thực hiện trao đổi chất. Chúng thu nhận các chất từ môi trường, đồng hoá các chất ấy để tổng hợp các hợp phần của tế bào. Nếu các chất, các hợp phần hoá học tham gia vào các hợp phần của tế bào phải được cung cấp *cho vi sinh vật học*. Trong [\[link\]](#) dưới đây nêu rõ các nguyên tố mà vi sinh vật đòi hỏi, với tỷ lệ gần đúng, và chức năng của chúng trong tế bào. Chú ý rằng trong *hai cụng thức thực nghiệm đó cứ lần nhắc đến*, các nguyên tố chủ yếu có tỷ lệ gần đúng giống như đó nêu trong [\[link\]](#). Ví dụ, cụng thức thực nghiệm  $C_5H_7NO_2$ , tỷ lệ của các nguyên tố trong đó lần lượt là 53,6,12,28.

## Những nhân tố ảnh hưởng đến sự phân hủy sinh học

Nguyên tố	% trọng lượng khô	Vai trò sinh lý chung trong tế bào
Cacbon	50	Tham gia vào các chất hữu cơ
Oxy	20	Như trên, và tham gia vào nước
Nitơ	14	Hợp phần của các protein, các axit nucleic, các coenzym
Hydro	8	Hợp phần của các chất hữu cơ, của nước
Phot pho	3	Hợp phần của axit nucleic, photpholypit, coenzym.
Lưu huỳnh	1	Hợp phần của protein, coenzym
Kali	1	Cation chủ yếu trong nhiều quá trình
Natri	1	Như trên
Canxi	0,5	Như trên, và là cofactor của enzym
Ma nhê	0,5	Cation chủ yếu trong nhiều quá trình, cofactor trong các phản ứng ATP
Clo	0,5	Anion chủ yếu trong nhiều quá trình
Sắt	0,2	Hợp phần của các xytocrom và các protein khác, của enzym
Tổng hợp các nguyên tố hiếm	0,3	Các hợp phần vô cơ của một số enzym đặc biệt

*Thành phần nguyên tố của các tế bào vi sinh vật, tính theo trọng lượng khô (khoảng 10% trọng lượng tươi)*

*Nguồn: Stanier và cộng sự, 1986*

Không phải một nguyên tố ở bất kỳ trạng thái nào cũng được vi sinh vật đồng hoá. Ví dụ các vi khuẩn dị dưỡng đòi hỏi cacbon ở dạng hữu cơ. Nhiều loại vi khuẩn chỉ có khả năng sử dụng một số ít chất hoá lactozo là một loại đường 5 cacbon, và điều này được dùng để xác định các cơ thể thuộc nhóm coliform trong các mẫu nước. Phép thử nhiều ống nghiệm (MPN) được xây dựng dựa trên hiện tượng này. Hầu hết vi khuẩn có thể đồng hoá nitơ trong amôni (-3), trong nitrit (+3), và trong nitrat (+5). Lưu huỳnh thường chỉ được đồng hoá ở trạng thái oxy hoá của sulfat (+6).

Thường thì có một hoặc hai chất dinh dưỡng trong môi trường đóng vai trò giới hạn sự sinh trưởng. Khái niệm *chất dinh dưỡng giới hạn (limiting-nutrient)* là vô cùng tiện lợi để dự đoán tác động của các chất gây ô nhiễm đối với nước hứng chịu chúng, và để thiết kế cũng như vận hành các quá trình xử lý sinh học. Các Hồ Lớn vốn không có nhiều photpho; vào cuối thập kỷ 1960, các chất tẩy rửa có khả năng bị phân hủy sinh học được thải vào đây làm tăng lượng photpho của chúng và làm cho chúng trở nên phú dưỡng hay phì dưỡng (eutrophication). Việc loại bỏ photpho ra khỏi nước thải đổ vào Các Hồ Lớn đã từng là một ứng dụng của khái niệm về chất dinh dưỡng giới hạn. nhiều loại nước thải công nghiệp bị mất cân đối về chất dinh dưỡng, do vậy cần phải bổ sung một cách định lượng các chất dinh dưỡng (thường là nitơ và/ hoặc photpho)

## pH

Như đã biết, hầu hết vi sinh vật sinh trưởng thuận lợi nhất ở các giá trị pH từ 6 đến 8 còn một số nấm thì ở pH dưới 5. Tương tự hầu hết vi khuẩn ưa các điều kiện trung tính và bị ức chế sinh trưởng ở các điều kiện quá axit hoặc quá kiềm. Chỉ có một số ít vi khuẩn thích ứng tốt với các điều kiện axit hoặc kiềm. Ví dụ, vi khuẩn oxy hoá lưu huỳnh, thuộc một chi hoá tự dưỡng hiếu khí bắt buộc, có thể tạo thành axit sulfuro bằng cách oxy hoá  $H_2S$ , và sinh trưởng tốt ở pH 1.

pH của đất còn ảnh hưởng đến độ an toàn của photpho, một nguyên tố dinh dưỡng quan trọng đối với vi sinh vật, và ảnh hưởng đến sự vận chuyển các kim loại độc hại trong đất. Độ hoà tan của photpho là lớn nhất ở pH 6,5, và vận chuyển kim loại là nhỏ nhất ở pH lớn hơn 6 (Sims và cộng sự 1990). Hầu hết các loại đất có tính axit. Để làm tăng pH của đất, người ta thường đưa vào đó các chất chứa can xi hoặc *ma nhê*. Quá trình này được gọi là *vôi hoá* (liming), và các chất được dùng là can xi oxit (lime), can xi hydroxit, can xi cacbonat, manhê cacbonat, và xi can xi silicat. Nếu pH của đất là cao, do nồng độ cacbonat cao, hoặc do sự có mặt của các chất thải độc hại có pH cao, thì “sự axit hoá” có thể là cần thiết. Sự axit hoá, tức là làm giảm pH của đất, có thể được thực hiện bằng cách bổ sung lưu huỳnh nguyên tố hoặc các chất chứa lưu huỳnh, như axit sulfuric, amon polysulfua, cũng như nhôm sulfat và sắt sulfat (Dupon và cộng sự, 1988)

## Nhiệt độ

Nhiệt độ có ảnh hưởng đến hoạt động của vi sinh vật và sự phân huỷ sinh học như thế nào?

Chúng ta biết rằng các loài vi sinh vật nói chung sinh trưởng tốt trong những khoảng nhiệt độ tương đối hẹp. Trong quan hệ với nhiệt độ, có thể phân chia vi sinh vật thành những nhóm sau đây:

- Vi sinh vật ưa ấm (mesophiles) sinh trưởng khoảng từ 15 °C đến 45 °C, sinh trưởng tối ưu trong khoảng 25-35 °C; phần lớn vi khuẩn đất thuộc nhóm này.
- Vi sinh vật ưa lạnh (Psychrophiles) sinh trưởng tốt nhất ở nhiệt độ dưới 20 °C
- Vi sinh vật ưa nóng (Thermophiles) sinh trưởng tốt nhất trong khoảng 45-65 °C.

Trong mỗi nhóm trên có nhiều nhóm nhỏ khác nhau với những khoảng nhiệt độ tối ưu riêng của chúng.

Theo Cục Bảo vệ Môi trường Mỹ (U.S. Environmental Protection Agency, U.S. EPA), có một quy tắc chung là, khi nhiệt độ tăng lên 10 °C thì tốc độ chuyển hoá sinh học tăng

Những nhân tố ảnh hưởng đến sự phân hủy sinh học

khoảng gấp đôi. Tuy nhiên khi, nhiệt độ tăng lên quá nhiệt độ tối ưu thì tốc độ phản ứng giảm sút.

Sở dĩ khi nhiệt độ tăng (trong một khoảng nào đó) mà sự chuyển hoá sinh học tăng theo là do một hay nhiều nguyên nhân trong số sau đây:

- Sự tăng hoạt tính vi sinh vật
- Sự tăng độ hoà tan của chất gây ô nhiễm (cơ chất)
- Sự giảm nhiệt độ hấp phụ vào đất của chất gây ô nhiễm.

Nói chung, ở nhiệt độ trên 40 °C thì sự phân huỷ sinh học giảm xuống, do sự biến tính của enzym và protein, còn ở nhiệt độ gần 0 °C thì sự phân huỷ sinh học gần như ngừng hoàn toàn [Sims và cộng sự, 1990]. Về phần bản vi sinh vật, nói chung chúng có khả năng chịu đựng các cực trị nhiệt độ thấp do có vỏ bọc, rồi phục hồi khi nhiệt độ trở về bình thường, trong khi đó phần lớn quần thể bị chết ở nhiệt độ rất cao.

Trong thực tiễn những ảnh hưởng trên đây của nhiệt độ đối với vi sinh vật và sự phân huỷ sinh học chất gây ô nhiễm đã được khai thác như thế nào?

Trước hết, như chúng ta đã biết, những thay đổi khí hậu theo mùa làm thay đổi nhiệt độ của đất, do đó làm thay đổi tốc độ phân huỷ sinh học đó. Để giữ cho nhiệt độ của đất ít thay đổi theo mùa, đôi khi người ta phủ đất bằng những lớp bồi từ các nguyên liệu như phân ủ (compost), phân bón (manure), vỏ bào, vỏ cây, mùn cưa...v.v...

Việc tưới tiêu nước cũng là một biện pháp để điều chỉnh nhiệt độ của đất. Độ ẩm làm giảm tính dẫn nhiệt của đất và làm giảm những thay đổi hàng ngày về nhiệt độ của đất. Chính nguyên lý này được áp dụng trong nông nghiệp bằng cách tưới phun để hạn chế sự tạo thành sương muối (sương tuyết) trong mùa đông và làm mát đất trong mùa hè.

Một biện pháp khác là che phủ mặt đất nơi xử lý để hạn chế sự lan toả các hợp chất bay hơi, do đó làm tăng nhiệt độ của đất.

### **Độ ẩm và sự thông khí**

Về ảnh hưởng của độ ẩm đối với hoạt tính sinh học trong đất có những nguyên lý sau đây:

- Nước là hợp phần chủ yếu của nguyên sinh chất, do vậy việc cung cấp đủ nước là thiết yếu để đảm bảo sự tồn tại và sinh trưởng của vi sinh vật.
- Nước là môi trường vận chuyển chất hữu cơ và chất dinh dưỡng vào tế bào cũng như vận chuyển các chất thải ra khỏi tế bào.

## Những nhân tố ảnh hưởng đến sự phân hủy sinh học

- Hàm lượng nước của đất ảnh hưởng đến sự thông khí (vận chuyển oxy), độ hoà tan của các hợp phần của đất và pH.
- Vì những lẽ đó, nếu độ ẩm của đất quá thấp thì sẽ tạo thành những vùng khô hạn và làm giảm hoạt động vi sinh vật. Ngược lại, nếu độ ẩm của đất quá cao thì sự trao đổi khí sẽ giảm xuống, do đó sẽ tạo thành những vùng kỵ khí cùng với sự loại trừ vi sinh vật hiếu khí và tăng số lượng vi sinh vật kỵ khí hoặc kỵ khí tùy tiện.
- Độ ẩm có quan hệ trực tiếp với sự thông khí vì các lỗ hổng trong đất nếu không chứa khí.
- Khí quyển trong đất nói chung chứa nhiều CO<sub>2</sub> hơn khí quyển phía trên mặt đất do sự hô hấp của vi sinh vật và của rễ cây. Điều này hạn chế nhiều sự di chuyển của khí vào các lỗ nhỏ của đất.
- Trong thực tiễn, để đảm bảo sự sinh trưởng tốt nhất của hầu hết vi sinh vật hiếu khí, cần đảm bảo độ ẩm của đất từ 50% đến 75% so với khả năng giữ nước của nó.

## Các nhân tố thuộc về chất gây nhiễm

### Bản chất và cấu trúc hoá học

Các cấu trúc hoá học sau đây ức chế sự phân hủy sinh học đối với hợp chất chứa chúng:

- Các nhóm amin, methoxy, sulfomat, nitro
- Các phân tử được halogen hoá quá nhiều
- Các phân tử có trọng lượng lớn hoặc nhiều chuỗi dài
- Các vòng benzen được thế ở vị trí meta
- Các liên kết ete, và
- Các chuỗi cacbon phân nhánh

Do một trong những cấu trúc nói trên, mà những chất/nhóm chất sau đây được coi là khó bị phân hủy sinh học (tức bền vững), hoặc không bị phân hủy, chúng có thể có mặt trong đất hoặc nước ngầm:

- Các polyme tổng hợp
- Các chất clo hoá và các chất thơm
- Các pesticide như DDT và clordan (chlordan)

Thuộc diện khó phân hủy còn có những chất rất khó tan nên không được vận chuyển vào tế bào

Thuộc diện phân tử quá lớn nên không thể xâm nhập vào tế bào, đồng thời không bị biến đổi bởi enzym ngoại bào thì :

Những nhân tố ảnh hưởng đến sự phân hủy sinh học

- Polyvinyl clorit (polyvinyl chloride), và

Polyetylen (polyethylene)

Một số phân tử khác thì do có những đặc tính cấu trúc không gian nào đó mà ngăn cản sự tấn công của benzeym.

Ảnh hưởng của cấu trúc phân tử đến sự phân huỷ sinh học được thảo luận chi tiết ở *chương 6*.

### **Nồng độ**

Trong môi trường, các chất gây ô nhiễm có thể có mặt ở những nồng độ thấp hơn nồng độ ngưỡng đảm bảo sự tồn tại và sinh trưởng của quần thể vi sinh vật. Đó là trường hợp của 2,4D và diclorophenol (dichlorophenol): hai chất này dễ bị phân huỷ ở các nồng độ từ 1ppm đến 100ppm nhưng lại có thể tồn đọng nhiều năm khi có mặt ở các nồng độ cỡ ppb [Alexander,1981]. Nguyên nhân có thể là ở những nồng độ rất thấp thì các chất đó không cung cấp đủ năng lượng cho sự sinh trưởng của vi sinh vật, hoặc có lẽ vi sinh vật đã sử dụng những nguồn năng lượng khác (nếu có).

Trái lại, nếu các chất gây ô nhiễm có mặt với nồng độ vừa phải hoặc nồng độ cao thì có thể là độc đối với các vi sinh vật bản địa của đất, nước, nước thải, hoặc tầng lắng đọng. Các vi sinh vật bản dưỡng (oligotrophic microogamisms) chỉ có thể chịu đựng độ độc và sự ức chế của phân huỷ sinh học ở nồng độ thấp hơn so với các vi sinh vật được phân lập và duy trì trong các điều kiện phòng thí nghiệm điển hình, tức ở dạng chủng thuần khiết.

Có một vấn đề liên quan đến nồng độ của *đồng cơ chất* (*cosubstrate*) trong một hiệu ứng được gọi là sự đồng trao đổi chất (*cometabolism*). Như đã đề cập ở một phần trên đây, một số chất hữu cơ không được vi sinh vật sử dụng làm cơ chất cho sinh trưởng, nhưng sẽ được phân thông qua nếu vi sinh vật được cung cấp một chất hữu cơ khác, tức đồng chất. Đồng cơ chất này có tác dụng cảm ứng những enzym cần thiết trong quần thể thực hiện đồng trao đổi chất. Vấn đề về nồng độ là ở chỗ nếu đồng cơ chất có mặt với nồng độ quá cao thì sẽ dẫn đến sự cạnh tranh về enzym và do đó làm giảm sự chuyển hoá chất gây ô nhiễm đang bàn đến. (“Mọi sự thái quá đều không tốt!”). Người ta đang cố gắng hiểu rõ hơn vấn đề này bằng cách đưa ra các đồng cơ chất vào những địa điểm đang diễn ra sự phục hồi sinh học.

Một vấn đề khác, liên quan đến đồng trao đổi chất: sự có mặt của một cơ chất thứ hai, mà bản thân nó không phải là một đồng cơ chất gây ô nhiễm do hiệu ứng sinh trưởng kép (dianxic effects). Cụ thể là vi sinh vật chọn cho mình cơ chất nào cho phép nó sinh trưởng với tốc độ cao nhất (dễ sử dụng). Cơ chất được ưa thích ít hơn (khó sử dụng),

Những nhân tố ảnh hưởng đến sự phân hủy sinh học

thường là chất gây ô nhiễm, chỉ được phân huỷ khi cơ chất dễ sử dụng hơn có nồng độ vừa phải.

### **Các nhân tố vi sinh vật học.**

#### **Sự có mặt của các con đường phân huỷ chất gây ô nhiễm**

Bất kỳ sinh học một chất hữu cơ nào cũng được xúc tác nhờ các enzym. Sự phân huỷ sinh học một chất gây ô nhiễm đặc biệt nào đó thường là một quá trình nhiều giai đoạn do nhiều loại enzym xúc tác của nhiều loại vi sinh vật. Các enzym này là đặc hiệu về cơ chất và về phản ứng xúc tác.

Thông thường thì các vi sinh vật có những enzym để phân huỷ các chất gây ô nhiễm, tức con đường phân huỷ những chất ấy, đã có mặt trong đất. Ví dụ dễ thấy nhất là trường hợp của các hydrocacbon dầu mỏ. Tuy vậy, sự phân huỷ chất gây ô nhiễm thường không xảy ra do các điều kiện môi trường như oxy, chất dinh dưỡng, độ ẩm, pH.v.v.. không cho phép. Những nhân tố này đã được bàn đến ở mục 2. Theo đó các nhân tố môi trường có thể vừa tác động đến hoạt tính của quần xã vi sinh vật và quần thể phân huỷ chất gây ô nhiễm, vừa ảnh hưởng đến chính chất gây ô nhiễm. Khi các yếu tố của môi trường tác động đến quần xã và quần thể vi sinh vật, chúng cũng thể hiện tác dụng như những nhân tố sinh thái.

#### **Sự thích ứng(acclimation, acclimatization)**

Có thể nói về một thời kỳ thích ứng (acclimation period), đó là giai đoạn từ khi đưa (cấy) các vi sinh vật vào môi trường cần xử lý đến khi quan sát thấy biểu hiện của sự phân huỷ sinh học.

Trong xử lý đất ô nhiễm theo kiểu *làm đất(land treatment)* hay *canh tác đất (land farming)*, người ta trải đều chất thải trên nền đất rồi cày bừa đất để đưa chất thải vào đất, rồi làm thoáng khí cho đất để tăng cường hoạt động của vi sinh vật. Xử lý này có thể được tiến hành thành nhiều đợt. Trong đợt đầu, đất được trải thành một lớp dày, còn ở các đợt sau thì mỏng hơn. Ở các đợt sau, độ dày lớp đất phải làm sao để một phần đất của các đợt trước được trộn vào cùng đất mới do thao tác làm đất. Điều này cho phép đưa một số vi sinh vật đã qua giai đoạn thích ứng của đợt trước vào đất của đợt sau, và do đó làm rút ngắn pha sinh trưởng mở đầu. Ngoài ra làm như thế còn có tác dụng pha loãng chất thải cho lần sau, khiến cho thời gian xử lý lần sau được rút ngắn.

Còn trong xử lý chất thải theo kiểu ủ đất (composting), một quá trình hiếu khí trong đó chất hữu cơ rắn và ẩm được oxy hoá thành những dạng ổn định được áp dụng.

Vật liệu cây thchs hợp cho việc làm đống ủ thường có mặt trong đất, suôi nóng, và trong các vật liệu hữu cơ chất đống. Những hydrocacbon dầu mỏ, các dung môi không halozen



## Những nhân tố ảnh hưởng đến sự phân hủy sinh học

hoá, và nhiều hoá chất dùng trong nông nghiệp đều bị nhiều vi sinh vật phân huỷ. Mặc dù vậy, người ta vẫn thường bổ sung bùn cống như một nguồn vi sinh vật bổ sung để rút ngắn giai đoạn thích ứng. Ngoài ra việc tái tuần hoàn nguyên liệu từ các đồng ủ cũ cũng là một biện pháp tốt để cấy đồng ủ mới.

Trong các đồng ủ, nhiệt được sinh ra với tốc độ lớn hơn sự mất nhiệt. Sự tăng nhiệt độ của đồng ủ theo thời gian thường bắt đầu bằng một giai đoạn mở đầu ngắn ứng với giai đoạn thích ứng của vi sinh vật; sau đó nhiệt độ tăng theo hàm số mũ cho tới khi đạt giá trị cực đại.