



# Phục hồi sinh học pha rắn

Bởi:

Ngô Tự Thành

## Các thông số để thiết kế

### Mở đầu

Như đã đề cập ở phần trên, bản thân đất ô nhiễm hoặc bùn ô nhiễm không phải là một môi trường tốt cho việc ủ đồng trộn. Ví dụ, nó không cung cấp đủ nguyên liệu để phân hủy để sinh ra đủ nhiệt cho đồng ủ. Các chất thải độc hại thường không dễ bị phân hủy. Như vậy chất thải ô nhiễm thường được trộn với chất hữu cơ để bị phân hủy với tư cách là một *nguồn sinh ra nhiệt* [159].

*Các chất độn* thường được cho vào đồng ủ để cải thiện cấu trúc của đất, tăng độ xốp, làm cho không khí dễ xâm nhập. Việc cho chất độn vào là đặc biệt quan trọng đối với những loại đất chứa nhiều sét và bùn, hoặc với bùn và các loại đất bão hòa - ở đó không khí khó xâm nhập vào do không có hoặc thiếu các lỗ chứa đầy không khí. Điều quan trọng là cần chọn các chất độn nào có khả năng hấp phụ một phần độ ẩm thừa và tạo ra những lỗ chứa không khí liền nhau. Ví dụ, có thể bổ sung vỏ bào gỗ vào bùn công theo tỷ lệ 2:1 theo khối lượng, khi ấy giảm được độ ẩm từ 78% xuống còn 60% và tạo nên độ thoáng khí cần thiết [141].

Thông thường, một vật liệu có thể *vừa được dùng làm nguồn nhiệt, vừa là chất độn*. Đôi khi nhiều chất được dùng phối hợp để thành những chất bổ sung vào đất. Các ví dụ về những chất được dùng để bổ sung vào đất trong các trường hợp ủ đồng trộn khác nhau được kê trong bảng 8.4. Trong hầu hết trường hợp, các chất bổ sung vào đất cũng được dùng như một *nguồn vi sinh vật* để kích thích sự phân hủy sinh học. Trong những trường hợp này không cần phải có thủ tục riêng để cấy vi sinh vật. Các loại nguyên liệu được dùng làm chất bổ sung vào đất sẽ được thảo luận trong các phần sau đây.

**Bảng 8.4.** Các loại chất bổ sung đã được dùng trong các trường hợp ủ đồng trộn khác nhau

Quá trình	Các chất được bổ sung	Loại đất	Tài liệu
	Phân ủ, 10% khối lượng	Các loại	168

	Hỗn hợp của rơm, vỏ bào, và vỏ cây thông (đã được cắt bằng móc trắng đỏ), 5% trọng lượng khô	Bình thường	154
	Rơm/phân chuồng : 47%, Cỏ linh lăng : 38%, Thức ăn của ngựa : 12%, khối lượng	Bùn của hồ	177
	Phân ủ từ đất vườn: 20% Phân gà tây : 5%	Bình thường	131a
	Hỗn hợp của: cặn sữa, vỏ bào, bã thải từ khoai tây, và cỏ linh lăng: 70%	Bình thường	131a

### Nguồn nhiệt

Ít khi chất gây ô nhiễm cần phân hủy có mặt ở nồng độ cao đủ để sinh ra nhiệt thừa trong đồng ủ. Vì thế, trong hầu hết các quá trình phân hủy sinh học theo kiểu ủ đồng trộn, người ta phải bổ sung một nguồn nhiệt. Vật liệu dùng làm nguồn nhiệt phải có hàm lượng cao về chất hữu cơ dễ phân hủy sinh học. Các vật liệu hay dùng là: phân chuồng (ví dụ phân gà, phân ngựa), các chất thực vật (thân và lá cây), và chất thải công nghiệp thực phẩm (ví dụ ri đường). Sự phân hủy sinh học chất hữu cơ trong nguồn nhiệt tạo điều kiện cho vi sinh vật trong đồng ủ sinh trưởng mạnh, trong đó có các loài phân hủy chất gây ô nhiễm mà ta cần phân hủy. Trong một số trường hợp, nguồn nhiệt còn đồng thời đóng vai trò của một *đồng cơ chất (cosubstrate)* tức một *đồng chất trao đổi (cometabolite)* cần thiết cho sự phân hủy chất gây ô nhiễm đích vốn khó hoặc không bị phân hủy sinh học.

Tỷ lệ C : N là điều cần được xem xét khi thực hiện bổ sung nguồn nhiệt. Tỷ lệ ấy không được quá 20 hoặc 25. Tỷ lệ C : N của một số chất thải có quá ít Nitơ thì có thể không được vi sinh vật sử dụng triệt để, do đó nhiệt sinh ra trong đồng ủ là không đủ. Vì thế, nếu nguồn nhiệt được dùng có quá nhiều Cacbon, thì cần thêm một nguồn Nitơ. Việc chọn nguồn nhiệt nào thì phụ thuộc vào giá cả và vào mức độ dồi dào của các nguyên liệu ấy.

**Bảng 8.5.** Tỷ lệ C : N của một số chất thải được dùng làm nguồn nhiệt

Chất thải	C : N
Mùn cưa	200 – 500
Rơm lúa mì	128 – 150
Rơm yến mạch	48
Phân ngựa	25
Phân bò	18

Phân gia cầm	15
Cỏ vụn	12 – 15
Cây ngoài họ đậu	11 – 12
Bùn hoạt tính	6
Nước tiểu	0,8

## Chất độn

Chất độn, một khi được trộn vào đồng ủ, có tác dụng làm cho đất được xốp, không bị nén chặt, do đó tăng độ thoáng khí cho đất. Đất càng xốp thì càng dễ thoát nước, và do đó độ ẩm có thể giảm, và điều đó làm hại tới các hoạt động của vi sinh vật. Vì vậy, người ta thích dùng một chất độn nào hút nước, duy trì được độ ẩm cao đồng thời hạn chế sự nén chặt của đất, và ít bị phân hủy [167].

Những chất độn hay được dùng là rơm, cỏ khô, trấu, các nguyên liệu thực vật có sợi khác, vỏ bào, và các vật liệu tổng hợp trơ. Các lốp xe cũ được cắt hay xé nhỏ có thể cũng được dùng; chúng không bị phân hủy, nhưng không có tính hút ẩm và không có nhiều cấu trúc. Cũng có thể dùng các bã thải lấy từ một đồng ủ đã kết thúc. Không nên dùng giấy làm chất độn, vì khi bị ướt nó thường kết dính vào nhau.

Có thể dùng nhiều lần một số chất độn, để giảm bớt lượng chất thải vào môi trường, và đó cũng là một cách đưa các vi sinh vật đã được thích ứng vào cho lần phân hủy sau. Những chất độn có thể sử dụng nhiều lần là vỏ bào, bã thải từ đồng ủ, mảnh vụn lốp xe cũ bằng cao su v.v... Tuy nhiên, để có thể sử dụng lại các chất độn ấy, phân ủ đã xong (compost) cần phải được sàng, và thủ tục này tiêu tốn nhiều năng lượng và thời gian, đồng thời có thể làm phát tán các bóng khí nhỏ li ti trong đó có thể chứa các hợp phần độc hại.

## Vật liệu cây

Chúng ta biết rằng nhiều loài vi sinh vật trong đất có khả năng chuyển hóa hydrocacbon của dầu mỏ, các dung môi không halogen hóa, và nhiều hóa chất nông nghiệp. Các vi sinh vật thỏa mãn các tiêu chí của vật liệu cây dùng cho sự ủ đồng trộn thường có mặt trong đất, trong nguồn nhiệt, và trong chất độn. Tuy vậy, bùn cống vẫn thường được đưa vào đồng ủ nhằm cung cấp thêm vi sinh vật và rút ngắn thời gian thích ứng. Việc sử dụng lại bã thải ra từ các đồng ủ đã xong cũng là một phương pháp tốt để cấy vào các đồng ủ.

Ngoài những vật liệu cây như trên, có khi còn cần đến những vật liệu cây đặc biệt, được nuôi trước trong phòng thí nghiệm. Đó là những trường hợp chúng ta biết chắc chắn rằng chất gây ô nhiễm đích chỉ có thể bị phân hủy bởi một nhóm nhỏ các vi sinh vật.

Ví dụ, trong một xử lý ở quy mô đồng ruộng tại Phần Lan [154], người ta cấy nấm mốc *Phanerochaete chryosporium* để phân hủy sinh học mỹ mãn Clorophenol trong một loại đất ô nhiễm. Nấm đỏ trắng này là một hệ enzym đặc biệt có khả năng oxy hóa rất nhiều chất gây ô nhiễm hữu cơ vốn chỉ bị phân hủy sinh học kỵ khí một phần, theo cách khác. Nấm này trước hết được cho mọc trên một hỗn hợp gồm rơm, vỏ bào, mùn cưa, và vỏ cây thông, để tạo ra một môi trường chứa lignin tự nhiên. Sau khi nấm đã mọc tốt, hỗn hợp này được trộn vào đất ô nhiễm với tỷ lệ 5% theo trọng lượng khô. Sau 24 tháng, nồng độ Clorophenol giảm từ mức 200 xuống còn 30 ppm. Điều đáng ngạc nhiên là, thông thường nhiều loài vi khuẩn có khả năng phân hủy Clorophenol, thế mà ở đây phải cần đến một loài đặc hiệu. Có lẽ trong trường hợp này thì các điều kiện môi trường nào đó đã chi phối.

### **Thành phần đồng ủ**

Thành phần đồng ủ là một nhân tố quan trọng cần phải được xem xét trong thiết kế đồng ủ. Cần phải tìm được thành phần hợp lý nhất của hỗn hợp trong đồng ủ để cho quá trình phân hủy trong đó diễn ra hoàn hảo, với tốc độ nhanh và mức độ triệt để nhất có thể.

Gần như bao giờ cũng phải tiến hành các thử nghiệm ở quy mô phòng thí nghiệm hoặc quy mô pilot để xác lập thiết kế tối ưu. Một thiết kế tối ưu thường có tỷ lệ tương đối cao của các chất bổ sung, để tăng độ xốp của đất, để không khí được phân bố tốt hơn trong đồng ủ, tăng khả năng giữ nước, và do đó có được sự phân hủy sinh học tốt hơn. Điều này đặc biệt đúng cho các đất chứa nhiều sét. Tuy nhiên, nếu càng cho nhiều chất bổ sung thì lượng đất được xử lý trong một mẻ (đợt) càng ít, và diện tích đất cần cho việc xử lý càng nhiều, hoặc thời gian để xử lý toàn bộ đất ô nhiễm càng dài.

Một số nghiên cứu trong phòng thí nghiệm về xử lý đất ô nhiễm diesel [170] cho biết rằng khối lượng phân trộn (compost) càng nhiều (trong hỗn hợp đất – compost) thì hoạt động vi sinh vật càng mạnh, và sự loại bỏ hydrocacbon càng hiệu quả. Hiệu quả xử lý tốt nhất đạt được ở tỷ lệ đất : phân ủ bằng 2 : 1 (theo trọng lượng khô), còn hiệu quả thấp nhất ứng với tỷ lệ 16 : 1. Một nghiên cứu khác ở quy mô phòng thí nghiệm đối với đất sét bị ô nhiễm chất diệt cỏ Dicamba (axit 3,6-dicloro-2-metoxibenzoic) cũng thu được ở những kết quả tương tự [138]. Các hỗn hợp compost chứa 41% chất bổ sung theo trọng lượng (35% vỏ bào và 6% phân bò) có thời kỳ tiềm phát (lag period) ngắn hơn, có tốc độ phân hủy nhanh hơn, mức độ loại bỏ lớn hơn, và mức độ khoáng hóa lớn hơn, so với các hỗn hợp chỉ chứa 10,8% chất bổ sung (4,5% vỏ bào và 6,3% phân bò).

Mặt khác, có những thí nghiệm ở quy mô pilot cho thấy rằng việc bổ sung chất độn và bổ sung dinh dưỡng chỉ có ít hiệu quả cải thiện khả năng phân hủy chất ô nhiễm [152]. Các chất độn được lựa chọn trong thí nghiệm này bao gồm: bã thải thực vật băm nhỏ, rơm lúa mì, và bùn từ nhà máy lọc dầu, mỗi loại được trộn vào đất với 2 tỷ lệ khác nhau. Chúng được dùng để xử lý đất ô nhiễm bởi chất thải từ nhà máy lọc dầu và dầu thô, tồn đọng từ năm 1920. Mười lăm đồng ủ được dựng lên với những cấu hình khác nhau,

và được vận hành trong thời gian 45 tuần. Kết quả là, mức độ loại bỏ TPH trung bình khoảng 55% ở tất cả các đống, trong đó không có sự khác biệt có ý nghĩa giữa các công thức xử lý khác nhau. Nguyên nhân chính có thể là chất gây ô nhiễm bị biến đổi do thời tiết – khí hậu mà trở nên khó được vi sinh vật sử dụng. Nhân tố làm hạn chế khả năng phân hủy sinh học đối với các chất gây ô nhiễm trong trường hợp này không phải là hoạt động của vi sinh vật mà là sự biến đổi của các chất gây ô nhiễm: chúng trở nên không sử dụng được đối với vi sinh vật – tức trở nên bền vững. Có sự giảm khả năng được sử dụng của chất gây ô nhiễm là do sự hấp phụ mạnh vào sét và các bề mặt bùn cặn, do sự liên kết các hóa chất vào các chất hữu cơ của đất và của mùn, cũng như do chúng được giữ trong các lỗ nhỏ (micropores)

## **Độ ẩm**

Để cho quá trình composting diễn ra hoàn hảo thì điều thiết yếu là phải duy trì một độ ẩm thuận lợi cho sinh trưởng của vi sinh vật. Điều này tương tự như đối với quá trình làm đất. Trong quá trình làm đất, như đã đề cập ở trên, với độ ẩm tối ưu thì có đủ các khoảng không của các lỗ chứa đầy không khí để cho phép diễn ra hoạt động hiếu khí; độ ẩm tối ưu này được biểu thị bằng phần trăm (%) so với độ trữ ẩm đồng ruộng. Còn trong quá trình composting, độ ẩm tối ưu được đo bằng % của khả năng giữ nước của hỗn hợp trong đống ủ. Do có các chất độn được đưa vào đống ủ mà khả năng giữ nước của hỗn hợp compost thường cao hơn so với độ trữ ẩm đồng ruộng của đất không được bổ sung chất độn.

Độ ẩm tối ưu cho hoạt động của vi sinh vật trong hỗn hợp compost của đất là vào khoảng 60% khả năng giữ nước của nó [170]. Độ ẩm cao hơn thế thì làm giảm hoạt động vi sinh vật do làm giảm các lỗ chứa đầy không khí. Còn độ ẩm thấp hơn thì cũng gây hậu quả tương tự, nhưng là do nó làm giảm tính dễ sử dụng của chất gây ô nhiễm. Nói chung thì độ ẩm tối ưu thay đổi tùy trường hợp cụ thể, và phụ thuộc vào thành phần đống ủ cũng như bản chất của môi trường hoạt động của vi sinh vật phân hủy (hiếu khí, kỵ khí, vi hiếu khí), và dao động trong khoảng từ 50 đến 80% khả năng giữ nước.

## **Sự sinh nhiệt trong các đống ủ**

Do hoạt động trao đổi chất của vi sinh vật tham gia phân hủy các chất hữu cơ mà sinh ra nhiệt trong đống ủ. Tốc độ sinh nhiệt lớn hơn tốc độ thoát nhiệt, nên khi hoạt động trao đổi chất bắt đầu diễn ra thì nhiệt độ trong đống ủ cũng tăng dần lên, như biểu diễn trên hình 8.3.

**Hình 8.3** . *Sự thay đổi nhiệt độ theo thời gian trong quá trình ủ đống trộn.*

Đồ thị biểu diễn nhiệt độ theo thời gian trong đống ủ ở hình 8.3 cho thấy bốn giai đoạn: tiềm phát, logarit, cân bằng và giảm. Giai đoạn tiềm phát này trùng hợp với sự thích ứng

của vi sinh vật trong đông ủ. Sau đó nhiệt độ tăng lên với tốc độ logarit cho tới khi đạt giá trị cực đại, giữ nguyên giá trị ấy một thời gian rồi giảm xuống.

Nếu nhiệt độ đông ủ tăng lên đến phạm vi nhiệt độ của bọt ư nóng ( $>45^{\circ}\text{C}$ ) thì sẽ diễn ra những thay đổi lớn trong quần xã sinh vật. Những vi sinh vật nào không chịu được nhiệt độ cao thì sẽ chết hoặc tạo thành bào tử, còn các vi khuẩn ư nóng thì được tăng cường và trở nên chiếm ưu thế. Nếu nhiệt độ được phép tăng lên đến trên  $55$  hoặc  $60^{\circ}\text{C}$  thì vi khuẩn ư nóng bị ảnh hưởng, và hoạt động của chúng sẽ giảm. Thông thường, các đông ủ được vận hành sao cho nhiệt độ của chúng nằm trong khoảng ư ấm ( $30$  đến  $40^{\circ}\text{C}$ ) hoặc trong khoảng ư nóng ( $50$  đến  $60^{\circ}\text{C}$ ). Việc lựa chọn khoảng nhiệt độ này hay khác được dựa trên khả năng cung cấp vật liệu dùng làm nguồn nhiệt với chi phí vừa phải.

Trên đồ thị ở hình 8.3 ta thấy rằng trong những điều kiện đã cho nào đó, nhiệt độ của đông ủ sẽ giảm xuống sau một thời gian nào đó. Sự giảm nhiệt độ này có liên quan đến sự giảm cung cấp chất dinh dưỡng và sự giảm tương ứng của hoạt động vi sinh vật. Diễn biến nhiệt độ như trên hình 8.3 thường được ứng dụng để theo dõi hoạt động bên trong một đông ủ, nhất là các trường hợp đông ủ xử lý bùn cống. Khi đông ủ nguội đi và nhiệt độ bên trong nó gần bằng nhiệt độ xung quanh thì có thể coi như những chuyển hóa mạnh mẽ của quá trình ủ đã kết thúc.

Ngoài ra, một đông ủ còn có những biểu hiện khác chứng tỏ nó đã kết thúc hoạt động một cách có hiệu quả qua những thay đổi về kết cấu và mùi của nó. Vào lúc quá trình ủ bắt đầu thì ta thấy mùi khó chịu bốc ra từ bùn cống hoặc phân chuồng được đưa vào đông ủ làm nguồn nhiệt, còn khi quá trình ủ đã kết thúc thì phân ủ (compost) có mùi rất giống với mùi của đất vườn. Cấu trúc của hỗn hợp cũng chuyển từ dạng lộn nhon và dạng sợi sang dạng mịn và đồng nhất hơn. Những thay đổi về kết cấu và mùi này đều là kết quả của sự phân hủy sinh học chất hữu cơ.

Cuối cùng, sự chuyển đổi vật chất của đông ủ từ dạng rắn sang dạng khí làm cho kích thước đông ủ nhỏ đi là một biểu hiện khác nữa chứng tỏ rằng đông ủ đang kết thúc hoạt động có hiệu quả của mình. Tùy thuộc vào lượng chất hữu cơ được trộn với đất để đưa vào đông ủ mà khối lượng của đông ủ có thể giảm khoảng  $40\%$  [148].

### **Bài toán về hiệu suất của một đông ủ**

Một đông ủ để xử lý bùn ô nhiễm pyren (pyrene) ở nồng độ  $20.000$  ppm có trọng lượng  $2500$  kg. Đông ủ được làm sao cho bùn chiếm  $25\%$  khối lượng của hỗn hợp compost. Quá trình xử lý gồm hai giai đoạn, giai đoạn ủ thuần túy kéo dài  $40$  ngày và giai đoạn đảo xới (trong đó đông ủ được đảo xới định kỳ) kéo dài  $90$  ngày. Nếu thời gian chu kỳ bán hủy của pyren trong giai đoạn ủ thuần túy là  $30$  ngày và trong giai đoạn đảo xới là  $55$  ngày, và nếu khối lượng compost giảm đi được dự tính là  $30\%$  trong giai đoạn đảo xới thì nồng độ cuối cùng của pyren trong đông ủ sẽ là bao nhiêu?

Bài giải

1. Tìm nồng độ pyren có sẵn lúc đầu trong đồng ủ:

$$\begin{aligned} C_{\text{pyren}} &= \frac{20\,000 \text{ mg pyren}}{\text{Kg bùn}} \times \frac{0,25 \text{ kg bùn}}{\text{kg compost}} \\ &= 5000 \text{ mg pyren / kg compost} \\ &= 5000 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{pyren}} &= \frac{5000 \text{ mg pyren}}{\text{Kg compost}} \times 2\,500 \text{ kg compost} \\ &= 1,25 \times 10^7 \text{ mg pyren} \end{aligned}$$

1. Tìm sự giảm nồng độ pyren, dựa trên tốc độ phân hủy trong giai đoạn ủ thuần túy và giai đoạn đảo xới :

- Trong giai đoạn ủ thuần túy:

$$\ln(0,5) = -k(30 \text{ ngày})$$

$$k = 0,023 \text{ mỗi ngày}$$

Sau 40 ngày nồng độ pyren là :

$$\begin{aligned} \frac{C}{C_0} &= e^{-kt} \\ \frac{C}{C_0} &= e^{-(0,023)(40)} = 0,4 \\ C_{40} &= 0,4 C_0 \end{aligned}$$

- Trong giai đoạn đảo xới :

$$\ln(0,5) = -k(55 \text{ ngày})$$

$$k = 0,013 \text{ mỗi ngày}$$

Sau 130 ngày, nồng độ của pyren là :

$$\frac{C_{130}}{C_{40}} = e^{-kt}$$
$$\frac{C_{130}}{C_{40}} = e^{-(1,17)} = 0,31$$
$$C_{130} = 0,31 \times 0,4 C_0$$
$$= 0,124 C_0$$

3. Tìm nồng độ cuối cùng trong đồng ủ:

$$M_{\text{compost}} = (1 - 0,3) (2\,500 \text{ kg}) = 1\,750 \text{ kg}$$
$$M_{130} = 0,124 \times \frac{5\,000 \text{ mg pyren}}{\text{Kg compost}} \times 2\,500 \text{ kg compost}$$
$$= 1,55 \times 10^6 \text{ mg}$$
$$C_{130} = \frac{1,55 \times 10^6 \text{ mg pyren}}{1\,750 \text{ kg compost}} = 886 \text{ mg/kg} = 886 \text{ ppm}$$

Kết quả này cho thấy sự giảm thực sự nồng độ pyren là không nhiều lắm.

## Các kiểu hệ thống ủ đồng trộn

### Mở đầu

Ba kiểu hệ thống ủ đồng trộn được sử dụng rộng rãi là: *luồng*, *đồng ủ tĩnh*, và *nồi phản ứng kín*. Các luồng và đồng đôi khi còn được gọi là các *hệ thống mở* được dùng rộng rãi hơn các nồi phản ứng kín.

Trong các hệ thống mở, nguyên liệu cần ủ được chất thành đồng trên một nền không thấm, chẳng hạn bằng bê tông hoặc nhựa đường. Người ta thường đặt một lớp lót bằng polyetilen (polyethylene) lên trên mặt nền trước khi chất đồng nguyên liệu, để đảm bảo chắc chắn rằng các chất gây ô nhiễm hoàn toàn không rò rỉ xuống đất qua các kẽ nứt có thể có của nền.

Các hệ thống kiểu luồng và kiểu đồng ủ tĩnh thì khác nhau nhiều về biện pháp thông khí. Trong vận hành các luồng, người ta thông khí cho chúng bằng cách đảo xới hỗn hợp ủ,



bằng tay hoặc bằng máy. Còn đối với các đồng thì người ta áp dụng sự thông khí cưỡng bức. Một hệ thống các ống dẫn khí có đục nhiều lỗ nhỏ dọc theo thành ống được đặt nằm trên nền của đồng ủ (hình 8.4), và sự thông khí được thực hiện nhờ áp suất dương (đẩy không khí qua ống dẫn) hoặc nhờ áp suất âm (tạo chân không trong ống dẫn).

Trong một hệ thống đồng (còn gọi là hệ thống trong bình chứa) thì hỗn hợp ủ được đặt vào trong một nồi phản ứng đóng kín, trong đó sự trộn và sự thông khí được tiến hành bằng cách khuấy đảo và thông khí cưỡng bức.

#### **Hình 8.4 . Sơ đồ một đồng ủ tĩnh được thông khí**

### **Luồng**

Đó là kiểu ủ đồng trộn đơn giản nhất trong ba kiểu đã nêu ở phần trên đây. Luồng là những đồng dài của nguyên liệu đem ủ trên một nền không thấm.

Kích thước của luồng có ảnh hưởng nhiều tới hiệu suất ủ. Để duy trì nhiệt độ cao bên trong luồng thì luồng phải đủ lớn, sao cho nhiệt sinh ra do trao đổi chất vượt quá lượng nhiệt mất đi ở các bề mặt ngoài của luồng. Tiết diện ngang của luồng càng lớn thì tỷ lệ bề mặt so với khối lượng càng nhỏ, do vậy lượng nhiệt được giữ trong luồng càng nhiều [151]. Nhiệt độ của luồng có thể được khống chế bằng cách đảo xới luồng, và thao tác này cũng còn là một cách để thông khí nữa. Bề rộng của luồng thường từ 3 đến 4m, còn chiều cao thì có thể tới 1,2 hoặc 1,5m [136]. Đôi khi các luồng có chiều rộng tới 6m [131a].

Muốn cho hỗn hợp bên trong luồng có cấu trúc đồng nhất hơn, và do đó đạt được sự phân hủy sinh học tốt hơn thì các nguyên vật liệu dùng để ủ thường phải được trộn kỹ với nhau trước khi chúng được đổ thành luồng hay đồng. Sự trộn sơ bộ này là đặc biệt quan trọng nếu có dùng các chất dinh dưỡng và các chất bổ sung khác cho luồng ủ. Các chất dinh dưỡng và các chất bổ sung hòa tan có thể được đưa vào luồng cùng với nước bổ sung để đảm bảo một sự phân bố đồng đều bên trong luồng. Nếu chất dinh dưỡng được đưa vào cùng với nước tưới thì có thể bị hạn chế do sự di chuyển của chất lỏng trong khối chất được ủ.

Đôi khi nguyên liệu đem ủ được trải đều thành các lớp, sau đó được trộn với nhau để tạo thành luồng. Ví dụ tại căn cứ không quân Seymour Johnson ở Bắc Carolina, một hệ thống luồng được thiết lập gồm 5 lớp. Một lớp gồm mảnh vụn cây và cỏ được đặt ở đáy của luồng để bảo vệ nền kín khỏi bị hư hại do các máy móc nặng ở phía trên. Một lớp đất ô nhiễm được đổ lên trên đó, rồi tiếp theo là một compost, và sau đó là một lớp phân gà tây được dùng làm nguồn nhiệt. Lớp compost chiếm khoảng 10% khối lượng đồng (luồng), còn lớp phân gà chỉ chiếm khoảng 5%.

#### *Thông khí cho luồng*

Biện pháp thông khí nào sẽ được áp dụng cho luống ủ, điều đó chi phối phần nào kích thước của luống sắp xây dựng. Việc trộn bằng máy là phổ biến, trong đó sử dụng máy .....(front-end loader) hoặc máy .....(turner). Máy .....là không đất bằng máy kia, nhưng hiệu quả trộn phụ thuộc vào thời gian mà người vận hành máy dùng để trộn đều luống. Còn máy .....thì có khả năng leo lên luống để đảo và trộn trong lúc nó di chuyển theo chiều dài luống, do vậy kết quả trộn và thông khí là tốt hơn.

Việc đảo xới nhằm mục đích trước hết là thông khí cho luống ủ, sau đó có thể là kết hợp với việc làm thoát nhiệt để giảm nhiệt độ của luống. Do vậy, tùy theo mục đích của việc đảo xới mà tần suất đảo xới là khác nhau. Sơ đồ phân bố nhiệt độ trong luống được trình bày trên hình 8.5. Sự chênh lệch nhiệt độ giữa các phần trong luống ủ và kích thước của mỗi phần phụ thuộc phần nào vào tần suất đảo xới. Việc đảo xới góp phần làm thay đổi sơ đồ phân bố nhiệt trên đây, sao cho những lớp ngoài vốn có nhiệt độ thấp sẽ được đảo vào bên trong có nhiệt độ cao hơn

**Hình 8.5.** *Sơ đồ sự phân bố nhiệt độ thường thấy bên trong một luống ủ*

Một lợi ích nữa của việc đảo xới là góp phần trộn đều các chất gây ô nhiễm với các chất bổ sung vào đất, do đó chúng được cung cấp tốt hơn cho các vi sinh vật phân hủy.

Tần suất đảo xới luống, theo U.S.EPA [176] là mỗi ngày một lần, còn theo Seller và cộng sự [168] thì chỉ là một tháng một lần, thậm chí không cần đảo xới suốt quá trình ủ.

Những luống hoặc đống không được đảo xới đôi khi được coi là có sự thông khí thụ động để duy trì điều kiện hiếu khí. Sự thông khí thụ động là kết quả của sự chênh lệch nhiệt độ giữa bên trong và bên ngoài luống hoặc đống ủ : do sự chênh lệch này mà có dòng thông khí đối lưu vào và ra khỏi luống hoặc đống ủ. Sự thông khí như vậy phụ thuộc vào độ xốp của luống hay đống ủ (khoảng rỗng chứa không khí) và vào độ sâu của đống ủ, như nêu trong hình 8.6. Lớp ngoài cùng do tiếp xúc với khí quyển nên có nồng độ oxy cao hơn so với lớp sâu nhất – nơi thiếu oxy nhất. Nếu luống ủ hoặc đống ủ có kích thước quá lớn thì oxy khuếch tán xuyên qua các lớp ngoài sẽ bị tiêu dùng hết trước khi nó có thể tới các lớp sâu phía trong.

**Hình 8.6.** *Sự phân bố oxy bên trong một luống ủ không được đảo xới thường xuyên.*

Khả năng khuếch tán rất hạn chế của oxy vào bên trong một đống ủ lớn như vừa trình bày, có thể thấy rất rõ trong một xử lý ở quy mô đồng ruộng sau đây [130]. Trong xử lý này, một luống rộng 12m, cao 2,5m, và dài 26m, được xây dựng để xử lý đất ô nhiễm etylbenzen (ethylbenzene), styren (styrene), và những hydrocacbon khác của dầu mỏ. Để tăng cường sự thông khí thụ động, người ta đặt bốn ống dẫn không khí trên nền của luống, và thêm ba ống nữa vùi vào luống ở độ sâu 1,5m tính từ bề mặt luống. Sau đó, phủ luống bằng một lớp vỏ bảo dày 20mm. Sau 168 ngày xử lý, nồng độ của cả hai

chất này đã giảm từ mức cao là 2.190 và 365 ppm, theo thứ tự, xuống còn dưới 1ppm, ở bên trong lớp 80cm trên cùng. Nồng độ tổng của các hydrocacbon đã giảm từ mức cao 30.000 ppm xuống gần 1000 ppm ở cùng độ sâu. Tuy nhiên ở những độ sâu quá 80cm thì nồng độ chất gây ô nhiễm giảm không đáng kể. Nhiệt độ trung bình của luống trong những tháng mùa đông lạnh là 15°C trong khi nhiệt độ của không khí xung quanh luống là dưới -10°C. Như vậy, các kết quả này dường như cho thấy rằng oxy chỉ khuếch tán vào đến lớp trên cùng của luống.

### Che phủ các luống

Thông thường, các luống ủ được làm ở ngoài trời nên cần phải che phủ chúng để duy trì nhiệt độ bên trong, giảm thiểu sự bào mòn do gió, và ngăn cản sự bão hòa nước mưa. Mưa còn nguy hiểm ở chỗ, nước chảy ra từ các luống hoặc đọng bị mưa thì có chứa các chất gây ô nhiễm. Các lớp che phủ cũng cần thiết nếu có nguy cơ về sự lan tỏa các VOC độc hại. Chỉ trong những trường hợp các luống được làm bên trong các nhà kho hoặc các kiến trúc tương tự (tận dụng) thì mới không cần che phủ luống.

Vật liệu che phủ luống thường là vật liệu tổng hợp, như polyetylen dày, hoặc vật liệu hữu cơ, như vỏ bào hoặc compost.

### Đóng ủ tĩnh

Đóng ủ tĩnh khác với luống ủ ở biện pháp thông khí cho nó. Ở đây, vật liệu đem ủ được chất bên trên một hệ thống ống dẫn khí có đục nhiều lỗ nhỏ ở thành và thông với máy nén khí hoặc máy hút chân không. Như vậy sự thông khí cho đóng ủ tĩnh có thể đạt được nhờ áp suất dương (thông khí cưỡng bức) hoặc áp suất âm (tạo chân không).

Người ta ưa dùng áp suất âm vì theo cách này thì sự lan tỏa của các chất bay hơi được giảm thiểu và các khí ra khỏi hệ thống có thể được xử lý riêng rẽ (xem chương 10) hoặc được oxy hóa có xúc tác. Việc tái tuần hoàn khí thoát ra cũng có thể có hiệu quả, trong đó đóng ủ tĩnh, chính nó, đóng vai trò của một màng sinh học. Tuy nhiên sự thông khí theo kiểu áp suất âm có thể không được dùng ở những vùng có khí hậu quá lạnh. Không khí lạnh bị hút vào trong đóng ủ tĩnh sẽ làm giảm nhiệt độ trong đó, nhất là ở những lớp ngoài. Trong khi đó thì xử lý theo kiểu áp suất dương làm cho đóng ủ nóng lên, do không khí nén đưa vào đó đã bị nóng lên rồi.

Đóng ủ tĩnh thường có kích thước lớn hơn luống ủ vì nó được thông khí không cần đảo xới. Thông thường, các đóng ủ tĩnh có chiều cao tới 3m (bảng 8.6), có khi cao tới 6m [136]. Những đóng ủ cao vài mét đôi khi được gọi là các *đóng ủ sinh học (biopiles)* (hình ...). Trong các đóng ủ lớn thì hệ thống ống dẫn có thể được đặt ở những độ cao nào đó (thay vì đặt ở đáy), để đảm bảo sự thông khí, sự cung cấp độ ẩm và cung cấp chất dinh dưỡng. Những đóng ủ nhỏ hơn thì thường được tưới nước nhờ các ống dẫn hoặc vòi nước đặt ở bề mặt ngoài của đóng.

**Bảng 8.6.** Các đặc tính của đồng ủ tĩnh trong một số công trình xử lý

Kích thước đồng, m			Tài liệu			
	Rộng	Cao		Dài		
Vật liệu che phủ/lót	Kiểu thông khí	Nhận xét				
30	2	50	Lót, HDPE	Dương	Đồng ủ được cấy mốc đỏ trắng	154
16,5	2,4	16,5	HDPE 9mm	Âm	Phản che phủ có khung PVC	163
9,1	3,0	24,4	3 lớp chất dẻo 6mm	Âm	Ống dẫn được vùi ở độ cao 1,2 và 2,1m, và đặt cạnh các ống hút hơi	168
5,5	1,6	9,1	Mùn cưa	Âm		177
12	2,5	26	Lớp vỏ bào 0,3m, rồi lớp phủ trên cùng bằng PE dày 20mm	Âm	75% của khí ra được tái tuần hoàn vào trong đồng ủ.	130

**Hình ...** Các đồng ủ sinh học để xử lý khoảng 15.200 m<sup>3</sup> đất ô nhiễm hydrocacbon từ các bể chứa ngầm [243]

#### Thông khí cho đồng ủ tĩnh

Dòng không khí đi vào đồng ủ tĩnh không những là nguồn oxy mà còn góp phần không chế nhiệt độ của đồng ủ. Vì thế việc đặt các ống dẫn có đục lỗ và lựa chọn tốc độ thông khí được coi là những yếu tố thiết kế quan trọng trong xử lý theo hình thức đồng ủ tĩnh. Các ống dẫn ở nền đồng ủ luôn luôn được vùi vào một lớp vật liệu có độ thấm cao như sỏi, cát, vỏ bào, hoặc compost. Trên hình 8.4a và 8.6a cho chúng ta thấy các ống dẫn đang được lắp đặt trên nền các đồng ủ.

**Hình 8.4a.** Chuẩn bị nền cho một đồng ủ sinh học để xử lý đất ô nhiễm hydrocacbon dầu mỏ. Một mạng lưới các ống dẫn vùi được lắp đặt để cung cấp oxy cho các vi sinh vật phân hủy.

**Hình 8.6a.** Hệ thống thông khí cho các đồng ủ sinh học ở một nhà máy lọc dầu. Các ống dẫn khí được có lớp bọc ngoài để ngăn ngừa rò rỉ và giữ nhiệt trong thời tiết lạnh.

Tốc độ thông khí khi vận hành đồng ủ phải phù hợp với hoạt động vi sinh vật đang diễn ra trong đồng. Khi quá trình xử lý bắt đầu và hoạt động vi sinh vật tăng tốc, nhu cầu oxy là cao, nhiệt độ tăng tương đối nhanh, thì cần thông khí với tốc độ lớn. Còn khi quá trình xử lý diễn ra, nồng độ các chất hữu cơ giảm, hoạt động vi sinh vật giảm, nhu cầu oxy giảm, nhiệt độ giảm, thì cũng phải giảm tốc độ dòng không khí.

Có ba kiểu thông khí cho đồng ủ tĩnh, tùy theo tốc độ thông khí [160]:

a, *Tốc độ cố định*

Theo kiểu này, tốc độ thông khí là không đổi, và người ta không chế lượng không khí đi vào đồng ủ theo một chế độ bật-tắt cố định. Ví dụ, cho máy thông khí hoạt động trong 6 phút rồi cho dừng trong 18 phút. Nhược điểm chính của phương pháp này là đồng ủ có thể bị thông khí quá mức, do đó cũng bị làm nguội đi, lúc bắt đầu xử lý - khi hoạt động vi sinh vật chưa mạnh; và có thể bị thông khí chưa đủ, về sau - khi hoạt động vi sinh vật và do đó nhiệt độ đồng ủ đạt mức cực đại.

b, *Tốc độ thay đổi*

Theo kiểu này, tốc độ thông khí lúc bắt đầu xử lý được duy trì ở mức độ cao, sau đó giảm dần (hàm bậc thang) theo thời gian. Phương pháp này khó áp dụng vì phải theo dõi hàng ngày, và do vậy ít được dùng nhất.

c, *Thông khí tự động*

Người ta lập chương trình cho máy tính để điều chỉnh tự động phù hợp với các trị số nhiệt độ đo được.

Che phủ cho đồng ủ tĩnh

Việc che phủ có những tác dụng tốt như đã nói trước đây, nhưng cũng cản trở dòng không khí đi vào đồng ủ tĩnh, nhất là trường hợp của những tấm che phủ không thấm như plastic hoặc HDPE. Khi ấy cần phải có các biện pháp sao cho không khí có thể xâm nhập đồng ủ để bù lại phần đã bị rút đi. Các ví dụ về những biện pháp ấy là:

- Tạo những chỗ hở hoặc khe hở ở tấm che phủ. Tuy nhiên, như thế chỉ tạo được sự di chuyển không khí theo từng đoạn ngắn ở những chỗ hở, còn ở phần không hở thì không có dòng không khí nào được tạo ra. Để khắc phục nhược điểm này, Peterson và cộng sự [163] đã dùng một hệ thống khung đỡ bằng PVC để giữ tấm phủ ở độ cao khoảng 15-70cm bên trên bề mặt đất. Vấn đề

khác lại nảy sinh từ đó là hệ khung đỡ này khá yếu, nó có thể bị võng xuống, làm cho nước đọng ở trên tấm phủ, và rồi tấm phủ sẽ bị rách.

- Cho phép một dòng không khí thụ động đi vào trong đồng ủ bằng cách đặt những ống PVC có khe hở vùi vào trong đồng, mà những ống này thông với khí quyển bên ngoài, hoặc đặt một lớp sỏi giữa các tầng trong đồng ủ, để tạo một lớp cho không khí đi vào.
- Cho phần không khí ở dòng ra từ đồng ủ quay trở lại đồng ủ, đồng thời bổ sung không khí mới.

Hiệu quả của ba kỹ thuật trên đây cũng như những nhược điểm của chúng không được đề cập nhiều trong các tài liệu.

### **Nồi phản ứng kín**

Đó là những bể chứa kín trong đó diễn ra quá trình xử lý được kiểm soát gần như hoàn toàn. Các nồi phản ứng này thường có các bộ phận khuấy trộn thường xuyên hoặc liên tục chất thải cần xử lý, và do đó được gọi là các trống xoay (quay), các bể trộn, hoặc các buồng trộn, tùy theo cấu trúc của chúng. Việc khuấy trộn làm cho các chất ô nhiễm đích được phân bố tốt hơn trong lòng khối hỗn hợp xử lý và cải thiện sự tiếp xúc giữa vi sinh vật với các hóa chất, do đó tăng cường khả năng phân hủy sinh học [148]. Các nồi phản ứng kín cũng cho phép kiểm soát tốt hơn sự phát thải không khí. Các chất hữu cơ bay hơi, cũng như các mùi độc hại, được chứa, và có thể được hồi lưu hoặc được xử lý riêng. Vì rằng khối hỗn hợp xử lý trong nồi không tiếp xúc với khí quyển bên ngoài nên sự mất nhiệt được giảm thiểu, và sự khống chế nhiệt cũng như cung cấp oxy có thể đạt được bằng cách thông khí cưỡng bức. Đồng thời môi trường đóng kín ấy cũng cho phép duy trì độ ẩm tối ưu, loại bỏ sự rò rỉ do thẩm lọc, do đó tránh được sự ô nhiễm cho đất và nước ngầm trong vùng xử lý.

### **Ưu điểm và nhược điểm của phương pháp ủ đồng trộn**

#### *Ưu điểm*

- Cần ít năng lượng
- Thải ra ít bùn và nước thải
- Có thể áp dụng để xử lý hầu hết chất hữu cơ
- Ít bị ảnh hưởng của nồng độ tương đối cao của kim loại
- Thời gian lưu giữ, tức thời gian phân hủy, ngắn hơn nhiều so với của xử lý tại chỗ hoặc của xử lý theo phương pháp làm đất, ví dụ hàng tuần so với hàng tháng [167]
- Đòi hỏi ít diện tích hơn so với làm đất
- Hạn chế được sự ô nhiễm nước [174]
- Rẻ hơn nhiều so với các phương pháp không sinh học, ví dụ thiêu đốt, và công nghệ cũng dễ áp dụng hơn

### *Như ợc đi ể m*

- Đòi hỏi cao về duy tu, bảo dưỡng
- Mức độ lan tỏa không khí cao

Cả hai đặc đi ể m này là do nhiệt độ cao của đ ồng ủ chi phối. Tuy vậy, sự lan tỏa không khí ở đây dễ kiểm soát hơn so với trong phương pháp làm đất.

- Cần theo dõi chặt chẽ độ ẩm để duy trì hoạt động vi sinh vật ở mức tối ưu. Đó cũng là do nhiệt độ cao của đ ồng ủ, và do sự thông khí định kỳ.

### **8.4.** .....

Một nghiên cứu đ ồng ruộng được tiến hành tại Nhà máy vũ khí ở Louisiana để đánh giá phương pháp ủ đ ồng trộn với tư cách là một công nghệ trong xử lý bùn hồ bị ô nhiễm các chất nổ [177,178]. Các chất ô nhiễm bao gồm TNT (2,4,6-trinitrotoluen), HMX (octahydro-1,3,5,7-tetranitri-1,3,5,7-tetraazocin), RDX (hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazin), và tetryl (N-metyl-N,2,4,6-tetranitroanilin).

Để chuẩn bị hỗn hợp ủ, bước đầu tiên là trộn đều (đồng nhất hóa) bùn ô nhiễm và xác định nồng độ của các chất nổ gây ô nhiễm. Kết quả cho thấy bùn này chứa 56.800 mg TNT/ kg, 17.900 mg RDX/ kg, 2.390 mg HMX/ kg, và 650 mg teryl/ kg.

Sau đó các chất độn và các nguồn nhiệt được đưa vào và trộn đều với bùn. Thành phần của hỗn hợp cuối cùng, theo trọng lượng, là: 24% bùn ô nhiễm, 10% cỏ linh lăng, 25% rom ổ gia súc (rom/phân), và 41% thức ăn ngựa. Một lượng nhỏ phân vô cơ cũng được đưa vào để cung cấp nitơ và photpho cho sinh vật. Tỷ lệ C:N trong thiết kế là 30:1. Mỗi đ ồng ủ có khối lượng khoảng 26,6 m<sup>3</sup> và trọng lượng khoảng 4.400 kg. Mùn cưa, vỏ bào, và rom bó được dùng làm lớp phủ và lớp nền.

Hai đ ồng ủ tĩnh được xây dựng trên những nền bê tông có gờ rãnh thoát nước. Nước rỉ thoát ra, nếu cần, được đưa trở lại đ ồng ủ để điều chỉnh độ ẩm. Mỗi đ ồng ủ được che phủ riêng bằng một cấu trúc mở về phía bên để chống mưa và chống thấm xuống dưới. Một ống bể với các cánh quạt tỏa tròn được nối với hệ thống ống PE đục lỗ dùng để hút không khí qua đ ồng ủ, có tác dụng chống nổ. Một role thời gian được lập trình và một hệ thống báo phản hồi nhiệt độ được dùng để kiểm tra sự tuần hoàn khí do ống bể, và kiểm tra nhiệt độ trong đ ồng ủ.

Một trong hai đ ồng ủ được giữ ở nhiệt độ khoảng 35°C (khoảng của vi sinh vật ưa ấm), còn đ ồng kia ở 55°C (khoảng của vi sinh vật ưa nóng). Hai cặp nhiệt độ cũng được dùng để theo dõi nhiệt độ bên trong đ ồng ủ. Một cặp được đặt ở đầu chót của đ ồng ủ tiếp giáp với ống bể, còn cặp kia được đặt ở giữa đ ồng ủ, bên cạnh nhiệt điện trở kiểm soát sự tuần hoàn khí của ống bể.

Thời gian hoạt động của hai đồng ủ là 153 ngày, với 9 lần lấy mẫu ở các thời điểm khác nhau để xác định nồng độ các chất gây ô nhiễm. Các mẫu được lấy từ phần trung tâm đồng ủ, ít nhất tại ba điểm khác nhau dọc theo chiều dài đồng, ở mỗi lần lấy mẫu. Độ ẩm trong các đồng thay đổi trong khoảng từ 25 đến 56% trọng lượng. Người ta nhận thấy rằng mỗi khi độ ẩm hạ xuống tới dưới 35% thì nhiệt độ hạ xuống đáng kể. Do vậy, nước được thêm vào mỗi khi độ ẩm giảm xuống tới dưới 40%. Trong thời gian thí nghiệm, các đồng ủ được dỡ ra, làm ẩm trở lại, và trộn lại, ba lần.

### Kết quả

Các kết quả thu được từ công trình xử lý này được tóm tắt như sau:

- Hiệu quả xử lý (mức độ giảm nồng độ các chất gây ô nhiễm) ở nhiệt độ của vi sinh vật ưa nóng cao hơn nhiều so với ở nhiệt độ của bọn ưa ẩm. Tổng lượng các chất nở trong “đồng ưa nóng” giảm từ mức 17.870 (tính trung bình) xuống còn 74 mg/kg, còn ở “đồng ưa ẩm” là từ 16.460 xuống còn 326 mg/kg.

Tuy nhiên, cần nhớ rằng các trị số này chỉ phản ánh nồng độ các chất gây ô nhiễm trong phân có thể chiết rút, chứ không thể tính được trong phân được hấp phụ vào mạng lưới chất thô của đồng ủ hoặc được gắn vào các chất mùn trong đó. Ngoài ra, sự bay hơi không thể được coi là một sự loại bỏ các chất gây ô nhiễm do áp suất hơi thấp của chúng

- Đã theo dõi sự tạo thành các sản phẩm đặc hiệu từ TNT, và thấy rằng nồng độ các sản phẩm này tăng gấp 6 lần trong vài tuần lễ đầu tiên, sau đó giảm tới mức rất thấp ở cuối quá trình xử lý.
- Có những biến đổi về cảm quan của khối chất trong đồng ủ. Nhìn bằng mắt thường thì nhận thấy ở đồng ủ đã biến đổi nhiều trong thời gian xử lý. Khi mới bắt đầu trộn, đồng ủ trông như có kết cấu thô và dạng kết cấu là dạng sợi, đồng thời có mùi của phân chuồng. Vào lúc kết thúc thực nghiệm, nó trông như ... và có mùi như đất mùn.

### Câu hỏi suy luận

- Vì sao anh/chị nghĩ rằng nhiệt độ trong đồng ủ giảm khi độ ẩm giảm?
- Vì sao anh/chị nghĩ rằng sự loại bỏ chất gây ô nhiễm trong “đồng ưa nóng” là mạnh hơn trong “đồng ưa ẩm”?
- Bình luận về sự biến động các sản phẩm của sự chuyên hóa trong quá trình xử lý.