

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH  
VIỆN MÔI TRƯỜNG VÀ TÀI NGUYÊN

Hans-Joachim Jordening, Josef Winfer

# GIÁO TRÌNH CÔNG NGHỆ SINH HỌC MÔI TRƯỜNG

## Lý Thuyết và Ứng Dụng

Dịch giả: Lê Phi Nga

Hoàng Thị Thanh Thủy

Đinh Xuân Thắng

Nguyễn Như Hà Vy



---

# Chương 13

---

## QUÁ TRÌNH COMPOST TỪ CHẤT THẢI HỮU CƠ

Michaels S. Switzenbaun

### 13.1. GIỚI THIỆU

'Composting' là quá trình phân hủy sinh học chất thải hữu cơ trong điều kiện hiếu khí được kiểm soát. Ngược lại với quá trình phân hủy của các hợp chất hữu cơ ngoài tự nhiên, trong quá trình 'composting' nhiệt độ trong khói chất thải tăng lên do nhiệt tự sinh từ hoạt động của các vi sinh vật chịu nhiệt - mesophiles ( $25-40^{\circ}\text{C}$ ) và ura nhiệt - thermophiles ( $50-70^{\circ}\text{C}$ ). Kết thúc quá trình 'composting', sản phẩm thu được khá ổn định về sinh học, tương tự như chất mùn, có thể sử dụng để trộn thêm vào đất hay làm phân bón, màng lọc sinh học hay nhiên liệu.

Mục tiêu của quá trình 'composting' chính là: ổn định sinh học, giảm thể tích và khói lượng chất thải, làm khô, loại bỏ tối đa các chất độc đối với thực vật, hạt hay những phần của cây và tiêu diệt các mầm bệnh. 'Composting' cũng là cách để loại bỏ chất ô nhiễm trong đất. Hầu hết các chất ô nhiễm hữu cơ có thể bị loại bỏ nhờ phương pháp này. Việc xử lý chất thải hữu cơ bằng phương pháp 'composting' trước khi thải bỏ, chôn lấp làm giảm 'hiệu ứng nhà kính'.

Từ các góc độ xem xét thì quá trình 'composting' được tạo nên là để thỏa mãn mục tiêu hiệu quả cao về kinh tế, có nghĩa là giảm nhân công và chi phí. Để đạt được mục tiêu này cần nỗ lực tối ưu hóa những tác nhân sinh học, công nghệ và vận hành đồng thời giảm những ảnh hưởng bất lợi trong quá trình 'composting'. Những yếu tố có thể gây ảnh hưởng tới quá trình 'composting' đã được nghiên cứu từ khá lâu và ghi nhận trên nhiều công trình nghiên cứu riêng biệt hay những tổng quan. Giai đoạn những năm 1970 là một giai đoạn

đặc trưng của quá trình ‘composting’, thời đó nở rộ những kỹ thuật mới, quá trình mới và tối ưu hóa quá trình được nghiên cứu và đề xuất, nhờ đó mở rộng thị trường ứng dụng cho loại hình công nghệ này. Một trong nhiều lý do dẫn đến sự phát triển của công nghệ này chính là người ta đã phải chi phí khá cao để diệt các mầm bệnh trong chất thải chôn lấp, để cải thiện những yêu cầu về bảo vệ môi trường ngày càng cao cũng như các luật định, sắc lệnh, quy định mới ban hành. Thực tế là nguồn tài nguyên có giới hạn, vì vậy ý tưởng sử dụng lại chất thải hữu cơ làm giàu thêm cho đất trồng cũng chính là động lực quan trọng để phát triển lĩnh vực này.

Một số lượng khá lớn các bài báo khoa học và bài tổng quan về ‘composting’ được đăng trên các tạp chí chuyên ngành như: *Compost Sciences and Utilizations*, *Biosource Technology* và *Biosystem Engineering*. Một bài báo cho thấy cái nhìn tổng quan về lĩnh vực ‘composting’ [1-8].

### 13.2. CÁC VẬT LIỆU THẢI ĐỂ LÀM COMPOST

Chất thải hữu cơ cho quá trình composting có thể có nguồn gốc từ chất thải sinh hoạt, công nghiệp, nhà máy xử lý nước thải, nông nghiệp, chăn nuôi, vùng phong cảnh hay rừng (xem bảng 13.1). Khối lượng, thành phần và đặc trưng lý học của chất thải của một cơ sở “composting” bị ảnh hưởng bởi một loạt yếu tố như nguồn gốc chất thải, quá trình sản xuất, quá trình chế biến, mùa trong năm, hệ thống thu nhận, đặc trưng xã hội và tập quán địa phương. Chất thải có phổ rộng về khối lượng và thành phần đòi hỏi phải có những phân tích kỹ càng trước khi lên kế hoạch tạo dựng cơ sở xử lý và để ước tính chất lượng sản phẩm trong mỗi trường hợp riêng biệt.

**Bảng 13.1.** Thành phần dinh dưỡng theo trọng lượng khô của một số chất thải dùng làm composting (3; tự phân tích)

<i>Chất thải</i>	<i>VS<sup>a</sup> %</i>	<i>C/N H</i>	<i>N %</i>	<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> %</i>	<i>K<sub>2</sub>O %</i>	<i>CaO %</i>	<i>MgO %</i>
Chất thải nhà bếp	20-80	10-20	0.6-2.2	0.3-1.5	0.4-1.8	0.5-4.8	0.5-2.1
Chất thải sinh học	30-70	10-25	0.6-2.7	0.4-1.4	0.5-1.6	0.5-5.5	0.5-2.0
Chất thải từ vườn, thực vật	15-75	20-60	0.3-2.0	0.1-2.3	0.4-3.4	0.4-12	0.2-1.5
Rác thải	25-50	30-40	0.8-1.1	0.6-0.8	0.5-0.6	4.4-5.6	0.8
Phân (người)	15-25	6-10	2	1.8	0.4	5.4	2.1
Bùn nước thải (thô)	20-70	15	4.5	2.3	0.5	2.7	0.6
Bùn nước thải (ổn định sau xử lý khí)	15-30	15	2.3	1.5	0.5	5.7	1.0

Phân động vật	x						
Trâu bò	20.3	20	0.6	0.4	0.7	0.6	0.2
Ngựa	25.4	25	0.7	0.3	0.8	0.4	0.2
Cừu	31.8	15-18	0.9	0.3	0.8	0.4	0.2
Lợn	18.0	15-20	0.8	0.9	0.5	0.8	0.2
Nước thải chăn nuôi	x						
Trâu bò	10-16	8-12	3.2	1.7	3.9	1.8	0.6
Lợn	10-20	5-7	5.7	3.9	3.3	3.7	1.2
Gà	10-15	5-7	9.8	8.3	4.8	17.3	1.7
Lá củ cải đường	70	15	2.3	0.6	4.2	1.6	1.2
Rơm rạ	90	100	0.4	2.3	2.1	0.4	0.2
Bụi cây tươi	90-93	85-180	0.5-1.0	0.02-0.06	0.03-0.06	0.5-1.0	0.04-0.1
Cành cây phủ trên đất trồng	60-85	100-130	0.2-0.6	0.1-0.2	0.3-1.5	0.4-1.3	0.1-0.2
Vụn gỗ	65-85	400-500	0.1-0.4	1.0	0.3-0.5	0.5-1.0	0.1-0.15
Lá cây	80	20-60	0.2-0.5	-	-	-	-
Cây lau say	75	20-50	0.4	-	-	-	-
Than bùn	95-99	30-100	0.6	0.1	0.03	0.25	0.1
Chất thải từ dạ dày trâu bò	8.5-17	15-18	1.4	0.6	0.9	2.0	0.6
Bà nhô	81	50	1.5-2.5	1.0-7.0	3.4-5.4	1.4-2.4	0.2
Bà trái cây	90-95	35	1.1	0.6	1.6	1.1	0.2
Thuốc lá	85-88	50	2.0-2.4	0.5-6.6	5.1-6.0	5.0	0.1-0.4
Giấy	75	170-180	0.2-1.5	0.2-0.6	0.02-0.1	0.5-1.5	0.1-0.4

Ghi chú: VS<sup>a</sup> chất rắn bay hơi

Thành phần kim loại nặng và hữu cơ trong chất thải đóng vai trò rất quan trọng khi mà người ta mong muốn sử dụng sản phẩm compost cho cải tạo đất hay làm phân bón (Bảng 13.2). Cách thức để làm giảm thành phần kim loại nặng trong chất thải là phân loại chất thải và thu thập những thông tin có liên quan từ nguồn thải. Thực tế là nồng độ kim loại nặng sẽ tăng cao khi mà quá trình phân hủy hữu cơ xảy ra, vì vậy cần đặc biệt qua tâm đến vấn đề này.

Những phân tích về thành phần chất thải sinh học cho thấy thành phần tạp (giả dụ như nhựa, kính, kim loại, đá) chiếm khoảng 0,5 - 5%, tùy thuộc vào đặc trưng cấu trúc xã hội, xây dựng và những vấn đề cộng đồng liên quan trong khu vực. Trong khu vực có hoạt động xây dựng nhiều, thành phần tạp chất trong chất thải cao hơn ở những nơi khác. Khoảng 90% chất tạp có kích thước > 60 mm và 90% vật liệu sinh học có kích thước < 60 mm [1].

Tùy thuộc vào thời tiết và điều kiện trồng trọt (ví dụ như trồng cây, thời gian thu hoạch, ngày nghỉ, tập quán địa phương), một số chất thải thực vật như lá cây, cành cây không phải quanh năm có mặt trong chất thải. Thành phần và cả độ ẩm của chất thải là những yếu tố quan trọng dễ gây biến động cho quá trình vận hành một nhà máy xử lý compost [5].

**Bảng 13.2.** Thành phần kim loại nặng tính theo trọng lượng khô của một số chất thải dùng làm compost [4]

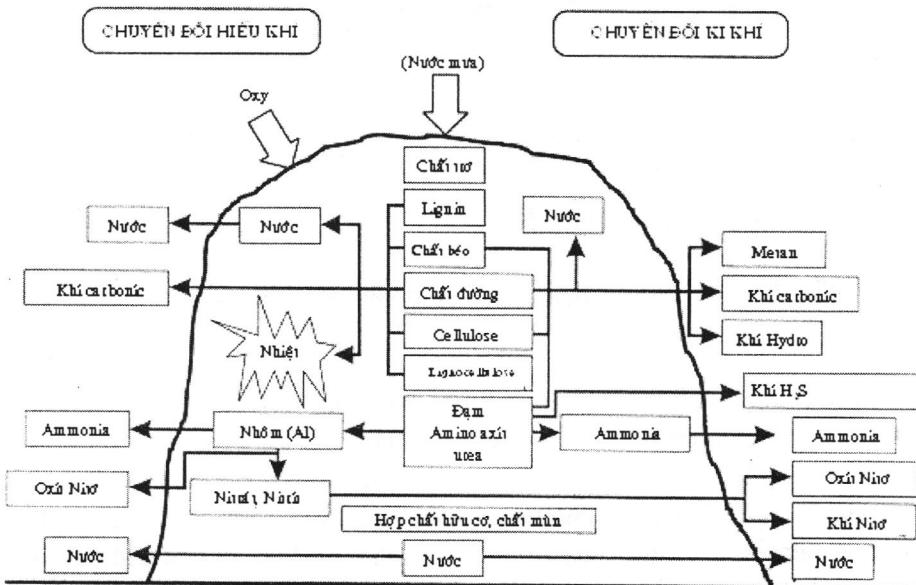
Chất thải	Zn [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Hg [mg/kg]
Chất thải sinh học	50-470	8-81	0,1-1	5-130	10-183	6-59	0,01-0,8
Chất thải từ thực vật	30-138	5-31	0,2-0,9	28-86	24-138	9-27	0,1-3,5
Giấy	93	60	0,2	4	20	1	0,08
Giấy in	112	66	0,2	31	78	3	0,04
Giấy thu lượm	440	21	0,2	3	12	1	0,06
Bùn giấy	150-1500	15-100	0,1-1,5	30-300	70-90	5-15	0,2-0,5
Cành cây	150-300	40-60	0,6-2,1	30-63	20-57	12-20	0,1-0,5
Cành cây phủ trên đất trồng	40-500	10-30	0,1-2,0	500-1000	50-100	30-60	0,1-1
Vỏ gỗ	58-137	8-11	0,1-0,2	6-8	13-53	4	0,1
Bã nho	60-80	100-200	0,5	2,5-7,4	10	1-4	0,02-0,04
Bã trái cây	20-30	9,5	0,2	0,02-1,0	0,3-1,0	2-4	0,03
Ngũ cốc lên men	13	6	0,3	16	10	16	0,04
Cần chua dầu	4	1	0,03-0,005	0,1	0,1-0,4	1-3	0,01
Vỏ trái cacao	89	7-12	0,25	0,5	0,4	0,3	0,02

### 13.3. CƠ SỞ CỦA QUÁ TRÌNH COMPOST

Sự phân hủy các hợp chất hữu cơ trong quá trình ‘composting’ được khởi đầu bởi quần thể khá rộng lớn các vi sinh vật, bao gồm: vi khuẩn, xạ khuẩn và vi nấm [7, 9, 10, 18, 23, 33, 36]. Cũng tương tự như trong xử lý nước thải bằng con đường sinh học, việc đưa thêm vi sinh vật vào quá trình xử lý thường thì không cần thiết bởi vì bản thân trong chất thải đã sẵn chứa một số lượng lớn vi sinh vật có khả năng phát triển nhanh. Động vật không xương sống không đóng vai trò gây thối rữa trong giai đoạn đầu tiên ở nhiệt độ cao, trừ trường hợp, **giun đát đôi khi được sử dụng trong xử lý chất thải và tạo phân compost chất lượng cao [1, 8, 20, 27]**.

Sự thổi rữa ngay cả khi được thông khí tốt nhất đi nữa cũng bị ảnh hưởng của cả hai quá trình vi sinh vật hiếu khí và kị khí (Hình 13.1)[13]. Mỗi quan hệ giữa đồng hóa hiếu khí và kị khí phụ thuộc vào đặc điểm sinh lý của chất thải/compost [31], bao gồm cấu trúc đồng ủ, độ rỗng, hàm lượng nước, khoảng không khí lưu thông và dinh dưỡng sẵn có.

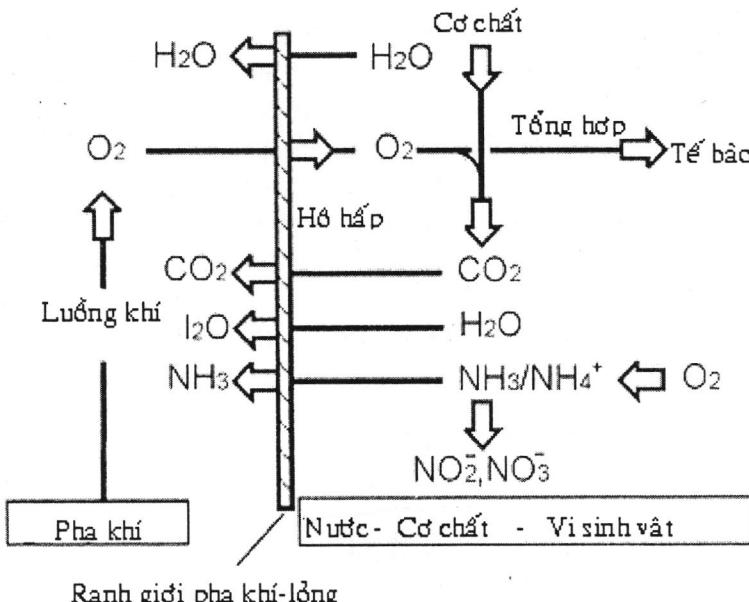
Quá trình thổi rữa hiếu khí đòi hỏi có nước và oxy tự do cho hoạt tính các phản ứng sinh học. Sản phẩm cuối của quá trình chuyển hóa là nước và khí carbonic, ammonium - NH<sub>4</sub> (hoặc nếu ở nhiệt độ cao và pH>7 thì là amonia - NH<sub>3</sub>), nitrat, nitrit (ôxít nitơ là sản phẩm của quá trình nitrát hóa), nhiệt độ, mùn và các chất tương tự mùn. Khí thải ra từ quá trình đồng hóa hiếu khí trong đồng ủ compost chứa hơi nước, carbonic, ammonia, nitơ ôxít . Sản phẩm cuối của quá trình phân hủy bằng vi sinh kị khí lại là metan, carbonic, hydro, H<sub>2</sub>S, ammonia, nitơ oxit và khí nitơ (hai khí này đều là sản phẩm của quá trình nitrát hóa) và nước ở dạng lỏng [5, 12, 14-17, 19, 21, 25, 26, 30, 34].



**Hình 13.1.** Cơ chất và sản phẩm của hoạt động vi sinh vật trong đồng ủ compost

Compost đã chín kỹ có thành phần là những chất khó phân hủy hoặc giàn như không phân hủy (lignin, hợp chất xenlulo chứa lignin), chất mùn, các vi sinh vật, nước và các chất khoáng chứa nitơ. Các vi sinh vật tham gia trong quá trình compost giai đoạn đầu là vi khuẩn, xạ khuẩn và nấm mốc. Mỗi loại

có điều kiện sinh trưởng tối ưu khác nhau, như là, về nhiệt độ, các vi sinh vật nhóm *psychrophiles* ưa khoảng 15-20 °C, nhóm *mesophililes* ưa khoảng 25-35 °C và nhóm *thermophiles* ưa khoảng 55-65 °C. Trong chất thải chín kỹ (đã ngâm) có nhiệt độ <35 °C, sự phân hủy chất hữu cơ còn có sự tham gia đáng kể của các động vật bậc thấp như trùng, bọ đất, mối và giun.



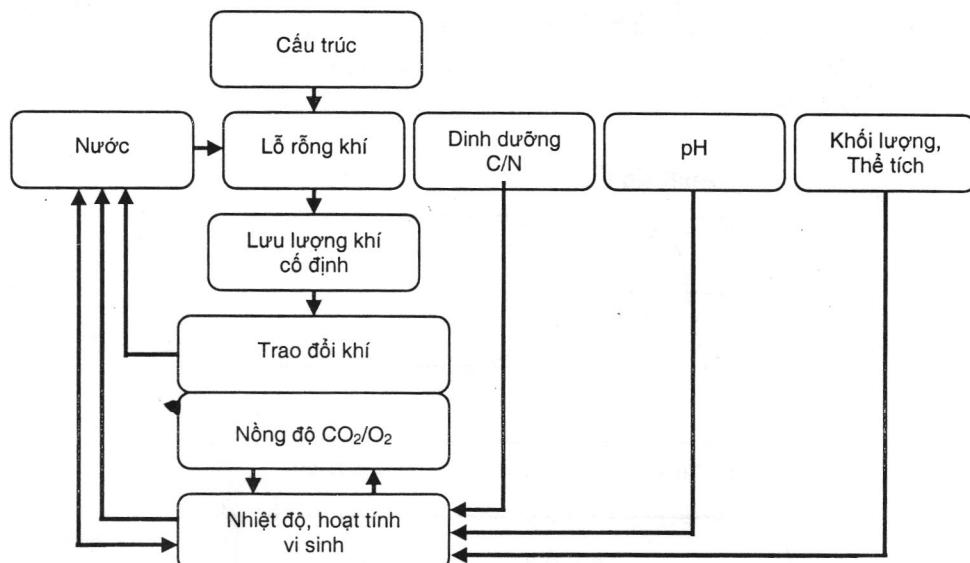
**Hình 13.2.** Cơ chế chuyển hóa của vi sinh vật hiếu khí tại ranh giới pha khí - lỏng

Một đồng ủ chất thải bao gồm cả ba pha: rắn, lỏng và khí và chuyển hóa của các vi sinh vật thì phụ thuộc vào nước (Hình 13.2). Nhất thiết phải có oxy hòa tan cung cấp từ pha khí trong đồng ủ để các vi sinh vật hiếu khí hoạt động. Cần phải đảm bảo làm sao cho oxy khuếch tán từ pha khí sang pha lỏng, còn khí carbonic chuyển ngược lại từ pha lỏng sang pha khí, có nghĩa là cần duy trì chênh lệch một phần áp suất, bằng cách trao đổi khí nén ép hoặc thông khí tự nhiên [2, 22]. Hàm lượng nước tối ưu trong đồng ủ có tầm quan trọng lớn và chỉ có ý nghĩa khi gắn với những hiểu biết về bản chất và cấu trúc của chất thải, về thể tích lỗ rỗng (Bảng 13.3) [35]. Nói chung thì thành phần nước bên trong cao khi chất thải có cấu trúc và độ rỗng lớn và lượng nước này tăng và ổn định hơn (kể cả trong suốt quá trình phân rã). Về mặt lý thuyết, nước cho quá trình compost có thể lên đến 100% để cung cấp đủ oxy hòa tan cho hoạt tính vi sinh vật.

Ngoài nước tự do phải đủ cung cấp thì vi sinh vật còn cần một tỷ lệ C/N cơ chất nằm trong khoảng từ 25-30 cho phát triển tối ưu để đẩy nhanh quá trình phân rã. Nguồn cacbon luôn luôn cần phải sẵn có. Ở tỷ lệ C/N nhỏ hơn giá trị tối ưu, rất nguy hiểm là sẽ mất đi lượng nitơ dưới dạng tăng ammonia trong pha khí (đặc biệt khi nhiệt độ thi tăng mà pH >7). Nếu tỷ lệ này cao hơn giá trị tối ưu quá trình compost sẽ trở nên chậm lại do cần thời gian để ổn định chất liệu thải.

**Bảng 13.3.** Hàm lượng nước và cấu trúc chất thải tối ưu cho quá trình compost

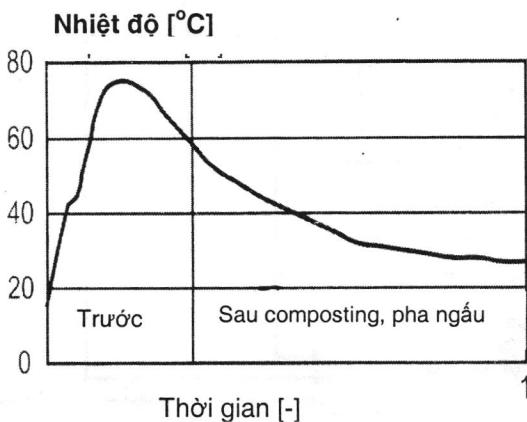
Chất thải	Hàm lượng nước [%]	Cấu trúc (độ xốp, cứng)	Thể tích lỗ rỗng [%]
Vụn gỗ, cây chặt nhỏ, mùn cưa	75-90	Tốt	>70
Rom rạ, cỏ khô, cỏ tươi	75-85	Tốt	>60
Giấy	55-65	Trung bình	<30
Chất thải nhà bếp	50-55	Trung bình/kém	25-45
Bùn thải	45-55	Kém	20-40



**Hình 13.3.** Những yếu tố ảnh hưởng đến quá trình compost

Hình 13.3 cho thấy tính liên quan giữa những yếu tố ảnh hưởng đến quá trình chín ngấu. Cấu trúc của chất thải (như: đồng nhất hay lắn tạp chất, hình dạng lấp thê của chất rắn) xác định độ rỗng (có thể lấp đầy bằng nước hay khí) và khả năng cản dòng khí bên trong đồng ủ. Điều này, ngược lại, ảnh hưởng đến sự trao đổi khí và nồng độ khí oxy và carbonic ở lỗ rỗng khí và pha lỏng. Khi các yếu tố đạt tối ưu, quá trình vi sinh xảy ra nhanh dẫn đến tăng nhiệt độ tích lũy bên trong đồng ủ. Hoạt tính vi sinh bị tác động bởi hàm lượng nước, dinh dưỡng (tỷ lệ C/N thực tế) và pH. Khối lượng và thể tích của đồng ủ ảnh hưởng bởi nhiệt độ tăng từ bên trong cũng như mất nhiệt do quá trình tưới ẩm. Nhiệt đối lưu bên trong đồng ủ bị ảnh hưởng bởi chênh lệch nhiệt trong lớp vật liệu và ngoài không khí do vậy tác động tới trao đổi khí. Trao đổi khí và nhiệt ảnh hưởng tới sự bay hơi nước, vì vậy, cũng ảnh hưởng tới tỷ lệ các lỗ rỗng chứa nước [3, 4, 6, 11, 22, 29].

Hoạt tính của các nhóm vi sinh vật khác nhau tác động đến đặc trưng biểu thị nhiệt độ trong suốt quá trình ủ (Hình 13.4). Tiếp sau giai đoạn thích nghi ngắn ban đầu (*lag phase*), nhiệt độ tăng nhanh chóng lên đến 70 - 75 °C (*exponential phase*). Thông thường ở khoảng 40°C có một giai đoạn chuyển chậm từ khu hệ vi sinh chịu nhiệt (*mesophiles*) sang ưa nhiệt (*thermophiles*). Sau khi đạt giá trị cực đại, nhiệt độ giảm từ từ đến giá trị nhiệt độ không khí bên ngoài. Sự tiến triển của đường biểu thị nhiệt độ phụ thuộc vào một số yếu tố như là thành phần và chế biến chất thải, tỷ lệ bề mặt và thể tích của đồng ủ, nhiệt độ không khí bên ngoài, tốc độ gió, tốc độ thông khí, tỷ lệ C/N, kỹ thuật ủ và tần suất đảo trộn.



**Hình 13.4.** Đường biểu diễn đặc trưng nhiệt độ trong quá trình compost

Pha đầu của quá trình compost được tính cho tới khi nhiệt độ đạt khoảng 60°C được gọi là quá trình đầu - quá trình chính; Pha 2 được gọi là quá trình “sau compost” hay là quá trình chín ngầu. Cả hai giai đoạn được đặc trưng bởi các quá trình khác nhau (Bảng 13.4).

Thông thường người thiết kế điều kiện cho quá trình compost phải quan tâm đến cả hai pha, từ đó chia quá trình ủ thành những giai đoạn khác nhau về kỹ thuật, đặc biệt khi chất thải có nguy cơ sinh ra mùi hôi thối.

- Pha đầu - pha chính của quá trình compost, xảy ra trong bể kín hoặc trong điều kiện có che phủ, thường xuyên thông khí hoặc thổi khí qua ống dẫn bên trong luồng;
- Pha sau - pha chín ngầu được thực hiện trong luồng.

**Bảng 13.4.** Các pha và đặc trưng của quá trình compost

Giai đoạn đầu và Giai đoạn chính	Giai đoạn sau - pha ngầu
Phân hủy các hợp chất dễ bị phân hủy: đường, tinh bột, pectin, đạm (protein)	Phân hủy các hợp chất khó bị phân hủy: hemicellulose, dầu, mỡ, cellulose, lignin
Ức chế các vi sinh vật gây bệnh và hạt cỏ	Thành phần chứa nhiều hợp chất phân tử lượng lớn (chất mùn)
Nhu cầu oxy cao	Nhu cầu oxy thấp
Thoát khí có mùi hôi và nước rỉ	Phát thải thấp
Thời gian: 1 - 6 tuần	Thời gian: 3 tuần đến 1 năm

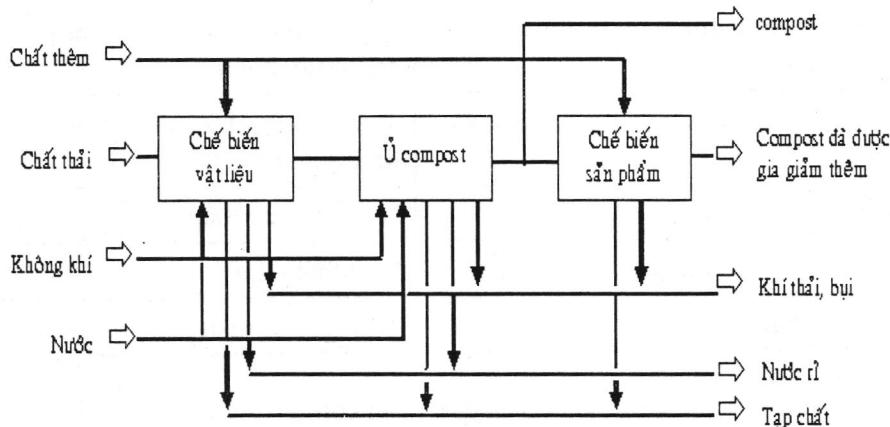
Những vấn đề tiếp theo của quá trình compost là cơ sở để tối ưu hóa các yếu tố ảnh hưởng quá trình phân rã. Yếu tố quan trọng nhất cho một chất thải đã biết thành phần là sự trao đổi khí bên trong đống ủ. Sự trao đổi khí có thể đạt được nhờ những cách sau:

- Điều chỉnh chiều cao đống ủ phù hợp với cấu trúc, hàm lượng nước, mức độ oxy cần thiết (oxy cần nhiều cho quá trình đầu và cần ít trong quá trình ngầu);
- Đảo (xới trộn, kéo lơi nhẹ luồng ủ);
- Tạo luồng bên trong lớp che có khả năng trao đổi khí;

- Trộn hoặc làm rơi vật liệu phân rã bên trong bể phản ứng (nếu là bể quay thì dùng công cụ xối đảo)
- Sử dụng thổi khí ép
- Giảm khả năng hấp hơi bằng cách cho thêm vật liệu có cấu trúc nhám hoặc dạng viên.

### 13.4. CÁC KỸ THUẬT LÀM PHÂN COMPOST

Sản xuất compost bao gồm khâu chuẩn bị và gia giảm vật liệu khô, sau đó mới là quá trình compost thực sự (Hình 13.5). Để sản xuất sản phẩm compost có khả năng được thị trường chấp nhận thì nhất thiết chuyển compost thành sản phẩm cuối. Mục tiêu của quá trình chuẩn bị vật liệu ban đầu chính là để tối ưu hóa cho quá trình compost xảy ra sau đó loại bỏ những tạp chất và cũng là để bảo vệ thiết bị sử dụng, giảm hàm lượng kim loại nặng đầu vào và các hợp chất có thành phần hữu cơ gây độc (nếu có trong tạp chất) và để đạt yêu cầu chất lượng cho compost thành phẩm. Những bước cơ bản của quá trình chuẩn bị và gia giảm vật liệu khô như sau:



#### Bước cơ bản

- Phân loại
- Sàng
- Loại nước
- Làm khô
- Làm ướt
- Trộn
- Loại tạp chất

- Cấp khí
- Trộn
- Làm ướt
- Làm khô
- Tách loại tạp chất

- Phân loại
- Tôn
- Sàng
- Loại tạp chất

Hình 13.5. Sơ đồ chuyển vận cơ bản trong quá trình compost

- Để riêng chất thải cồng kềnh (ví dụ như mảnh gỗ, cây, bụi cây, cỏ dài) bằng cách chặt nhỏ, nghiền hoặc xay nhô để tăng diện tích bề mặt cho vi sinh vật hoạt động;
- Loại bớt nước hoặc làm khô một phần nào loại chất thải chứa nhiều nước và mềm (ví dụ như bùn, sản phẩm thải bỏ từ trái cây) nếu như quá ướt cho quá trình compost;
- Thêm nước (nước sạch, nước thai, bùn) nếu chất thải quá khô cho quá trình compost;
- Phối trộn các thành phần (giả dụ như chất thải ướt và khô, chất thải chứa nhiều nitơ, chất thải chứa nhiều carbon, chất thải xù xì và mịn);
- Tách loại những chất liệu không phù hợp như thủy tinh, kim loại và nhựa bằng tay hay máy tự động.

Quá trình chuẩn bị và phối trộn sẽ sinh ra sản phẩm khí (tùy thuộc vào thành phần và quá trình lưu trữ chất thải mà có mùi hôi thối hoặc nhiều bụi) và có thể cả nước rỉ thoát ra bên dưới đống vật liệu. Những bước cơ bản kế tiếp nhau trong quá trình có thể như sau:

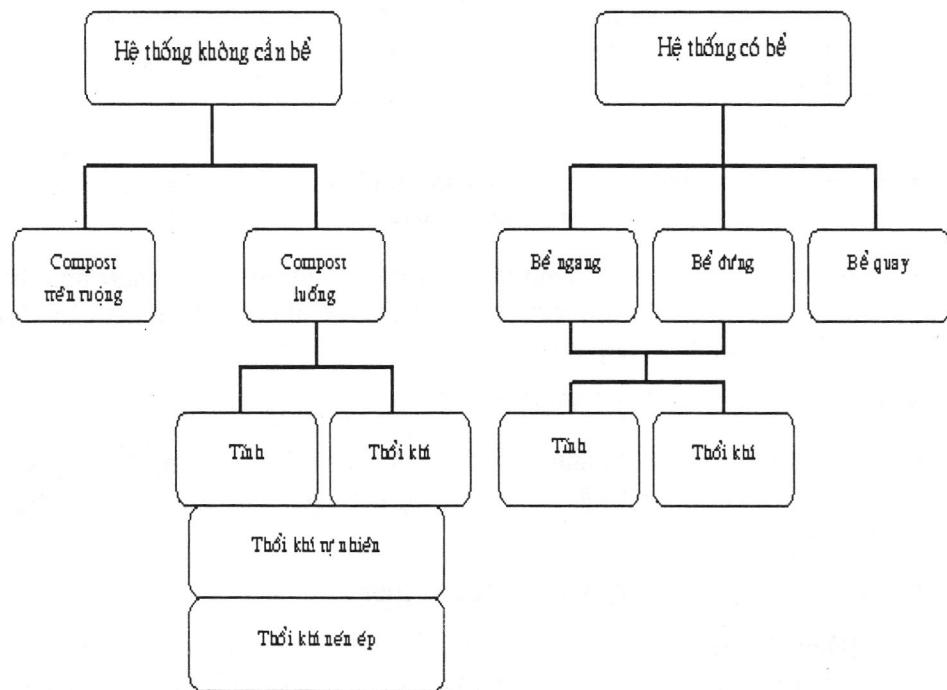
- Cung cấp khí chứa oxy cho quá trình hô hấp và lấy đi khí carbonic và một phần hơi nước (là một bước bắt buộc trong cả quá trình)
- Trộn hỗn hợp thật đều, đồng nhất (ví dụ không đồng nhất như phía bắc mặt thì khô, dưới đáy thì ướt, chỗ thì mát chỗ thì nóng..) tạo kết cấu xốp mới thông khí thích hợp hơn.
- Có thể làm ẩm vật liệu khô để thúc đẩy hoạt tính vi sinh vật;
- Làm khô vật liệu ướt bằng thổi khí hoặc đảo trộn làm tăng lỗ rỗng khí cho hoạt tính vi sinh vật hoặc để tăng kết cấu đồng nhất của vật liệu trong đống ủ;
- Loại bỏ bằng tay những vật liệu không mong muốn.

Sản phẩm của quá trình ủ là compost có hoạt tính vi sinh vật ổn định, khí thải, nước rỉ (nếu như vật liệu quá ướt). Đôi khi cần phải chế biến compost để có thể vận chuyển, cát trữ, trao đổi, mua bán trước khi nó được đưa vào sử dụng. Các bước chế biến sản phẩm compost có thể bao gồm:

- Sàng sản phẩm compost để tách thành những thành phần khác nhau theo yêu cầu thị trường hoặc loại bỏ những thành phần tạp;

- Loại bỏ thành phần tạp bằng phương pháp thủ công hoặc bằng thiết bị tự động;
- Làm khô compost ướt để tránh tạo thành những sản phẩm vón cục hay nhão và để cát trũ lâu hơn;
- Làm nhỏ những cục vón, thành phần lớn nhôn bằng cách chà hoặc xay nghiền để tránh những trục trặc khi sản phẩm đã được đóng gói;
- Trộn compost với những chất thêm khác (đất, phân khoáng chất) tạo những hỗn hợp đất thích hợp để trồng cây trong chậu cảnh hay bón vườn.

#### Hệ thống compost



**Hình 13.6** Phân loại hệ thống compost

Làm nhỏ vật liệu bằng cách chà/nghiền, chặt hay xay là việc làm cần thiết, không đồng nhất để làm tăng diện tích bề mặt cho vi sinh vật hoạt động và để

đảm bảo thích hợp với chức năng của các máy móc thiết bị đem sử dụng trong những công đoạn sau đó (giả sử như máy đảo trộn, dụng cụ, màng sàng, băng tải). Mức độ làm nhỏ vật liệu phụ thuộc vào tốc độ phân hủy sinh học của chất thải, quá trình compost, cấu trúc đồng ủ, thời gian ủ và mục đích sử dụng của sản phẩm compost. Để làm nhỏ chất thải hữu cơ, người ta thường sử dụng máy chặt hay nhiều loại thiết bị khác như: máy cắt, bẻ, búa đập, xay [1].

Chất thải dạng thô hoặc compost được sàng để tách loại cục, hạt rắn ở một kích cỡ nào đó. Những hạt này nếu chứa chất hữu cơ có thể làm vật liệu ban đầu cho quá trình compost kế tiếp, hoặc đơn giản chỉ là tạp chất. Trên thực tế, màng sàng trống và phẳng thường được sử dụng (với nhiều lỗ, dây đan vỉ, hình sao hay bằng thép mặt nghiêng). Kích thước lỗ sàng tùy thuộc vào compost sẽ được dùng như thế nào sau đó hay để loại bỏ tạp chất ( $>80\text{mm}$ : loại tạp chất;  $80-40\text{ mm}$ : sản xuất compost làm vật liệu san lấp;  $10-25\text{ mm}$ : sản xuất compost cho bãi đất làm cảnh, đất nông nghiệp hay làm vườn [1]).

### 13.5. CÁC HỆ THỐNG COMPOST

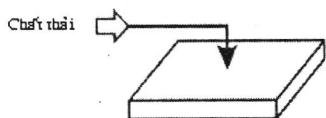
Hệ thống compost có thể được chia thành hai dạng: có bể và không cần bể (Hình 13.6) [1, 2, 4-6].

#### 13.5.1 Compost không cần bể

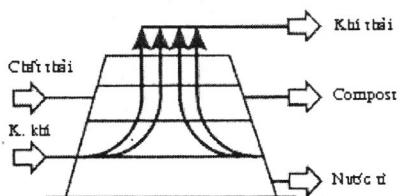
Hình 13.7 cho thấy các kiểu hệ thống compost không cần bể xử lý.

**Làm compost trên đồng (Field composting):** là dạng đơn giản nhất. Trong suốt quá trình ủ hoạt tính vi sinh vật xảy ra ở lớp mỏng ngay trên bề mặt đất hoặc vài centimet đất mặt (đất trồng trọt hay đất trồng cỏ). Dạng này phù hợp để xử lý bùn và phụ phẩm nông nghiệp (cỏ, trấu, cành cây). Để đảm bảo quá trình compost xảy ra nhanh và đồng nhất, chất thải có nguồn gốc thực vật cần phải được chặt nhỏ. Có thể dùng ngay máy trải lên đất nếu như chất thải có tại chỗ (giả sử như cắt tỉa cành trong vườn nho), hoặc là chất thải sau khi chặt nhỏ có thể trải đều nhờ máy bón phân. Vì diện tích bề mặt của chất thải tiếp xúc với không khí khá lớn nên không xảy ra quá trình tự tạo nhiệt, do vậy cũng sẽ không có quá trình thanh trùng hoặc diệt mầm cỏ dại. Như vậy chỉ với những chất thải không có nguy cơ gây bệnh, mầm bệnh mới được sử dụng phương pháp này. Nếu định nghĩa kỹ càng thì quá trình compost tại chỗ trên đồng ruộng chưa thực sự là quá trình compost vì không có sự tự tạo nhiệt và quá trình không thực sự được kiểm soát.

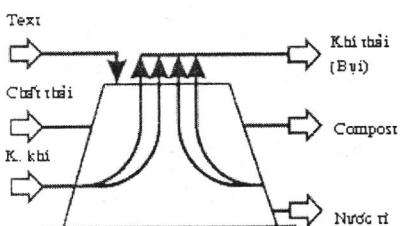
## (14) Compost trên ruộng



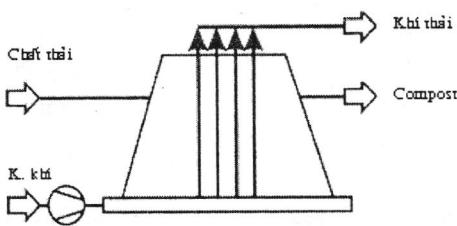
## (4) Compost đánh luống: thông khí tự nhiên; đồng ủ dạng đứng



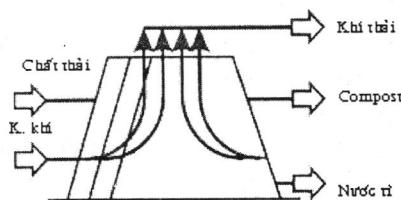
## (2) Compost đánh luống: thông khí tự nhiên; tạo đồng ủ một lần



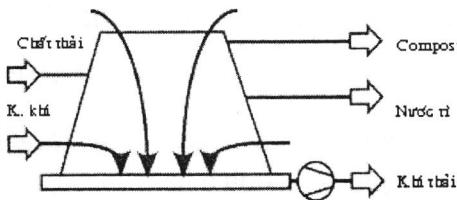
## (5) Compost đánh luống: thổi khí áp lực; thoát khí



## (3) Compost đánh luống: thông khí tự nhiên; đồng ủ dạng ngang



## (6) Compost đánh luống: thổi khí áp lực; không thoát khí

**Hình 13.7.** Phân loại hệ thống compost không cần bê

**Compost dạng luống (Windrow composting):** đây là dạng được dùng nhiều nhất. Ở dạng này vẫn có sự tiếp xúc trực tiếp vật liệu với không khí, do vậy, phụ thuộc vào đặc tính bên trong của hai thể chất. Quá trình compost ảnh hưởng tới chất lượng không khí do thải khí có mùi hôi, các khí hiệu ứng nhà kính, bào tử nấm, mầm bệnh và bụi. Không khí bẩn thân nó mang theo oxy cho quá trình hô hấp hiếu khí do đó ảnh hưởng tới quá trình ủ theo các cách sau:

- Cung cấp nước mưa:

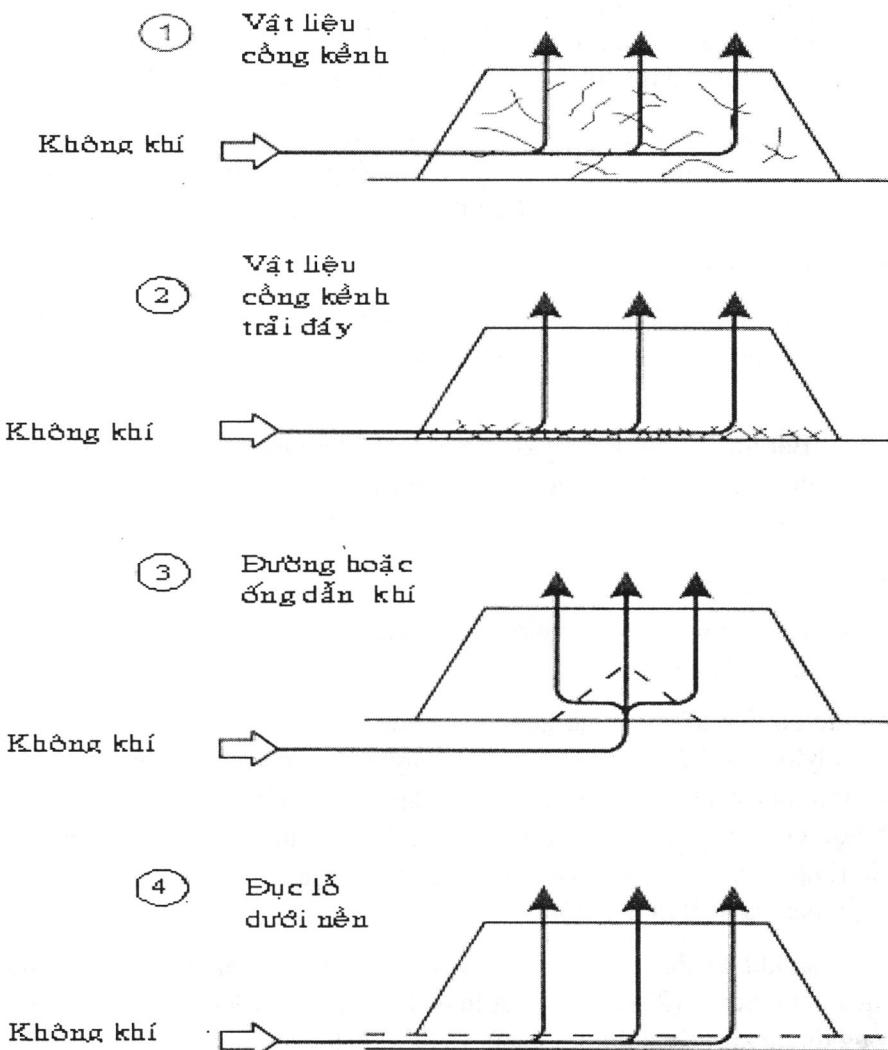
- Thuận lợi: thêm nước nếu nhu vật liệu cho compost đang khô hay đã bị khô, vì thế làm tăng nhanh phân hủy sinh học;
- Bất lợi: làm nghẽn lỗ khí, tạo điều kiện kị khí có liên quan tới hiện tượng sinh ra sản phẩm khí có mùi hôi, làm giảm chất lượng sản phẩm compost, tăng lượng nước rỉ;
- Thay đổi nhiệt độ không khí:
  - Thuận lợi: nhiệt độ cao hơn có thể làm tăng nhanh quá trình bay hơi nước của vật liệu ướt, tăng thể tích lỗ rỗng, nhiệt độ cao cũng có thể làm ngắn lại quá trình thích nghi ban đầu (lag phase);
  - Bất lợi: nhiệt độ cao hơn có thể làm tăng nhanh quá trình bốc hơi nước, do đó độ ẩm của vật liệu không còn phù hợp; nhiệt độ thấp kéo dài quá trình bốc hơi có thể úc chế hoàn toàn quá trình;
- Thay đổi độ ẩm không khí:
  - Thuận lợi: độ ẩm không khí thấp có thể làm tăng cường tốc độ bốc hơi nước của vật liệu ướt; độ ẩm cao làm chậm quá trình bốc hơi nước;
  - Bất lợi: độ ẩm không khí thấp có thể làm tăng cường tốc độ bay hơi nước của vật liệu khiến cho độ ẩm vật liệu không đủ để phân hủy; độ ẩm cao làm chậm tốc độ bốc hơi nước dẫn tới vật liệu quá ẩm;
- Cung cấp gió
  - Thuận lợi và bất lợi: gió có thể làm tăng cường ảnh hưởng của nhiệt độ và độ ẩm không khí

Mức độ tiếp xúc của vật liệu với không khí ảnh hưởng bởi việc bao phủ luống ủ bằng vật liệu phân rã hay trấu, hay dạng sợi vải đặc biệt hay vật liệu bông xốp, như vậy sẽ cho phép trao đổi khí nhưng tăng giữ nước mưa. Dạng hình học của mặt cắt ngang luống có thể là hình tam giác hoặc hình thang. Chiều rộng, chiều cao và dạng của luống phụ thuộc vào bản chất vật liệu, điều kiện khí hậu và thiết bị đảo trộn.

Thông khí tự nhiên trong luống ủ có thể được trợ giúp bằng (1) thêm vào vật liệu công kenne; (2) sử dụng vật liệu công kenne trải lót đáy (20-30cm); (3) đặt ống thông khí ở bên dưới đống ủ và (4) đục lỗ nền.

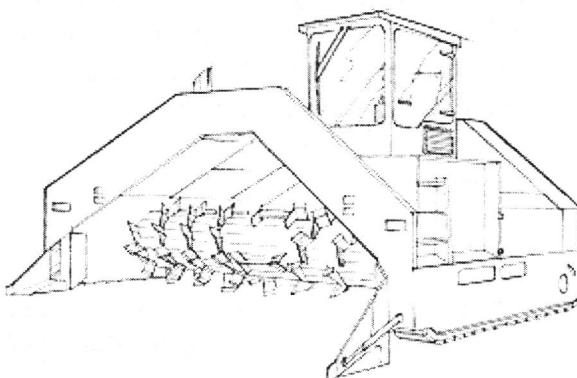
Để đảm bảo chất lượng compost thành phẩm tốt, luống ủ cần phải được đảo trộn thích hợp. Ảnh hưởng của đảo trộn: (1) làm đồng nhất vật liệu để tiêu

diệt vi trùng và mầm cỏ dại (vùng khô hoặc ướt trên bề mặt, vùng ướt ở lớp đáy); (2) thay đổi kết cấu luồng ủ và thể tích lỗ rỗng; (3) làm tăng bay hơi nước dẫn đến khô vật liệu hay compost đã chín ngầu. Tần suất đảo trộn phụ thuộc vào kiểu cấu trúc (xốp hay chặt) của luồng ủ và yêu cầu chất lượng của compost thành phẩm. Có thể đảo trộn từ một ngày vài lần cho đến vài tuần một lần (thường là ở giai đoạn đầu của quá trình ủ khi mà nhu cầu oxy cao, hoặc để làm khô vật liệu).

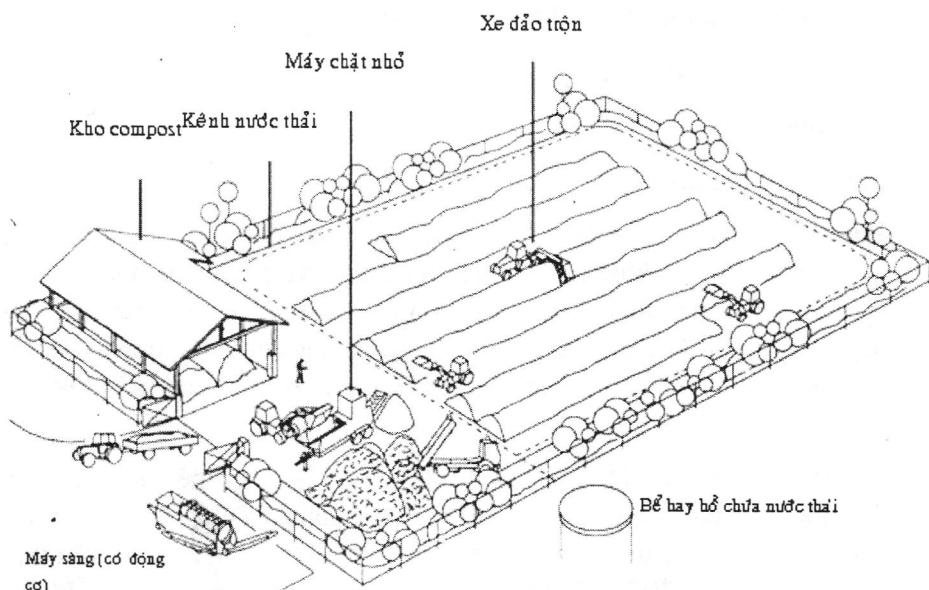


**Hình. 13.8.** Các cách để cải thiện thông khí tự nhiên trong các luồng compost

Máy móc thiết bị cho đảo trộn bao gồm: xe tải có gắn thùng chứa, máy ngón với các bánh xe xoay phía trước, máy rắc phân, xe bùa có động cơ chạy theo đồng ủ và máy tự đảo trộn luồng (Hình 13.9). Chất lượng đảo trộn của máy nhồi trộn trước – sau và máy nhồi có bánh xe tương đối thấp, yêu cầu người sử dụng phải có kinh nghiệm. Do trọng lượng nặng các máy này nên compost lại, đây cũng là một yếu điểm.



**Hình. 13.9.** Máy tự đảo trộn (bản vẽ: Backhus GmbH, Edewecht



**Hình 13.10:** Xí nghiệp sản xuất compost luồng hở và máy đảo trộn

Một ví dụ về xí nghiệp sản xuất compost theo phương pháp đánh luồng hở, sử dụng máy kéo đảo trộn được chỉ ra ở Hình 13.10 và 13.11. Loại này thường bao gồm mặt bằng xi măng hay rải lớp nhựa và một kho hở để cát trữ thành phẩm. Toàn bộ nước rỉ hay nước mưa được thu lại trong một bể hay hồ chứa. Những phần chất thải có kích thước lớn (cây và cành cây) được chặt theo chu kỳ bằng máy có thể di chuyển từ nơi này tới nơi khác. Sau khi loại bỏ thành phần tạp khỏi chất thải sinh học, vật liệu được đánh thành luồng nhờ máy đánh luồng. Các luồng này thường xuyên được đảo với máy kéo có lưỡi đảo (hoặc máy tự trộn). Compost thành phẩm được sang bằng hệ thống sàng có động cơ. Những phần tử có kích thước lớn được sàng và giữ lại để sử dụng cho mẻ kế tiếp. Compost thành phẩm được cất trữ trong nhà kho có mái che cho tới khi đem đi sử dụng.

### 13.5.2. Compost trong bể

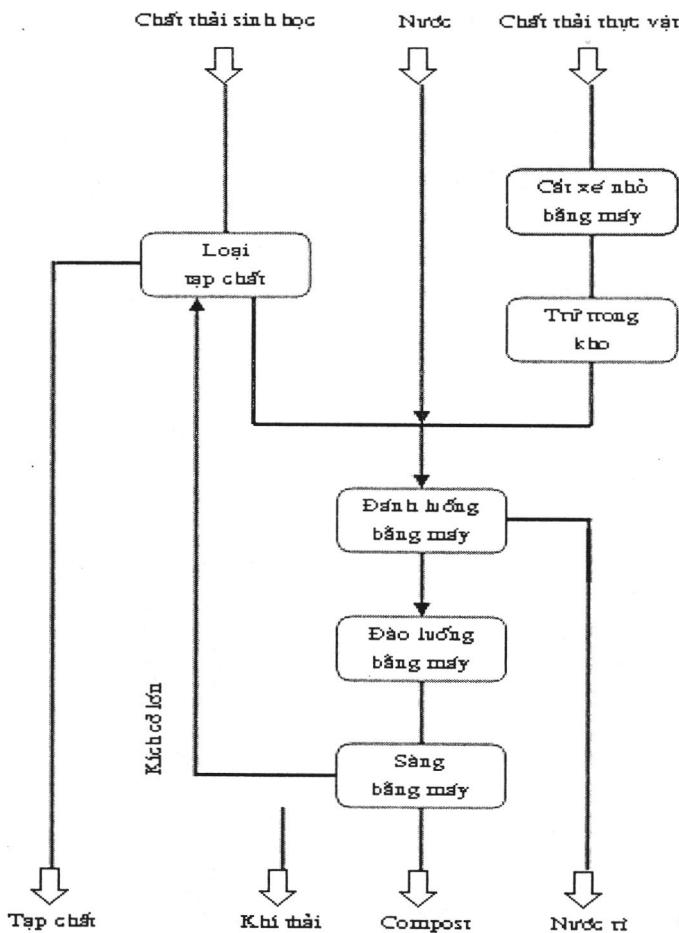
Compost được ủ ở những nơi có không gian giới hạn (như bể, thùng, kho, ống) với bom không khí thường xuyên. Các dạng công nghệ như trong hình 13.12 được phân loại theo dạng vật liệu thải đầu vào:

- Bể dòng ngang:
  - Dạng tĩnh và lớp rắn cố định
  - Dạng trộn lớp rắn
- Bể dòng đứng:
- Bể dạng trống quay:

Loại trừ một vài trường hợp, tất cả các dạng này đều cần phải kiểm soát được quá trình bom cấp không khí cũng như thu và xử lý khí thải tạo ra. Việc cho chất thêm để thúc đẩy quá trình phân hủy khá thuận lợi khi sử dụng các dạng này. Có thể sử dụng những dạng công nghệ này cho công đoạn đầu tiên của quá trình sản xuất, vì chi phí cao hơn nhiều so với dạng đánh luồng hở nêu trên

**Bể dòng ngang và vật liệu rắn để tĩnh.** Đây là dạng mẻ, vật liệu được nhồi nhét nhờ máy xúc hay băng chuyền vào một bể ngang, trên phủ bằng tấm tôn hoặc vải bô. Không khí thổi vào bể mạnh hay yếu hay lúc mạnh lúc yếu theo những đường ống lắp đặt dưới lớp đáy hay từ những lỗ trên nền bể. Khí thải mang theo những chất có mùi hôi và nước được xử lý bằng lọc sinh học hoặc rửa sinh học. Trong một vài hệ thống khí thải được sử dụng lại. Tốc độ thổi khí được kiểm soát dựa trên nhiệt độ đo được trong vật liệu và nồng độ

oxy/carbonic trong không khí. Thời gian lưu của phản ứng từ vài ngày (giai đoạn đầu) đến vài tuần (giai đoạn ngầu). Sản phẩm cuối có thể không được đồng nhất (phân nào bị khô quá) và chưa được ổn định về sinh học, tình trạng này có thể do đảo trộn không hợp lý hoặc không đủ nước và khí thổi chỉ theo một hướng.

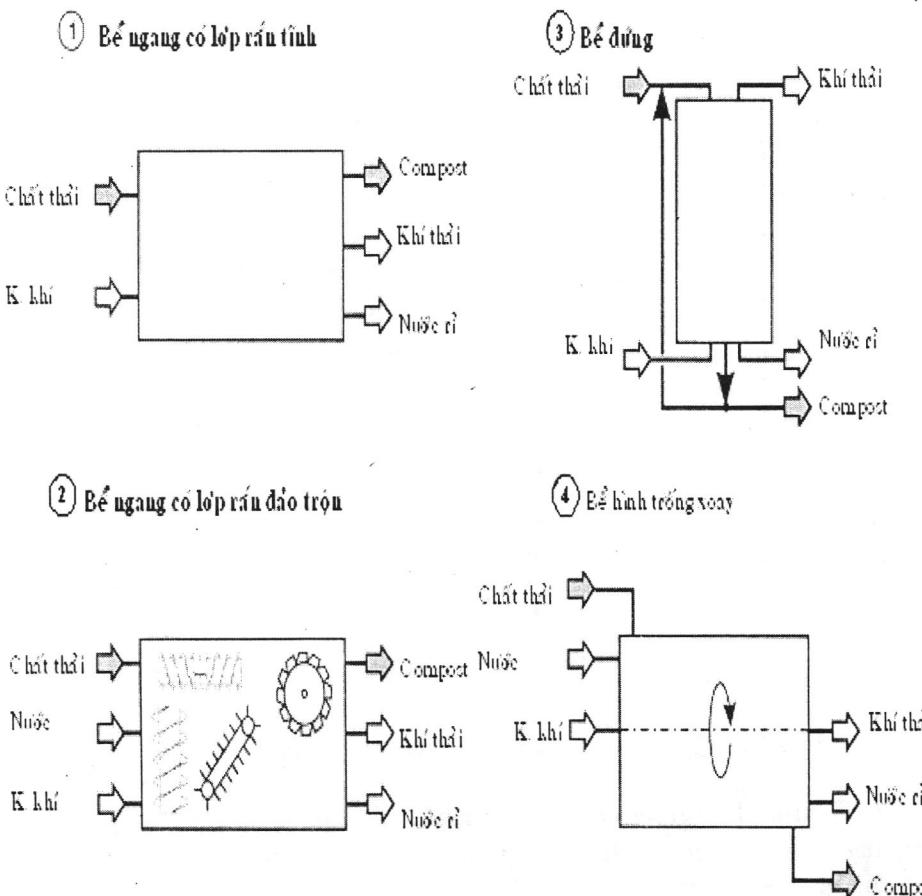


Hình 13.11. Sơ đồ chuyển vận ở một nhà máy xử lý compost dạng luồng ủ

**Dạng thổi khí ngang với vật liệu rắn trộn.** Trong hệ thống này, chất thải được đảo trộn cơ học có thể thêm nước, điều này ngược với hệ thống trên. Thiết bị sử dụng có thể trộn vật liệu theo chiều ngang hay thẳng đứng bằng môtơ hay trực xoay, băng tải hay máy xúc. Có thể tự động hóa toàn bộ quá trình.

**Hệ thống thổi dọc.** Trong hệ thống này vật liệu được đưa vào theo chiều đứng có thể theo chu kỳ có thể không. Chất thải được thổi vào từ trên xuống đáy, lấp đầy dần dần lên trên, hoặc dùn từ đáy lên trên. Không khí thổi từ dưới lên qua những ống đặt lẩn trong vật liệu theo chiều thẳng đứng. Quá trình này cũng có thể tự động hóa hoàn toàn.

**Bể phản ứng dạng trống xoay:** Theo chiều ngang vật liệu được đưa vào bể đang xoay chậm và được thổi khí. Mức độ nhồi khoảng 50% thể tích. Vật liệu được đưa đi đưa lại xoay tròn từ đầu này tới đầu kia của bể, do vậy trộn rất đều. Quá trình tự sinh nhiệt bắt đầu sau khoảng thời gian ngắn. Có thể thêm nước. Bể phản ứng dạng trống xoay cũng có thể được dùng để phơi trộn vật liệu.

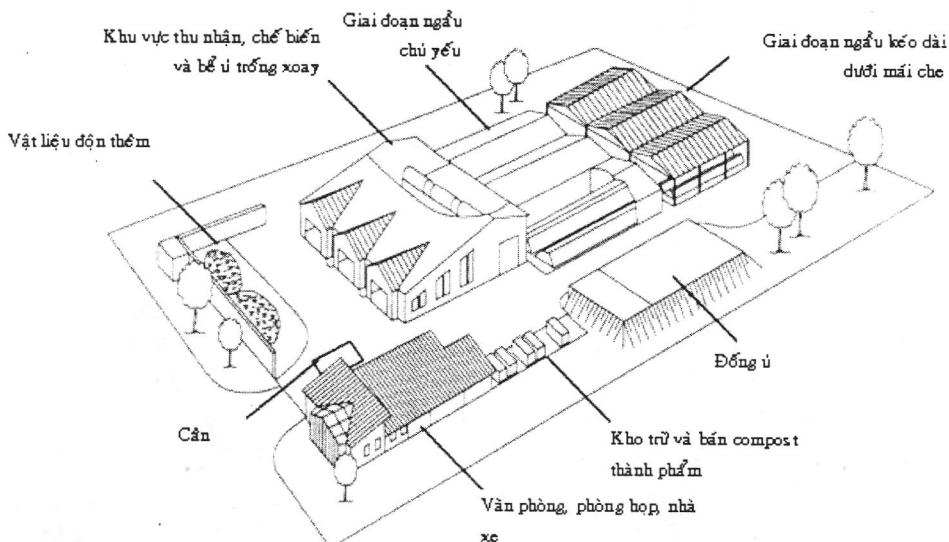


**Hình 13.12.** Hệ thống bể xử lý compost

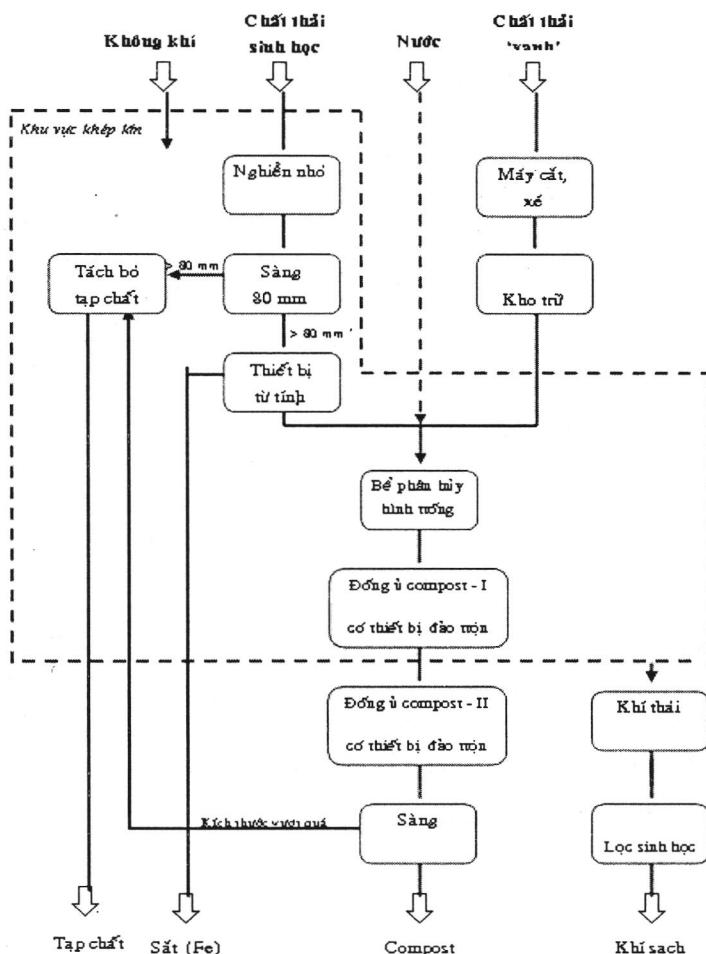
Hình 13.13 và 13.14 biểu diễn một ví dụ về xí nghiệp sản xuất compost sử dụng bể phản ứng dạng trống xoay. Xí nghiệp này được đặc trưng ở kiểu trộn gói: nhận chất thải có khả năng phân hủy sinh học, chế biến cho quá trình phân hủy (cắt nhỏ, phân loại tạp chất), phân hủy giai đoạn đầu trong bể dạng trống xoay, phân hủy giai đoạn chính trong dạng đánh luồng có đảo trộn (composting-I, hình 13.14). Tất cả khí thải chứa chất độc hại được thu lại và xử lý bằng lọc sinh học. Chỉ có giai đoạn chín ngầu (composting-II, hình 13.14) mới được thực hiện ở điều kiện tự nhiên dạng luồng có mái che. Trong một nhà máy có thể toàn bộ các giai đoạn, kể cả giai đoạn ngầu, đều được thực hiện trong nhà xưởng.

### 13.6. CHẤT LƯỢNG COMPOST

Nếu mục đích dùng để làm phân bón hay cải tạo đất trồng, chất lượng của compost thành phẩm nhất thiết phải tuân theo yêu cầu: (1) chín ngầu tối đa; (2) chứa các thành phần dinh dưỡng và chất hữu cơ thích hợp, (3) có tỷ lệ C/N phù hợp; (4) pH trung tính hay kiềm nhẹ; (5) Chứa kim loại nặng và chất ô nhiễm hữu cơ ở nồng độ thấp; (5) không chứa những yếu tố làm cản trở sinh trưởng của thực vật; (7) gần như không chứa tạp chất; (8) hầu như không còn hạt mầm hay những phần sinh trưởng được của thực vật; (9) chứa không đáng kể đá sỏi; (10) có mùi đặc trưng của đất rừng; (11) có màu từ nâu đến đen.



**Hình 13.13.** Nhà máy sản xuất compost, bể xử lý dạng trống xoay và toàn nhà máy có mái che



**Hình 13.14.** Sơ đồ quy trình của một nhà máy sản xuất compost với bể phân huỷ hình tròn xoay, trong khu vực khép kín.

“Ngầu” và “Ôn định” là hai đặc tính khác nhau trong compost thành phẩm. Tính Ổn định được định nghĩa là khả năng hoạt động sinh học của chất hữu cơ có liên quan đến tốc độ phân hủy sinh học. “Ngầu” lại được mô tả như trạng thái phù hợp để cho cây trồng sinh trưởng và điều này có liên quan đến mức độ mùn hóa. Có một vài cách để xác định độ “Ngầu” và “Ôn định”, như dùng thử nghiệm đơn giản trong bình Dewar, thử nghiệm trên thực vật, hoạt tính hô hấp, phân tích hóa học, cộng hưởng từ hạt nhân (NMR) [1-26]. Mặc dù những phương pháp này được thảo luận rộng rãi trên tạp chí nhưng vẫn chưa có thử nghiệm nào được coi là tốt nhất.

Một số nước trên thế giới đã đặt một số luật định, quy định, quy chế, tiêu chuẩn để giảm thiểu ảnh hưởng của compost đối với sức khỏe con người cho những vấn đề: hàm lượng kim loại nặng, những hợp chất hữu cơ nguy hại, sinh vật ký sinh, sinh vật gây bệnh.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- DeBertoldi M (ed.), *Compost: Production, Quality and Use*. London 1987: Elsevier.
- Haug RT, *The Practical Handbook of Composting*. Boca Raton, FL 1993: Lewis.
- Thome-Kozmiensky KJ (ed.), *Biologische Abfallbehandlung*. Berlin 1995: Erich Frei-tag.
- White P, Franke M, Hindle P, *Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory*. London 1995: Blackie.
- DeBertoldi M, Sequi P, Lemmes B, Papi T (eds.), *The Science of Composting*. London 1996: Blackie.
- Epstein E, *The Science of Composting*. Lancaster, Basel 1997: Technomic. Bidlingmaier W (ed.), *Biologische Abfall-verwertung*. Stuttgart 2000: Ulmer.
- Insam H, Riddech N, Klammer S (eds.), *Microbiology of Composting*. Berlin/Heidelberg 2002: Springer.
- Fricke K, Stellenwert der biologischen Abfallbehandlung in integrierten Entsorgungskonzepten, in: *Biologische Verfahren der Abfallbehandlung* (Dott W, Fricke K, Oetjen R, eds.), pp. 1-58. Berlin 1990: Erich Freitag Verlag.
- Fricke K, Turk T, Stand und Stellenwert der Kompostierung in der Abfallwirtschaft, in: *Bioabfallkompostierung -Flachendeckende Eiri/uirimg*(Wiemer K, Kern M, eds.), pp. 13-98. Witzenhausen 1991: M.I.C. Baeza.
- Bidlingmaier W, Anlageninput und erzeugte Kompostqualität. in: *Biologische Abfallbehandlung II* (Wiemer K, Kern M, eds.), pp. 109-120. Witzenhausen 1995: M.I.C. Baeza
- Thome-Kozmiensky Kf (ed.), *Biologische Abfallbehandlung*. Berlin 1995: Erich Freitag
- Schuchardt F, Composting of plant residues and waste plant materials, in: *Biotechnology* (Rehm HJ, Reed G, eds.) Vol. lie: *Environmental Processes III*, pp. 101-125, Weinheim 2000: Wiley-VCH
- Edwards CA, Neuhauser EF (eds.), *Earthworms in Waste and Environmental Management*. The Hague 1988: SPB Academic
- Michel FC, Reddy CA, Effect of oxygenation level on yard trimmings composting rate, odor production, and compost quality in bench-scale reactors. *Compost Sci Util* 1998, 6(4), 6-14

- Schaub-Szabo SM, Leonard J, Compos! *Sci Uti* **1999**, 7(4), 15-24
- Shi W, Norton JM, Miller BE, et al., *Appl Soil Ecol* **1999**, 11(1), 17-28
- Sommer SG, Dahl P, *J Agric Eng Res* **1999**, 74(2), 145-153
- Van Ginkel JT, Raats PAC, Van Haneghem IA, *Neth J Agric Sci* **1999**, 47(2), 105-121
- Chamuris GP, Koziol-Kotch S, Brouse TM, *Compost Sci Util* **2000**, 8(1), 6-11
- Dominguez J, Edwards CA, Webster M, Vermicomposting of sewage sludge: effect of bulking materials on the growth and reproduction of the earthworm *Eisenia an-drei*. *Pedobiologia* **2000**, 44(1), 24-32
- El-Din SMSB, Attia M, Abo-Sedera SA, Field assessment of composts produced by highly effective cellulolytic microorganisms. *Biol Pert Soils* **2000**, 32(1), 35-40
- Kutzner HJ, Microbiology of composting, in: *Biotechnology* (Rehm HJ, Reed G. eds.) Vol. lie: *Environmental Processes* II, pp 35-100, Weinheim **2000**: Wiley-VCH
- Larney FJ, Olson AF, Carcamo AA et al., Physical changes during active and passive composting of beef feedlot manure in winter and summer. *Bioresource Technol* **2000**, 75(2), 139-148
- Moller HB, Sommer SG, Andersen BH, Nitrogen mass balance in deep litter during the pig fattening cycle and during composting. *J Agric Sci* **2000**, 135, 287-296
- Schuchardt F, Composting of plant residues and waste plant materials, in: *Biotechnology* (Rehm HJ, Reed G eds.) Vol. I lc: *Environmental Processes* HI, pp 101-125, Weinheim **2000**: Wiley-VCH
- Amon B, Amon T, Boxberger J, et al., Emissions of NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutr Cycl Agroecosys* **2001**, 60, 103-113
- Beck-Friis B, Smars S, Jonsson H, et al., Gaseous emissions of carbon dioxide, ammonia and nitrous oxide from organic household waste in a compost reactor under different temperature regimes/ *Agric Eng Res* **2001**, 78, 423-430
- Elwell DL, Keener HM, Wiles MC, et al., TASAE **2001**, 44, 1307-1316
- Hao XY, Chang C, Larney FJ, et al., *j Environ Qual* **2001**, 30, 376-386
- Hassen A, Belghith K, Jedidi N, et al., Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Biore-source Technol* **2001**, 80, 217-225
- Huang GF, Wu QT, Li FB, et al., Nitrogen transformations during pig manure composting. *J Environ Sci China* **2001**, 13, 401-405
- Ndegwa PM, Thompson SA, Integrating composting and vermicomposting in the treatment and byconversion of biosol-ids. *Bioresource Technol* **2001**, 76, 107-112
- Barrington S, Choiniere D, Trigu, M, et al., Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *Bioresource Technol* **2002**, 83(3), 189-194

- (Barrington S, Choiniere D, Trigui M, et al., Compost airflow resistance. *Biosyst Eng* **2002**, 81, 433-441)
- Hart TD, De Leij FAAM, Kinsey C, et al., Strategies for the isolation of cellulolytic fungi for composting of wheat straw. *World J Microb Biol* **2002**, 38, 471-480
- Jensen HEK, Leth M, Iversen JL, Effect of compost age and concentration of pig slurry on plant growth. *Compost Sci Util* **2002**, 10(2), 129-141
- Noble, R, Hobbs, P[ , Mead, A, et al., Influence of straw types and nitrogen sources on mushroom composting emissions and compost productivity./ *Ind Microbiol Biot* **2002**, 29(3), 99-110
- Richard TL, Hamelers HVM, Veeken A, et al., Moisture relationships in composting processes. *Compost Sci Util* **2002**, 10(4), 286-302
- Singh A, Sharma S, Composting of a crop residue through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. *Bioresource Technol* **2002**, 85(2), 107-111
- Tiquia SM, Tarn NPY, Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles. *Process Biochem* **2002**, 37, 869-880
- Veeken A, de Wilde V, Hamelers B, Passively aerated composting of straw-rich pig manure: effect of compost bed porosity. *Compost Sci Util* **2002**, 10(2), 114-128
- Wolter M, Prayitno S, Schuchardt F, Comparison of greenhouse gas emissions from solid pig manure during storage versus during composting with respect to different dry matter contents. *Landbauforsch VolkloOL*, 52(3), 167-174
- Agnew JM, Leonard Jf, The physical properties of compost. *Compost Sci Util* **2003**, 11, 238-264
- Barrington S, Choiniere D, Trigui M, Knight W, Compost convective airflow under passive aeration *Bioresource Technol* **2003**, 86, 259-266
- Bolta SV, Mihelic R, Lobnik F, et al., Microbial community structure during composting with and without mass inocula. *Compost Sci Util* **2003**, 11, 6-15
- Fukumoto Y, Osada T, Hanajima D, Haga K, Patterns and quantities of NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions during swine manure composting without forced aeration: effect of compost pile scale. *Bioresource Technol* **2003**, 89(2), 109-114
- Liang C, Das KC, McClendon RW, The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresource Technol* **2003**, 86(2), 131-137
- Principi P, Ranalli G, da Borsig F, et al., Microbiological aspects of humid husk composting. *J Environ Sci Heal B* **2003**, 38, 645-661
- Schuchardt F, Composting of plant residues and waste plant materials, in: *Biotechnology* (Rehm HJ, Reed G, eds.) Vol. 11c: *Environmental Processes III*, 101-125, Weinheim **2000**: Wiley-VCH.
- Haug RT, *The Practical Handbook of Composting*. Boca Raton, FL **1993**: Lewis.

- Thome-Kozmiensky KJ (ed.), *Biologische Abfallbehandlung*. Berlin 1995: Erich Frei-tag Verlag.
- Gronauer A, Claassen N, Ebertseder T et al., *Bioabfallkompostierung*. BayLfL 139 1997
- Bidlingmaier W (Ed.), *Biologische Abfall-verwertung*. Stuttgart 2000: Ulmer Verlag
- Krogmann U, Kdrner [ , Technology and strategies of composting, in: *Biotechnology (RehmH)*, ReedG, eds.) Vol. lie: *Environmental Processes III*, pp 127-150, Weinheim 2000: Wiley-VCH
- Schuchardt F, Composting of plant residues and waste plant materials, in: *Biotechnology (Rehm HJ, Reed G, cds.) Vol. lie: Environmental Processes II!*, 101-125, Weinheim 2000: Wiley-VCH
- Adani F, Genevini PL, Gasperi F, Zorzi G, Organic matter evolution index (OMEI) as a measure of composting efficiency. *Compost Sci Util* 1997, 5(2). 53-62
- Popp L, Fischer P, Claassen N, Biolo-gisch-biochemische Methoden zur Reife-bestimmung von Komposten. *Agrobiol Res* 1998, 51(3), 201-212
- Saharinen MH, Evaluation of changes in CEC during composting. *Compost Sci Util* 1998, 6(4), 29-37
- Fauci MF, Bezdicek DF, Caldwell D, et al.. *Compost Sci Util* 1999, 7(2), 17-29
- Namkoong W, Hwang EY, Cheong JG, et al., *Compost Sci Util* 1999, 7(2), 55-62
- Warman PR, *Compost Sci Util* 1999, 7(3), 33-37
- Koenig A, Bari QH, Application of self-heating test for indirect estimation of respirometric activity of compost: theory and practice. *Compost Sci Util* 2000, 8(2), 99-107
- Ouatmane A, Provenzano MR, Hafidi M, et al.. *Compost Sci Util* 2000, 8(2), 124-134
- Wu L, Ma LQ, Martinez GA, / *Environ Qual* 2000,, 29, 424-^29
- Butler TA, Sikora LJ, Steinhilber PM, et al., Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost, y *Environ Qual* 2001, 30, 2141-2148
- Eggen T, Vethe O, Stability indices for different composts. *Compost Sci Util* 2001, 9(1), 19-26
- Provenzano MR, de Oliveira SC, Silva MRS, et al.. Assessment of maturity degree of composts from domestic solid wastes by fluorescence and Fourier transform infrared spectroscopies. *J Agric Food Chem*2001, 49, 5874-5879
- Smith DC, Hughes JC, A simple test to determine cellulolytic activity as indicator of compost maturity. *Commun Soil Sci Plan* 2001,32, 1735-1749
- Levanon D, Pluda D, Chemical, physical and biological criteria for maturity in composts for organic farming. *Compost Sci Util* 2002, 10, 339-346
- Weppen P, Determining compost maturity: evaluation of analytical properties. *Compost Sci Util* 2002, 10(1), 6-15

- Wu L, Ma LQ, Relationship between compost stability and extractable organic carbon.; *Environ Qual* 2002, 31, 1323-1328.
- Adani F, Gigliotti G, Valentini F, Laraia R, Respiration index determination: a comparative study of different methods. *Compost Sci UH* 2003, 11, 144-151
- Benito M, Masaguer A, Moliner A, Arrigo N, Palma RM, Chemical and microbiological parameters for the characterisation of the stability and maturity of pruning waste compost. *Biol Pert Soils* 2003, 37, 184-189.
- Brewer LJ, Sullivan DM, Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings. *Compost Sci Util* 2003, 11, 96-112.
- Changa CM, Wang P, Watson ME, et al., Assessment of the reliability of a commercial maturity test kit for composted manures. *Compost Sci Util* 2003, 11, 125-143.
- Chen YN, Nuclear magnetic resonance, infra-red and pyrolysis: application of spectroscopic methodologies to maturity determination of composts. *Compost Sci Util* 2003, 11, 152-168.
- Chica A, Mohedo JJ, Martin MA, Martin A,, Determination of the stability of MSW compost using a respirometric technique. *Compost Sci Util* 2003, 11, 169-175
- Cooperband LR, Stone AG, Fryda MR, Ravet JL, Relating compost measures of stability and maturity to plant growth. *Compost Sci Util* 2001, 11, 113-124.
- Korner, I, Braukmeier, J, Herrenklage, J, et al., Investigation and optimization of composting processes: test systems and practical examples. *Waste Manage* 2003, 23, 17-26.
- Rynk R, The art in the science of compost maturity. *Compost Sci Util* 2003, 11, 94-95
- Zubillaga MS, Lavado RS, Stability indexes of sewage sludge compost obtained with different proportions of a bulking agent. *Commun Soil Sci Plan* 2003, 34, 581-591.