



TÀI LIỆU HƯỚNG DẪN

XỬ LÝ CHẤT THẢI HỮU CƠ

Quy mô hộ gia đình và cụm hộ gia đình

Hướng dẫn phân loại, sàng lọc và xử lý rác hữu cơ thành mùn, phân bón và chế phẩm tái sử dụng tại nguồn.

2026

TÀI LIỆU HƯỚNG DẪN XỬ LÝ CHẤT THẢI HỮU CƠ

Quy mô Hộ gia đình và Cụm hộ gia đình

MỤC LỤC

Phần 1 - THÔNG TIN CHUNG	4
1. Giới thiệu chung	4
a) Bối cảnh và tính cấp thiết.....	4
b) Mục tiêu của tài liệu hướng dẫn.....	4
c) Đối tượng và phạm vi áp dụng.....	5
2. Các tài liệu tham khảo	5
a) Văn bản quy phạm pháp luật và Tiêu chuẩn, Quy chuẩn kỹ thuật Việt Nam... 5	
b) Sách chuyên khảo và tài liệu kỹ thuật quốc tế	6
Phần 2 - XỬ LÝ CHẤT THẢI HỮU CƠ QUY MÔ HỘ GIA ĐÌNH	8
1. Nguyên tắc xử lý chất thải hữu cơ tại hộ gia đình.....	8
2. Các Bước xử lý chất thải hữu cơ tại hộ gia đình	9
Bước 1: Phân loại rác hữu cơ	9
Bước 2: Sàng lọc loại bỏ tạp chất.....	10
Bước 3: Xử lý rác hữu cơ	11
Phương pháp 1: Chôn lấp hợp vệ sinh tại đất vườn	11
Phương pháp 2: Che phủ đất sinh học	12
Phương pháp 3: Ủ enzyme tẩy rửa	13
Phương pháp 4: Nuôi trùn quế	14
Phương pháp 5: Nuôi ấu trùng ruồi lính đen quy mô nhỏ.....	15
Phương pháp 6: Ủ phân hữu cơ vi sinh	16
3. Giám sát và kiểm soát chất lượng	18
a) Kỹ thuật kiểm tra các thông số hóa lý bằng phương pháp cảm quan	18
b) Phòng ngừa và xử lý sinh vật truyền bệnh hại	20
c) Chỉ tiêu nhận diện phân hoại mục.....	21
d) Hướng dẫn ứng dụng phân mùn hữu cơ an toàn cho cây trồng	22
Phần 3- XỬ LÝ CHẤT THẢI HỮU CƠ THÀNH MÙN QUY MÔ CỤM HỘ GIA ĐÌNH	24
1. Nguyên lý xử lý chất thải hữu cơ thành mùn bằng vi sinh vật bản địa	24

2. Các bước xử lý chất thải hữu cơ thành mùn.....	26
Bước 1: Xử lý nguyên liệu đầu vào.....	26
Bước 2: Phối trộn điều chỉnh tỷ lệ C:N và độ ẩm	28
Bước 3: Ủ phân hủy hiếu khí.....	31
Bước 4: Xử lý chuyển tiếp.....	40
Bước 5- Ủ chín	43
Bước 6 - Thu hoạch	47
3. Giám sát và kiểm soát chất lượng	50
a) Quản lý và tuần hoàn nước rỉ rác	50
b) Kiểm tra và xử lý mùi hôi	52
c) Kiểm soát an toàn sinh học	54
d) Sổ giám sát đánh giá và vận hành	57
Phụ lục 1: Một số dòng máy cắt, băm, nghiền, sàng cho quy mô Cụm hộ gia đình (tham khảo)	58
Phụ lục 2: Danh mục chế phẩm vi sinh hữu hiệu	61
Phụ lục 3: Cơ chất phối trộn	64
Phụ lục 4: Tiêu chuẩn đánh giá chất lượng mùn (ngưỡng tham khảo)	66
Phụ lục 5: Mẫu sổ Giám sát và vận hành cho quy mô Cụm hộ gia đình.....	67

Phần 1 - THÔNG TIN CHUNG

1. Giới thiệu chung

a) *Bối cảnh và tính cấp thiết*

Trong cấu trúc phát sinh chất thải rắn sinh hoạt tại Việt Nam, đặc biệt ở khu vực nông thôn, ven đô và các cụm dân cư tập trung, chất thải hữu cơ (chất thải thực phẩm, phế phụ phẩm chợ, phế phụ phẩm trồng trọt và chất thải chăn nuôi) luôn chiếm tỷ trọng áp đảo, dao động phổ biến từ 50% đến 70% tổng khối lượng chất thải tươi.

Tập quán quản lý truyền thống hiện nay chủ yếu dựa vào chôn lấp tự phát hoặc đốt lộ thiên. Cách tiếp cận này bộc lộ nhiều bất cập nghiêm trọng: phát tán mùi hôi thối kỵ khí ra khu dân cư, tạo dòng nước rỉ rác đậm đặc thâm thấu gây ô nhiễm nguồn nước ngầm và nước mặt, làm bùng phát dịch bệnh truyền nhiễm, gia tăng lượng khí nhà kính (CH_4 , CO_2) và làm thất thoát một lượng sinh khối giàu dinh dưỡng khoáng tự nhiên.

Bên cạnh thách thức ô nhiễm rác thải nhựa với 2,9 triệu tấn phát sinh mỗi năm làm thất thoát gần 2,9 tỷ USD giá trị vật liệu, Việt Nam đang đối mặt với yêu cầu cấp thiết về đổi mới hệ thống quản lý chất thải rắn. Nhằm hiện thực hóa các cam kết chuyển đổi xanh, Chính phủ đã hoàn thiện khung thể chế với Luật Bảo vệ môi trường 2020 (Điều 142 về kinh tế tuần hoàn), Nghị định 08/2022/NĐ-CP, Nghị định 05/2025/NĐ-CP, Thông tư 07/2025/TT-BTNMT về trách nhiệm mở rộng của nhà sản xuất (EPR) và lộ trình bắt buộc phân loại rác tại nguồn, cùng Quyết định số 222/2025/QĐ-TTg phê duyệt Kế hoạch hành động quốc gia về kinh tế tuần hoàn. Trong cấu trúc rác sinh hoạt, chất thải hữu cơ chiếm tỷ trọng lớn nhất. Việc chuẩn hóa quy trình xử lý chất thải hữu cơ tại chỗ không chỉ giảm tải cho hệ sinh thái và hỗ trợ thu hồi nhựa tái chế sạch, mà còn trực tiếp khép kín vòng tuần hoàn dinh dưỡng, biến rác thải thành các loại tài nguyên, trong đó có mùn sinh học giá trị cao.

Luật Bảo vệ môi trường 2020 cùng các hướng dẫn chuyên ngành đã đặt ra lộ trình bắt buộc về phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại nguồn và khuyến khích tối đa các mô hình kinh tế tuần hoàn, tái chế chất thải hữu cơ ngay tại địa bàn phát sinh.

Việc phân loại và xử lý tại chỗ phần chất thải hữu cơ không chỉ là nhiệm vụ tuân thủ các quy định của Nhà nước mà còn mang lại các lợi ích đáng kể. Về khía cạnh bảo vệ môi trường, việc giữ lại và xử lý tại chỗ 50% đến 70% lượng rác hữu cơ ngay tại hộ gia đình giúp cắt giảm áp lực lên các bãi chôn lấp tập trung vốn đang trong tình trạng quá tải nghiêm trọng trên cả nước. Việc này cũng tạo ra một lượng đáng kể tài nguyên trồng trọt, chăn nuôi ngay tại nông hộ, giảm đáng kể chi phí đầu vào trong sản xuất tại nông hộ. Ở quy mô cụm hộ gia đình, việc áp dụng công nghệ xử lý thành mùn hữu cơ dựa trên vi sinh vật bản địa giúp giảm đáng kể khối lượng chôn lấp hoặc đốt bỏ, đồng thời tạo ra một lượng lớn mùn hữu cơ sử dụng tại chỗ.

b) *Mục tiêu của tài liệu hướng dẫn*

Tài liệu hướng dẫn này được biên soạn nhằm cung cấp cơ sở lý thuyết và các quy trình cụ thể phục vụ việc xử lý chất thải hữu cơ ở quy mô hộ gia đình và quy mô cụm hộ gia đình.

c) Đối tượng và phạm vi áp dụng

1) Quy mô hộ gia đình:

Tài liệu hướng dẫn các hộ gia đình độc lập tại nông thôn, nhà ở đô thị có sân vườn hoặc ban công, các trang trại gia đình xử lý chất thải hữu cơ thành các tài nguyên hữu ích. Phạm vi vật liệu xử lý bao gồm toàn bộ chất thải thực phẩm tươi sống hoặc chín, phế phụ phẩm nhà bếp, phụ phẩm làm vườn (cỏ, cành lá nhỏ), và các phụ phẩm hữu cơ sinh hoạt dễ phân hủy. Hướng dẫn không áp dụng cho các loại chất thải nguy hại y tế tại gia, xác động vật chết do dịch bệnh truyền nhiễm kiểm dịch nghiêm ngặt, rác thải công nghiệp hoặc bùn thải độc hại từ các cơ sở sản xuất kinh doanh.

2) Quy mô cụm hộ gia đình:

Tài liệu hướng dẫn các cụm hộ gia đình liên kề, tổ hợp tác, hợp tác xã nông nghiệp, các trang trại trồng trọt – chăn nuôi sinh thái quy mô nhỏ và vừa với công suất xử lý từ vài trăm kilôgam đến vài tấn nguyên liệu tươi/ngày. Sản phẩm đầu ra là mùn hữu cơ từ nguyên liệu đầu vào là rác thải nhà bếp, thức ăn thừa đã loại tạp chất trơ, phế phẩm rau củ quả chợ đầu mối, phân gia súc gia cầm tươi/đã ép tách nước, kết hợp với các cơ chất độn giàu carbon (rơm rạ, trấu hạt, mùn cưa sạch, bã mía, vỏ quả cà phê, cành tỉa cây xanh băm nhỏ).

2. Các tài liệu tham khảo

a) Văn bản quy phạm pháp luật và Tiêu chuẩn, Quy chuẩn kỹ thuật Việt Nam

1. Quốc hội nước CHXHCN Việt Nam (2020). *Luật Bảo vệ Môi trường* (Luật số 72/2020/QH14 ngày 17/11/2020).
2. Chính phủ (2022). *Nghị định số 08/2022/NĐ-CP ngày 10/01/2022 của Chính phủ quy định chi tiết một số điều của Luật Bảo vệ môi trường*.
3. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2022). *Thông tư số 02/2022/TT-BTNMT ngày 10/01/2022 của Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật Bảo vệ môi trường*.
4. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2023). *Công văn số 9368/BTNMT-KSONMT ngày 02/11/2023 về việc hướng dẫn kỹ thuật về phân loại chất thải rắn sinh hoạt*.
5. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2019). *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng phân bón* (QCVN 01-189:2019/BNNPTNT).
6. Bộ Khoa học và Công nghệ (2002). *Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 7185:2002 về Phân bón hữu cơ vi sinh vật*.
7. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2002). *Tiêu chuẩn ngành 10 TCN 526:2002 - Quy trình sản xuất phân hữu cơ vi sinh vật từ rác thải sinh hoạt*.

8. Bộ Khoa học và Công nghệ (1995). *TCVN 5979:1995 (ISO 10390:1994) Chất lượng đất - Xác định pH.*
9. Bộ Khoa học và Công nghệ (2010). *TCVN 8557:2010 Phân bón - Phương pháp xác định nitơ tổng số bằng phương pháp Kjeldahl.*
10. Bộ Khoa học và Công nghệ (2012). *TCVN 9294:2012 Phân bón - Phương pháp xác định cacbon hữu cơ tổng số bằng phương pháp Walkley-Black.*
11. Bộ Khoa học và Công nghệ (2012). *TCVN 9297:2012 Phân bón - Phương pháp xác định độ ẩm.*
12. Bộ Khoa học và Công nghệ (2001). *TCVN 4829:2001 (ISO 6579:2002) Vi sinh vật học - Phương pháp phát hiện Salmonella trên nền mẫu môi trường và phân bón.*
13. Bộ Khoa học và Công nghệ (2007). *TCVN 6846:2007 (ISO 7251:2005) Vi sinh vật trong thực phẩm và thức ăn chăn nuôi - Phương pháp phát hiện và định lượng Escherichia coli giả định (Kỹ thuật đếm số có xác suất lớn nhất - MPN).*
14. Bộ Khoa học và Công nghệ (2012, 2015, 2016). *Các tiêu chuẩn quốc gia về phân tích kim loại nặng trong đất và phân bón: TCVN 9290:2012 (Chì - Pb), TCVN 9291:2012 (Cadimi - Cd), TCVN 10676:2015 (Thủy ngân - Hg), TCVN 11403:2016 (Asen - As).*

b) Sách chuyên khảo và tài liệu kỹ thuật quốc tế

15. United States Environmental Protection Agency - US EPA (1994). *Composting Yard Trimmings and Municipal Solid Waste*. EPA530-R-94-003, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C., USA.
16. United States Environmental Protection Agency - US EPA (2003). *Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Process to Further Reduce Pathogens - PFRP, 40 CFR Part 503)*. EPA/625/R-92/013, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio, USA.
17. Haug, R. T. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
18. Rynk, R., van de Kamp, M., Willson, G. B., et al. (1992). *On-Farm Composting Handbook*. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES-54), Cooperative Extension, Ithaca, New York, USA.
19. Rynk, R., Schwarz, M., Richard, T., et al. (2022). *The Composting Handbook: A Guide to the Theory and Practice of Converting Organic Waste into Soil Amendment*. Academic Press, Elsevier, London, UK.
20. Epstein, E. (1997). *The Science of Composting*. Technomic Publishing Company, Lancaster, Pennsylvania, USA.

21. FAO (2003), On-Farm Composting Methods, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
22. Cornell Composting Science (2020), Composting at Home: The Science and Practice, Cornell Waste Management Institute, Cornell University.
23. IPCC (2019), 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 5 (Waste), Chapter 4: Biological Treatment of Solid Waste.

Phần 2 - XỬ LÝ CHẤT THẢI HỮU CƠ QUY MÔ HỘ GIA ĐÌNH

1. Nguyên tắc xử lý chất thải hữu cơ tại hộ gia đình

Nguyên tắc xử lý chất thải hữu cơ tại hộ gia đình tuân theo các nguyên tắc sau đây:

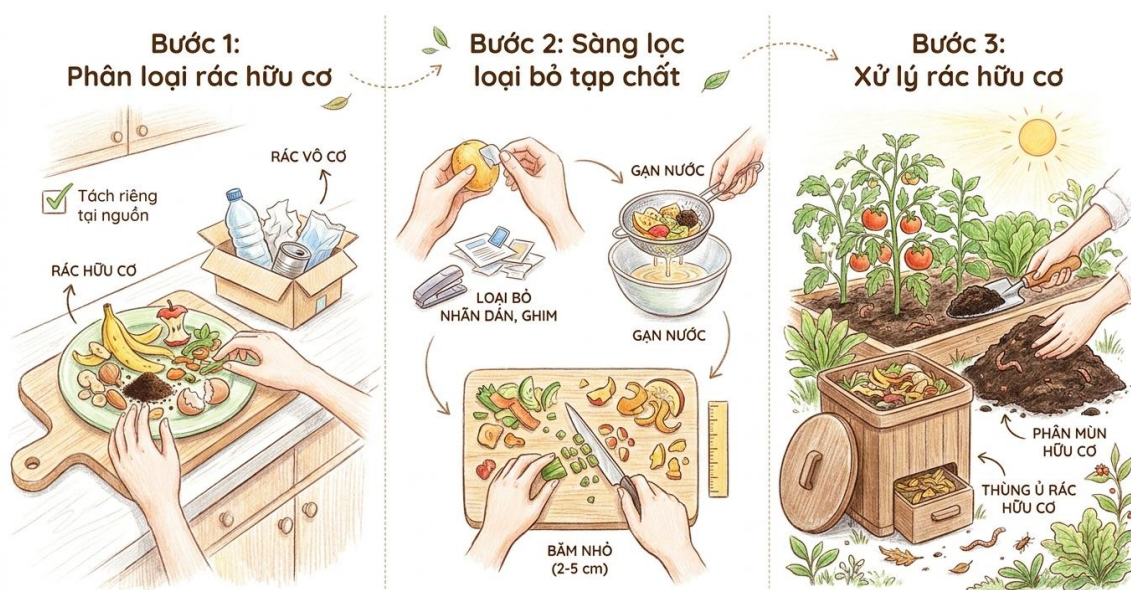
1. Phù hợp với điều kiện mặt bằng và nhu cầu sinh hoạt và sản xuất của hộ.
2. Ưu tiên các giải pháp tái sử dụng tài nguyên đơn giản, dễ thực hiện trước khi áp dụng các giải pháp phức tạp.

Dựa trên các nguyên tắc trên, các phương pháp xử lý chất thải hữu cơ hộ gia đình được liệt kê trong bảng dưới đây:

STT	Loại chất thải	Chôn lấp	Che phủ đất	Enzym tẩy rửa	Nuôi giun	Nuôi ruồi lính đen	Ủ phân bón
1	Chất thải thực phẩm						
	Thức ăn thừa	Có				Có	Có
	Thực phẩm hết hạn sử dụng.	Có				Có	Có
	Các loại rau, củ, quả, trái cây và các phần thải bỏ sau khi sơ chế, chế biến món ăn,...;	Có					
	<i>Các loại rau, củ, quả và các phần thải bỏ</i>	Có			Có	Có	Có
	<i>Trái cây và các phần thải bỏ (trừ hạt)</i>	Có		Có	Có	Có	Có
	<i>Hạt trái cây thải bỏ</i>	Có					Có
	Các sản phẩm bỏ đi từ thịt gia súc, gia cầm; thủy, hải sản.	Có				Có	Có
2	Chất thải rắn sinh hoạt khác						
	Cành cây, gốc cây,...	Có	Có				Có
	Vỏ các loại hạt như macca, óc chó, hạt điều, dừa, vỏ trứng, xơ dừa, rom, trấu,... từ hoạt động sinh hoạt.	Có	Có				Có
	Chiếu cói; chiếu tre, trúc; gối mây, tre,...;	Có	Có				Có
	Lông gia súc, gia cầm,...	Có					Có
	Bã các loại: cà phê, trà (túi trà), bã mía, xác mía, lõi ngô (cùi bắp),...	Có	Có				Có

STT	Loại chất thải	Chôn lấp	Che phủ đất	Enzym tẩy rửa	Nuôi giun	Nuôi ruồi lính đen	Ủ phân bón
	Chất thải từ làm vườn từ hộ gia đình như lá, rễ, cành cây nhỏ, cỏ, hoa,...	Có					Có
	Phân động vật cảnh;	Có					Có
	Xác động vật cảnh chết không do dịch bệnh,...	Có				Có	Có
	Vỏ cứng các loại thủy, hải sản	Có					

2. Các Bước xử lý chất thải hữu cơ tại hộ gia đình



Bước 1: Phân loại rác hữu cơ



Rác hữu cơ trước khi đem đi xử lý cần được phân loại theo các phương pháp xử lý. Việc lựa chọn phương pháp xử lý chất thải hữu cơ tùy thuộc vào điều kiện mặt bằng và nhu cầu sử dụng các vật liệu được tái chế của mỗi hộ gia đình. Tham khảo đề xuất dưới đây:

Đặc điểm không gian sinh sống	Đặc điểm mặt bằng và thông gió	Phương pháp đề xuất ưu tiên	Phương pháp hỗ trợ khả thi
Căn hộ chung cư, nhà ống không có sân đất	Diện tích hẹp, không có nền đất tự nhiên, chỉ có logia hoặc ban công kín gió.	1) Ủ phân bón: Ủ kỵ khí Bokashi trong thùng chuyên dụng kín khí; 2) Ủ enzym tẩy rửa từ vỏ hoa quả.	Nuôi trùn quế trong thiết bị nuôi trùn hộ gia đình (áp dụng khi nhà nuôi chim / cá cảnh)
Nhà phố có sân trước/sau, ban công rộng, sân thượng	Không gian ngoài trời thoáng đãng diện tích từ 5 đến 20m ² , nền xi măng hoặc gạch lát.	1) Ủ phân bón: - Ủ kỵ khí Bokashi trong thùng chuyên dụng kín khí; - Ủ hiếu khí bằng thùng phuy ủ xoay cơ học; 2) Ủ enzym tẩy rửa từ vỏ hoa quả. 3) Nuôi trùn quế trong thiết bị nuôi trùn hộ gia đình (áp dụng khi nhà nuôi chim / cá cảnh)	Nuôi ấu trùng ruồi lính đen trong hộp nhựa kín có máng leo tự thu hoạch (áp dụng khi nhà nuôi chim / cá cảnh)
Hộ nông thôn, nhà vườn ven đô, biệt thự vườn	Quỹ đất vườn rộng lớn, nền đất thịt tự nhiên màu mỡ, nhiều cây ăn trái và bóng râm cây xanh.	1) Ủ phân bón: - Ủ đồng hiếu khí; - Ủ trong thùng không đáy tiếp xúc đất; 2) Ủ enzym tẩy rửa từ vỏ hoa quả. 3) Nuôi trùn quế: - Nuôi trùn trong thiết bị nuôi trùn hộ gia đình (áp dụng khi nhà nuôi chim / cá cảnh) - Nuôi trùn quế luống đất. 4) Che phủ bề mặt	1) Chôn lấp hợp vệ sinh; 2) Nuôi ruồi lính đen sinh khối: áp dụng khi nhà chăn nuôi gà, chim, cá.

Bước 2: Sàng lọc loại bỏ tạp chất

Độ sạch của cơ chất hữu cơ đầu vào quyết định trực tiếp đến tốc độ phân hủy sinh học, sự an toàn của hệ vi sinh vật và chất lượng mùn bón cây. Quy trình sàng lọc và sơ chế tại gia đình phải được tiến hành ngay tại khu vực bếp hoặc sân sơ chế thông qua các bước bắt buộc:

- Loại bỏ hoàn toàn các loại tạp chất vô cơ tro bằng tay hoặc qua rổ thưa. Các vật liệu ngoại lai như màng bọc thực phẩm nylon, nhãn mác nhựa dán trên vỏ hoa quả, dây thun buộc rau, que tăm gỗ, nắp khoen lon kim loại, mảnh chén đĩa vỡ, đầu lọc thuốc lá và pin tiểu phải được loại trừ hoàn toàn khỏi cơ chất hữu cơ.
- Chất thải thực phẩm dạng lỏng (canh thừa, nước luộc, bún phở dư) phải đổ qua rổ lọc hoặc túi lưới lọc rác bồn rửa bát để thoát kiệt nước trước khi đưa vào thiết bị xử lý.

- Đối với dầu mỡ chiên rán thừa khối lượng lớn, người dân cần thu gom riêng vào chai kín để chuyển giao đơn vị tái chế nhiên liệu sinh học, không trút vào thùng ủ phân hoặc khay nuôi giun.
- Cắt nhỏ nguyên liệu: các loại rau củ hỏng, vỏ dưa hấu, cuống rau dai,... cần dùng dao băm thành từng đoạn nhỏ từ 2 đến 5 cm; cành cây vườn tĩa và cỏ dại cần phơi héo nhẹ rồi dùng kéo cắt ngắn dưới 5 cm; vỏ trứng gia cầm phải dùng tay bóp vụn để đẩy nhanh tốc độ hòa tan canxi cacbonat. Các loại vỏ giáp xác biển cứng (cua, ghẹ, ốc) cần được đập dập trước khi ủ để vừa giảm kích thước vừa triệt tiêu các cạnh sắc nhọn gây mất an toàn lao động trong quá trình xử lý.



Bước 3: Xử lý rác hữu cơ

Các phương pháp xử lý được trình bày dưới đây:

Phương pháp 1: Chôn lấp hợp vệ sinh tại đất vườn



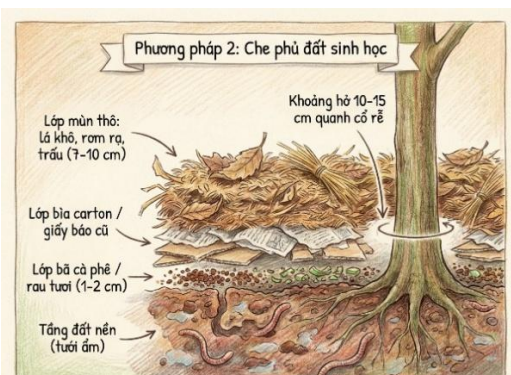
Kỹ thuật chôn lấp hợp vệ sinh tại vườn là giải pháp cổ điển nhưng có độ tin cậy sinh thái cao, dựa trên quá trình phân giải tự nhiên của vi sinh vật và động vật đất trong tầng canh tác mà không đòi hỏi chi phí đầu tư thiết bị.

Khi triển khai, người dân lựa chọn dải đất trống trong vườn hoặc đào theo đường ranh tán lá của cây ăn quả, giữ khoảng cách tối thiểu từ 0,6 đến 1,0 m tính từ thân cây nhằm bảo vệ các chóp rễ tơ non không bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ trong quá trình phân hủy sơ khởi. Dùng xẻng đào hố tròn hoặc rãnh dài sâu từ 35 đến 45 cm, bề rộng khoảng 30 cm. Đổ rác thực phẩm đã sơ chế vào hố thành một lớp dày từ 10 đến 15 cm. Để thúc đẩy quá trình mùn hóa và triệt tiêu mầm bệnh ký khí, rắc đều một lớp mỏng bột chế phẩm vi sinh chứa *Trichoderma* và *Bacillus* lên bề mặt rác theo tỷ lệ 1 thìa canh cho 1 kg cơ chất.

Bước quan trọng nhất là lấp lại toàn bộ phần đất mặt nguyên bản lên trên với độ dày tối thiểu từ 20 đến 25 cm, sau đó dùng xẻng ấn nhẹ bề mặt đất để tạo độ nén tự nhiên. Lớp đất mặt này hoạt động như một tầng lọc sinh học tự nhiên hấp phụ hoàn toàn các phân tử mùi bốc lên, đồng thời ngăn chặn ruồi nhặng đẻ trứng hoặc động vật gặm nhấm đào bới. Các hố chôn tiếp theo được đào xoay vòng tịnh tiến dọc theo luống vườn. Sau thời gian từ 6 đến 8 tuần trong điều kiện độ ẩm đất bình thường, toàn bộ cơ chất chôn lấp sẽ bị khoáng hóa và mùn hóa hoàn toàn thành nguồn dưỡng chất giàu keo mùn cho bộ rễ cây hấp thụ.

Phương pháp 2: Che phủ đất sinh học

Kỹ thuật che phủ đất sinh học mô phỏng cấu trúc tầng thảm mục của rừng nhiệt đới, áp dụng hiệu quả đối với nguồn phế thải làm vườn phát sinh từ các hộ có khuôn viên rộng như cỏ cắt tỉa, lá khô, cành cây nhỏ vụn, vỏ lạc, bã mía và bã cà phê.



Quy trình bắt đầu bằng việc dọn sạch cỏ dại thân bò trên bề mặt luống đất canh tác hoặc quanh gốc cây ăn trái, sau đó tưới nước đầm để bão hòa ẩm cho tầng đất nền. Tiếp theo, rải một lớp mỏng cơ chất giàu dinh dưỡng như bã cà phê hoặc tàn dư rau tươi cắt nhỏ dày 1 đến 2 cm sát mặt đất. Ngay sau đó, phủ kín toàn bộ bề mặt luống bằng một lớp bìa carton không in màu bóng (đã bóc sạch băng dính keo và ngâm ẩm) hoặc 4 đến 5 lớp giấy báo cũ³. Tầng rào cản giấy này có chức năng ngăn chặn ánh sáng mặt trời triệt tiêu sự nảy mầm của hạt cỏ dại, đồng thời lưu giữ độ ẩm tối ưu cho giun đất di chuyển kiếm ăn.

Trên cùng, rải đều lớp mùn thô gồm cành lá băm vụn, vỏ trấu, rơm rạ khô dày từ 7 đến 10 cm. Chú ý không vun lớp phủ sát vào vỏ cổ rễ cây thân gỗ mà chừa lại một khoảng hở 10-15 cm để ngăn ngừa nấm bệnh hại gốc cây. Lớp che phủ đất này có khả năng giảm đến 80% lượng nước bốc hơi bề mặt, ổn định nhiệt độ rễ cây trong mùa khô nóng, chống xói

mòn rửa trôi dinh dưỡng khi mưa to, và hoại mục chậm rãi thành mùn tơi xốp cho đất trong vòng 3 đến 6 tháng.

Phương pháp 3: Ủ enzyme tẩy rửa

Phương pháp 3- Ủ enzyme tẩy rửa - chuyển hóa các phế phẩm thực vật chứa nhiều tinh dầu và đường tự nhiên thành dung dịch tẩy rửa hữu cơ an toàn, làm sạch bề mặt bếp, khử mùi hôi chuồng trại và hỗ trợ kháng nấm nhẹ trong trồng trọt gia đình.



Công thức ủ tiêu chuẩn:

- 1 phần đường nâu (hoặc mật ri đường),
- 3 phần phế phẩm thực vật tươi sạch,
- 10 phần nước sạch.

Cơ chất đầu vào phải được lựa chọn nghiêm ngặt: chỉ sử dụng vỏ hoặc phần thải bỏ của các loại hoa quả có hương thơm thanh dịu như vỏ bưởi, vỏ cam, vỏ chanh, mắt dứa, vỏ táo, chuối, củ cải trắng và thân sả. Thiết bị chứa phải là bình, can hoặc thùng bằng nhựa dẻo có nắp vãn ren kín khí; không sử dụng bình kim loại vì axit hữu cơ sẽ ăn mòn, cũng không dùng bình thủy tinh vì áp lực khí có thể gây nổ nứt bình.

Quy trình ủ:

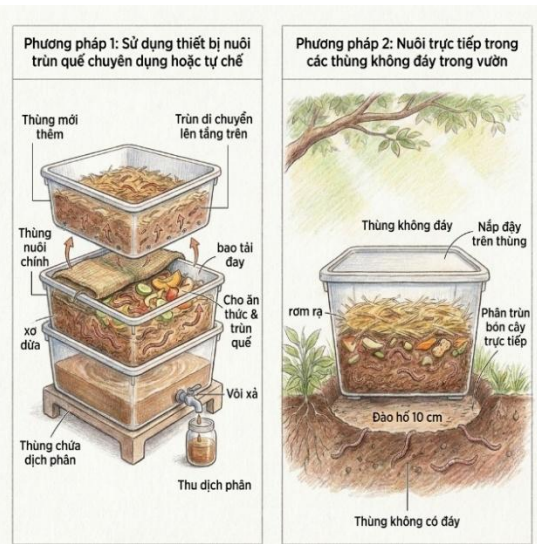
- Bước 1: Hòa tan hoàn toàn mật ri đường vào nước trong bình
- Bước 2: Cho toàn bộ vỏ hoa quả đã cắt nhỏ vào dung dịch, bảo đảm lượng nguyên liệu ngập hoàn toàn dưới mặt nước.

Lưu ý: Phải chừa lại một khoảng không khí trống chiếm từ 15% đến 20% thể tích phía trên miệng bình để tích tụ khí sinh học sinh ra trong quá trình lên men. Trong 30 ngày đầu tiên, áp lực khí CO₂ bên trong bình tăng rất nhanh, mỗi ngày phải mở nhẹ nắp một lần để xả bớt áp suất khí nén, sau đó vãn chặt nắp lại ngay lập tức. Từ

tháng thứ hai đến tháng thứ ba, vận nắp bình thật kín và bảo quản tại nơi thoáng mát, tránh ánh sáng mặt trời chiếu trực tiếp.

- Bước 3: Sau 90 ngày lên men kỵ khí hoàn tất, tiến hành lọc tách pha lỏng: thu được dung dịch Eco-enzyme màu nâu sáng, có mùi chua ngọt thanh mát đặc trưng. Pha bã thực vật còn lại sau lọc có thể phơi khô chôn bón gốc cây hoặc xay nhuyễn đổ vào bồn cầu để làm sạch sinh học hệ thống thoát nước gia đình.

Phương pháp 4: Nuôi trùn quế



Phương pháp xử lý rác thải hữu cơ bằng trùn quế vận dụng khả năng tiêu hóa cơ chất hữu cơ của giun đất để tạo ra phân trùn quế (vermicast) giàu phức hệ mùn humic, fulvic và các chủng vi sinh vật kích thích sinh trưởng rễ cây.

- Phương pháp 1: Sử dụng thiết bị nuôi trùn quế chuyên dụng hoặc tự chế. Đối nhà phố đô thị, hệ thống tự chế gồm tối thiểu 3 thùng nhựa (dung tích 40 đến 50 lít/thùng) xếp chồng ăn khớp lên nhau. Thùng dưới cùng không khoan lỗ đáy, có gắn vòi xả để thu gom nước cốt trùn rỉ ra. Thùng giữa và thùng trên cùng được khoan hàng loạt lỗ nhỏ đường kính 4-5 mm ở toàn bộ bề mặt đáy để giun tự do bò chuyển tầng, mép viền trên thành thùng khoan các lỗ thông khí nhỏ. Ban đầu, lớp giá thể đệm dày 10 cm được thiết lập tại thùng giữa bằng xơ dừa ẩm đã xả chất, giấy bìa carton xé vụn ngâm nước vắt ráo hoặc phân bò hoai mục. Sinh khối giun giống được rải đều vào thùng và để yên trong bóng tối 24 giờ cho giun thích nghi. Thức ăn nạp vào là rác thực vật mềm, cơm nguội không dầu mỡ, vỏ dưa hấu, bã trà và bã cà phê. Nguyên tắc cho giun ăn là chỉ rải thức ăn thành một dải mỏng chiếm 1/2 diện tích bề mặt khay nuôi, chừa lại một nửa diện tích an toàn để giun ẩn nấp trong trường hợp cơ chất mới sinh nhiệt lên men. Luôn phủ lên trên một tấm bao tải đay ẩm hoặc bìa carton ướt để giữ độ tối và ẩm độ. Khi thùng giữa đã tích tụ đầy phân giun sau 4

đến 6 tuần, đặt tiếp thùng thứ ba lên trên, cho thức ăn mới vào đáy thùng trên; trùn quế sẽ tự động chui qua các lỗ đáy bò lên khay trên tìm thức ăn. Sau khoảng 10 ngày, người dân chỉ việc nhấc khay giữa ra để thu hoạch phân trùn nguyên chất mà không làm tổn thương quần thể giun.

- Phương pháp 2: nuôi trực tiếp trong các thùng không đáy trong vườn. Thùng được bố trí dưới bóng cây râm mát hoặc làm mái che mưa nắng. Đào một hố sâu khoảng 10cm, sau đó đặt thùng không đáy vào. Nếu có điều kiện có thể cho giá thể bằng xơ dừa, rơm mục,... sau đó cho sinh khối trùn giun vào thùng và đập nắp lại. Hằng ngày cho ăn tương tự như phương pháp 1. Phương pháp này không thu hoạch trùn quế mà sử dụng trùn quế như một công cụ xử lý rác thải và bón phân thụ động cho vườn.

Phương pháp 5: Nuôi ấu trùng ruồi lính đen quy mô nhỏ

Nuôi ấu trùng ruồi lính đen (*Hermetia illucens* - BSFL) là giải pháp phân hủy sinh học có hiệu năng cực nhanh, phù hợp để xử lý các loại chất thải hữu cơ phức tạp khó tiêu hóa như thịt cá thừa, nội tạng gia cầm tươi sống, cơm canh dầu mỡ và thức ăn hư hỏng nặng mà các phương pháp khác khó tiếp nhận. Ấu trùng ruồi lính đen là nguồn dinh dưỡng rất tốt trong chăn nuôi nông hộ.



Ruồi lính đen được nuôi trong các khay hoặc thùng nhựa nuôi kín chuyên dụng kích thước đáy tối thiểu 60cm x 40cm, thành cao 30 cm. Thiết kế hộp nuôi phải tạo ra một hoặc hai mặt vách dốc nghiêng thoải thoải góc từ 35° đến 45° dẫn thẳng lên một máng thu gom nhộng khô ráo đặt bên ngoài thành hộp. Thiết kế này khai thác tập tính tự nhiên của ấu trùng: khi bước vào giai đoạn tiền nhộng (vỏ chuyển sang màu nâu đen sẫm), chúng sẽ tự động bỏ rời khỏi môi trường ẩm ướt để tìm nơi khô ráo lột xác, giúp người nuôi thu hoạch tự động mà không cần sàng sảy thủ công.

Trứng ruồi lính đen hoặc ấu trùng non 4-5 ngày tuổi được thả lên một lượng nhỏ cám ngâm ẩm làm đệm khởi động. Hàng ngày, rác thực phẩm phát sinh từ gia đình được băm nhỏ và rải đều vào thùng thành lớp dày 3 đến 5 cm. Sinh khối ấu trùng sẽ nhanh chóng bu kín và tiết ra các enzyme tiêu hóa ngoại bào phá vỡ mô tế bào rác chỉ trong vài giờ, làm xẹp giảm thể tích chất thải từ 70% đến 80%. Độ ẩm trong khay nuôi cần duy trì ở mức 60% đến 70%. Nếu nhận thấy cơ chất bị nhão ướt, phải bổ sung ngay bột cám gạo, bột vỏ trấu hoặc mùn cưa khô để hút ẩm, chống phát sinh mùi chua lên men.

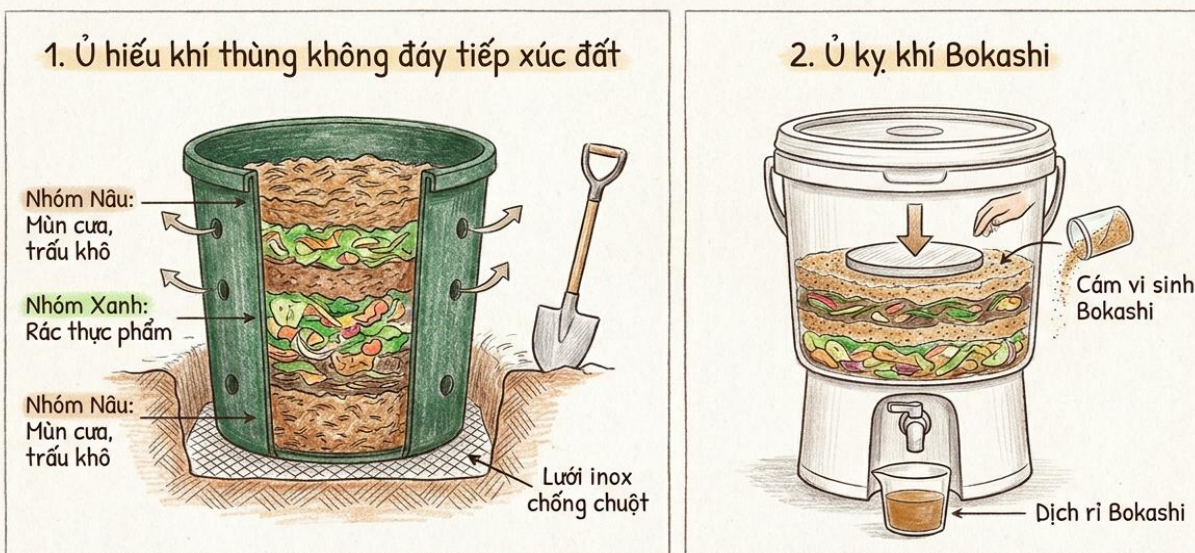
Sản phẩm đầu ra bao gồm ấu trùng tiền nhộng giàu hàm lượng protein thô (40-44%) và chất béo tự nhiên (30-35%), là nguồn thức ăn tươi sống rất tốt cho đàn gà thả vườn, chim cảnh hoặc cá cảnh. Phần bã thải hoai mục còn lại dưới đáy khay là hỗn hợp phân ấu trùng và thức ăn thừa còn lại, có thể đổ vào thùng ủ phân hữu cơ vi sinh (phương pháp 6) hoặc chôn lấp hợp vệ sinh (phương pháp 1).

Phương pháp 6: Ủ phân hữu cơ vi sinh

Kỹ thuật ủ trong thùng compost không đáy tiếp xúc đất - ủ hiếu khí

Phương pháp ủ thùng không đáy kết hợp ưu thế gọn gàng, kín đáo của thùng chứa với khả năng tiếp xúc trực tiếp sinh thái của đất nền, ngăn ngừa tối đa sự xâm nhập của chuột cống và ruồi bọ tại các khuôn viên sân vườn đô thị hoặc nhà vườn.

Phương pháp 6: Ủ phân hữu cơ vi sinh



Thiết bị ủ sử dụng các thùng phuy nhựa hoặc thùng chứa dung tích từ 120 đến 220 lít, tiến hành cưa cắt bỏ hoàn toàn phần nắp đáy nhựa bên dưới. Xung quanh thân thùng khoan hàng loạt lỗ thông hơi đường kính 10 mm, khoảng cách giữa các lỗ là 15 cm. Tại góc vườn râm mát, đào một hố nông sâu 20 đến 30 cm theo đường kính miệng thùng. Trước khi hạ thùng xuống hố, đặt một tấm lưới thép không gỉ hoặc lưới inox mắt cáo nhỏ (kích thước ô vuông từ 5 đến 10 mm) lót phẳng dưới đáy hố, sau đó mới đặt thùng ủ lên trên và lấp đất chặt quanh vành chân thùng. Lưới kim loại này cho phép giun đất, vi khuẩn và nấm hoại sinh từ đất tự do bò lên khối ủ để tiêu thụ rác, nhưng tạo thành rào cản ngăn chuột đào hang chui vào thùng.

Rác thực phẩm hàng ngày được nạp vào thùng từng mẻ nhỏ. Nguyên tắc cố định là mỗi lần bỏ vào một lớp rác thực phẩm (nhóm Xanh), bắt buộc phải rắc kèm lên bề mặt một lượng tương đương mùn cưa, vỏ trấu khô hoặc lá cây khô vò nát (nhóm Nâu). Đậy kín thùng sau mỗi lần nạp liệu. Quá trình phân hủy hiếu khí diễn ra âm ỉ từ dưới lên trên. Khi thùng đã đầy ắp, giữ yên tĩnh trong 4 tuần để hoàn tất pha ủ hoai.

Mỗi nông hộ nên có từ 1-2 thùng để thay phiên sử dụng khi thùng còn lại đã đầy và đang trong thời gian chờ phân hủy.

Kỹ thuật ủ kỵ khí bằng men vi sinh Bokashi

Phương pháp lên men kỵ khí Bokashi là công nghệ sinh học từ Nhật Bản, cho phép xử lý toàn bộ rác thực phẩm ngay trong không gian kín của bếp ăn căn hộ chung cư hoặc nhà phố mà không hề phát sinh mùi hôi thối kỵ khí.

Cơ chế của Bokashi dựa trên quá trình lên men axit lactic kỵ khí được kích hoạt bởi hệ vi sinh vật hữu hiệu gồm vi khuẩn axit lactic (*Lactobacillus*), nấm men (*Saccharomyces*) và

vi khuẩn quang dưỡng được cấy sẵn trong chất mang cám gạo (cám Bokashi). Hệ vi sinh vật này chuyển hóa đường và carbohydrate trong rác thực phẩm thành axit lactic. Môi trường axit hóa mạnh này ức chế hoạt tính của các vi khuẩn gây thối rữa, bảo toàn được toàn bộ đạm hữu cơ và khoáng chất trong rác thải.

Quy trình sử dụng xô ủ Bokashi chuyên dụng hai đáy: đáy trên dạng vỉ lưới đục lỗ cách đáy dưới khoảng 5 cm để tách nước rỉ rác, thành đáy dưới gắn vòi xả dung dịch, nắp xô có gioăng cao su khóa chặt kín khí 100%. Thao tác nạp liệu tiến hành như sau: rải một lớp mỏng cám Bokashi xuống bề mặt vỉ lưới. Rác thực phẩm (chấp nhận cả thịt, cá, da, xương nhỏ vụn, bơ sữa) sau khi để róc kiệt nước được băm nhỏ và đổ vào xô từng lớp dày 3 đến 5 cm. Cứ mỗi lớp rác, rải đều 1 đến 2 thìa canh cám men Bokashi lên trên bề mặt. Sử dụng bàn nén phẳng ấn ép thật mạnh khối rác xuống nhằm đẩy hết không khí tồn đọng trong các khe hở ra ngoài, sau đó đậy nắp kín lại ngay lập tức.

Định kỳ 2 đến 3 ngày một lần, mở van vòi đáy để chiết lấy lượng dịch rỉ rác Bokashi màu nâu nhạt có mùi chua thơm lên men. Dịch rỉ Bokashi chứa mật độ vi sinh vật sống đậm đặc và các axit amin hòa tan, cần pha loãng với nước sạch theo tỷ lệ 1:500 đến 1:1000 dùng tưới gốc cho cây cảnh, hoặc đổ trực tiếp dạng đậm đặc vào lòng cống bồn rửa bát để phân hủy màng mỡ bám và triệt tiêu mùi hôi đường ống. Khi xô rác đã đầy, vặn chặt nắp và ủ kín hoàn toàn trong vòng 14 ngày. Kết thúc quá trình lên men, khối rác giữ nguyên cấu trúc vật lý nhưng mô tế bào đã mềm nhũn sinh học và ngả màu như dưa muối. Dem khối cơ chất Bokashi này chôn vùi vào đất bồn cây hoặc rãnh luống vườn; dưới tác động của hệ nấm hoại sinh đất, cơ chất Bokashi sẽ tự phân rã và biến thành mùn đen màu mỡ chỉ sau 10 đến 14 ngày tiếp xúc với đất.

Mỗi hộ gia đình nên có từ 1-2 thùng ủ Bokashi để thay phiên sử dụng khi thùng còn lại đã đầy và đang trong thời gian chờ phân hủy.

3. Giám sát và kiểm soát chất lượng

a) Kỹ thuật kiểm tra các thông số hóa lý bằng phương pháp cảm quan



Đối với quy mô hộ gia đình, các thiết bị đo kiểm đất tiền không phù hợp. Các hộ gia đình cần áp dụng các kỹ thuật đo lường cảm quan.

- 1) Độ ẩm khối ủ được chẩn đoán chính xác thông qua thử nghiệm vắt ẩm bằng tay. Người thao tác đeo găng tay cao su sạch, lấy một nắm cơ chất ở độ sâu khoảng 20 đến 30 cm trong lòng đồng ủ hoặc thùng ủ, sau đó nắm chặt bàn tay lại và quan sát lượng nước tiết ra:
 - Trạng thái quá ướt xuất hiện khi độ ẩm vượt quá 65%: nước ép rỉ ra thành dòng qua các kẽ ngón tay hoặc cơ chất dính bết như bùn nhão, báo hiệu nguy cơ kỵ khí và bốc mùi cống rãnh sắp xảy ra¹. Hành động khắc phục là phải bổ sung ngay các vật liệu Nâu khô có tính hút ẩm cao như mùn cưa gỗ mềm, vỏ trấu khô hoặc rơm rạ vụn kết hợp dùng xẻng đảo tung đồng ủ để giải phóng hơi nước bão hòa¹.
 - Trạng thái tối ưu đạt được khi độ ẩm nằm trong khoảng 50% đến 60%: cơ chất cho cảm giác mềm ẩm như một miếng bột biển đã vắt ráo nước; khi bóp mạnh tay chỉ xuất hiện 1 đến 2 giọt nước rỉ ra lấp tẩm ở các kẽ ngón tay; khi mở bàn tay ra, khối cơ chất giữ nguyên hình dạng khối kết dính mà không bị vỡ vụn rã rời¹. Đây là điều kiện hoạt tính tối ưu để duy trì liên tục cho vi sinh vật¹.
 - Trạng thái quá khô xảy ra khi độ ẩm tụt xuống dưới 40%: cơ chất khi bóp có cảm giác rập tay, mở tay ra thì khối vật liệu tơi vụn rã rời thành từng mẩu riêng lẻ, không có độ dính kết. Tình trạng này khiến quá trình trao đổi chất của vi sinh vật bị ngưng trệ, làm tụt giảm nhiệt độ đồng ủ. Biện pháp xử lý là dùng bình tưới hoa sen phun tưới nước sạch từng lớp kết hợp đảo trộn cho đến khi đạt độ ẩm chuẩn.

- 2) Độ thoáng khí và nồng độ oxy mao quản được nhận diện qua chỉ dấu khứu giác. Khi khối ủ được cấp đủ dưỡng khí, vi sinh vật hiếu khí chuyển hóa chất hữu cơ thành CO₂ và nước, đồng ủ chỉ tỏa ra mùi hơi nồng ấm nhẹ hoặc mùi đất rừng ẩm. Ngược lại, khi các lỗ rỗng bị bết tắc và nồng độ oxy tụt xuống dưới 5%, vi khuẩn kỵ khí sẽ lập tức hoạt động sinh ra mùi chua nồng của giấm (axit béo bay hơi) hoặc mùi trứng thối. Khi xuất hiện mùi lạ này, người dân lập tức dùng chĩa ba xới tơi khối ủ từ đáy lên để thông khí tức thời.

b) Phòng ngừa và xử lý sinh vật truyền bệnh hại



Trong điều kiện hộ gia đình, việc phát sinh ruồi, muỗi, chuột, gián không chỉ làm gián đoạn quá trình ủ mà còn tạo ra nguy cơ lây truyền các bệnh dịch truyền nhiễm nguy hiểm. Cần thiết lập hệ thống rào cản sinh học và vật lý chặt chẽ để kiểm soát triệt để các loài sinh vật này.

Loài sinh vật hại	Nguyên nhân kỹ thuật phát sinh	Biện pháp phòng ngừa chủ động	Biện pháp can thiệp dập dịch khi bùng phát
-------------------	--------------------------------	-------------------------------	--

Ruồi nhà và dòi (<i>Musca domestica</i>)	Đề hờ rác thực phẩm tươi sống; mùi tanh thịt cá thu hút ruồi để trứng vào các khe nắp hờ.	Luôn phủ một lớp "chăn sinh học" dày 5-10 cm bằng mùn cưa, trấu khô hoặc đất mặt lên cơ chất mới nạp; thùng ủ phải có nắp kín gioăng.	Đào xới toàn bộ lớp mặt có dòi vùi sâu vào tâm đồng ủ nhiệt cao để tiêu diệt dòi bằng nhiệt; rải một lớp vôi bột mỏng lên bề mặt.
Chuột cống, chuột nhắt	Đưa xương động vật, mỡ thừa vào đồng ủ hờ; thùng ủ đặt sát đất không có lưới rào đáy.	Lót đáy thùng ủ tiếp đất bằng lưới inox hoặc lưới thép mắt cáo không gỉ; cố định nắp thùng bằng vật nặng.	Loại bỏ hoàn toàn nguồn đạm động vật chưa qua ủ Bokashi; đặt bẫy cơ học quanh chân thùng; lấp chặt các hang đất đào bởi xung quanh.
Gián các loại	Thùng ủ có nhiều khe nứt nẻ; thức ăn thừa vương vãi ra sàn xung quanh; môi trường tối ẩm thấp.	Mielt kín các vết nứt trên thùng xốp/khay nhựa; giữ nền sàn khô ráo, quét sạch thức ăn rơi vãi quanh chân giá kệ chứa.	Đặt bẫy mối dính sinh học quanh khu vực thùng ủ; rắc bột phân đuổi gián quanh chân kệ.
Kiến lửa, kiến hôi	Khối ủ hoặc lớp đệm nuôi giun bị quá khô ráo; cơ chất chứa nhiều chất ngọt, đường sữa.	Giữ độ ẩm ổn định 50% cho compost và 75% cho giun; kê chân kệ nuôi giun vào các bát đổ nước hoặc dầu hỏa cách ly.	Tưới nước làm ẩm đều khắp khối ủ để phá vỡ tổ kiến (kiến sẽ tự bỏ đi); rắc bột quế hoặc bã cà phê quanh mép thùng để xua đuổi.

c) **Chỉ tiêu nhận diện phân hoại mục**

Mùn phân hữu cơ tự ủ tại gia đình chỉ nên đưa vào sử dụng khi đáp ứng các chỉ tiêu đánh giá cảm quan và sinh thái thực nghiệm:

- Về hình thái và màu sắc, toàn bộ khối cơ chất ban đầu phải chuyển hóa hoàn toàn sang màu nâu đen sẫm, màu nâu hạt dẻ hoặc màu đen mun đồng nhất. Dấu vết nhận diện của các cơ chất ban đầu như com nguội, cuống rau, vỏ trái cây, cọng cỏ phải biến mất hoàn toàn (ngoại trừ các mảnh xương cứng lớn hoặc vụn que gỗ thô khó phân hủy). Cấu trúc phân chuyển sang dạng vụn mùn toi xốp, mềm mại, khi miết nhẹ giữa hai ngón tay có cảm giác liên kết keo mịn như bã cà phê phơi khô.

- Về khía cạnh khứu giác, phân thành phẩm triệt tiêu hoàn toàn mùi chua của giấm, mùi khai nồng amoniac hay mùi hôi thối kỵ khí. Mùn hoai mục đạt chuẩn chỉ tỏa ra mùi thơm đất ẩm sau mưa hoặc mùi đất rừng mục tự nhiên. Mùi thơm đặc trưng này được tạo ra bởi hợp chất hữu cơ geosmin, sản phẩm chuyển hóa sinh học tự nhiên của các xạ khuẩn hoại sinh (*Streptomyces*) phát triển mạnh ở giai đoạn dưỡng hoai cuối cùng.
- Về kiểm nghiệm sinh học nảy mầm hạt cải (Phytotoxicity Bioassay): Lấy một lượng mùn thành phẩm trộn với nước sạch theo tỷ lệ thể tích 1:1, khuấy kỹ và để lắng trong 30 phút rồi chắt lấy phần nước lọc. Thấm ướt nước lọc này vào một đĩa có lót bông gòn hoặc khăn giấy ăn mềm, sau đó rải đều 20 hạt cải ngọt lên trên (đồng thời thiết lập một đĩa đối chứng khác chỉ thấm nước lọc sinh hoạt thông thường). Đặt đĩa ủ ở nơi râm mát. Nếu sau 72 giờ, tỷ lệ nảy mầm của hạt cải trong đĩa nước phân đạt từ 85% trở lên so với đĩa đối chứng, rễ mầm đậm dài trắng muốt, không có dấu hiệu cháy đen đầu rễ, thì phân bón đã hoàn toàn sạch độc tố, hoai mục hoàn toàn và an toàn cho cây trồng.



d) Hướng dẫn ứng dụng phân mùn hữu cơ an toàn cho cây trồng

Phân mùn sau khi ủ chín cần được sử dụng đúng kỹ thuật nông học để tối ưu hóa hiệu quả dinh dưỡng và bảo vệ sức khỏe đất trồng gia đình:



- Phối trộn giá thể trồng rau sạch và hoa chậu:* Không sử dụng 100% phân compost để gieo trồng trực tiếp vì hàm lượng khoáng và muối hòa tan cao có thể gây nghẹt rễ con. Công thức phối trộn chuẩn cho đất trồng chậu và khay xốp đô thị là: 30% phân compost hoại mục, phối trộn với 50% đất thịt sạch và 20% chất tạo xốp (tro trấu hun, mụn xơ dừa đã xả chất hoặc đá perlite).

- Bón lót cải tạo đất canh tác vườn:* Đối với các luống đất vườn nông thôn đã bạc màu thoái hóa, trước khi xuống giống rau màu mới, rải một lớp phân compost dày

2 đến 3 cm trên khắp mặt luống, dùng cuốc xới trộn đều phân vào tầng đất mặt canh tác sâu từ 10 đến 15 cm để tái tạo kết cấu xốp và hệ đệm vi sinh vật cho đất.

- Bón thúc quanh vùng rễ tán cây ăn trái:* Xới một đường rãnh tròn nông sâu từ 5 đến 10 cm theo hình chiếu thẳng đứng của tán lá cây (khu vực tập trung rễ tơ hút dinh dưỡng), rải đều phân compost vào rãnh với liều lượng từ 2 đến 5 kg/gốc tùy theo kích thước thân cây, sau đó cào đất lấp kín rãnh và tưới ẩm nước. Tuyệt đối không vun phân sát cổ rễ thân cây để tránh nguy cơ ẩm mốc làm hỏng vỏ thân.
- Chế biến trà phân hữu cơ bón lá:* Cho 1 kg phân hoại mục vào một túi vải mùng sạch buộc chặt miệng, ngâm chìm vào xô chứa 10 lít nước sạch, sau đó dùng máy sủi bọt khí hồ cá mini sục khí liên tục trong vòng 24 giờ. Dung dịch thu được là trà phân chứa mật độ cao vi sinh vật đối kháng có ích và axit fulvic hòa tan, đem pha loãng với nước sạch theo tỷ lệ thể tích 1:5 để phun sương đều lên mặt lá hoặc tưới ẩm quanh gốc, giúp tăng cường hệ miễn dịch thực vật chống lại các bệnh nấm phân trắng và đốm lá cho rau màu.

Phần 3- XỬ LÝ CHẤT THẢI HỮU CƠ THÀNH Mùn QUY MÔ CỤM HỘ GIA ĐÌNH

1. Nguyên lý xử lý chất thải hữu cơ thành mùn bằng vi sinh vật bản địa

Xử lý chất thải hữu cơ thành mùn là quá trình xử lý chất hữu cơ dựa trên quá trình phân hủy tự nhiên chất hữu cơ bởi các vi sinh vật. Quá trình phân hủy này diễn ra ở bất kỳ đâu có mặt không khí và độ ẩm. Do đó, quá trình này có thể xảy ra mà không cần đến sự can thiệp của con người. Tuy nhiên, việc xử lý chất thải hữu cơ tập trung có những khác biệt nhất định so với phân hủy tự nhiên ở chỗ: Các thông số môi trường và nguyên liệu đầu vào (như nhiệt độ, độ ẩm, tỷ lệ C/N) được kiểm soát nhằm tối ưu hóa tốc độ phân hủy và tạo ra sản phẩm thành phẩm ổn định, an toàn cho việc lưu trữ và bón đất mà không gây tác động tiêu cực đến môi trường.

Quá trình xử lý của vi sinh vật trong quá trình xử lý chất thải hữu cơ thành mùn là một chuỗi nối tiếp các hoạt động vi sinh khác nhau, trong đó môi trường do một nhóm vi sinh vật tạo ra sẽ kích thích hoạt động của các nhóm vi sinh vật kế thừa. Do đó, các loại vi sinh vật khác nhau sẽ hoạt động vào những thời điểm khác nhau trong đồng ủ. Điều này là rất quan trọng để chúng ta hiểu rằng quá trình xử lý sẽ diễn ra qua các giai đoạn khác nhau và cần đến những can thiệp khác nhau. Vi khuẩn là nhóm đầu tiên phát triển trong đồng ủ, xử lý các chất dinh dưỡng dễ phân hủy (chủ yếu là protein, carbohydrate và đường. Nấm, đóng vai trò quan trọng ở giai đoạn sau của quy trình khi đồng ủ khô dần. Nấm cũng có khả năng phân hủy các vật liệu chứa cellulose mà vi khuẩn không thể phân hủy được.

Theo nhiệt độ, quá trình xử lý chất thải hữu cơ thành mùn bằng vi sinh vật trải qua 3 pha chính với 2 nhóm vi sinh vật tương ứng:

Pha 1: Quá trình xử lý nhiệt vừa

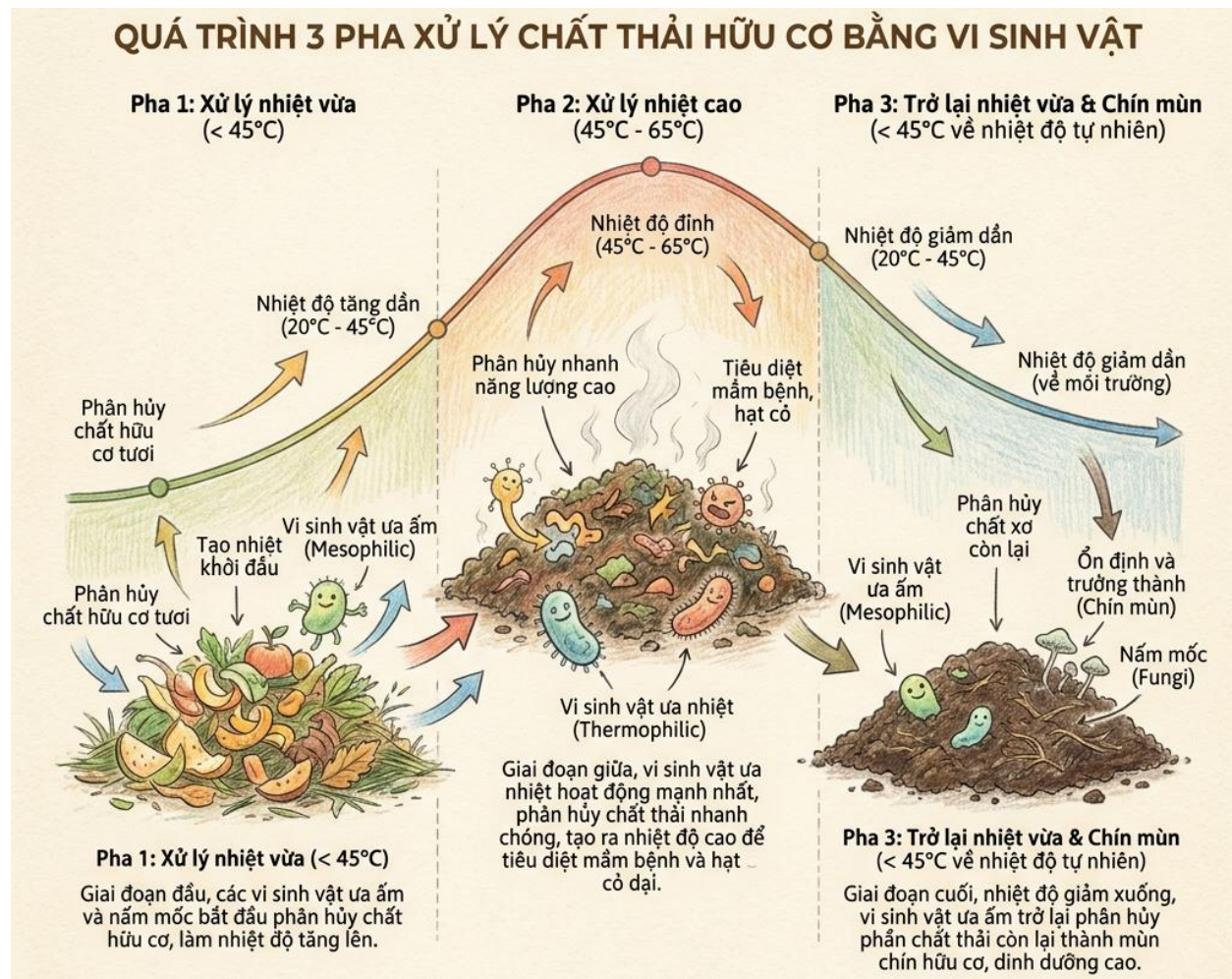
Vào giai đoạn đầu tiên của quá trình, nhiệt độ khối ủ còn thấp và tương đồng với nhiệt độ tự nhiên. Sự dồi dào sẵn có của năng lượng và nguyên liệu trong chất thải hữu cơ thúc đẩy các vi sinh vật và các loại nấm ưa nhiệt vừa phát triển. Chúng nhanh chóng sinh sôi nảy nở trong đồng ủ và phát triển rất nhanh, song song với quá trình phân hủy các chất hữu cơ giàu năng lượng. Quá trình phân hủy này tạo ra nhiệt lượng và được tích lũy dần dần trong khối ủ. Nhiệt độ trong khối ủ bắt đầu tăng dần và ở phần lõi dần chạm ngưỡng chịu đựng của các vi sinh vật ưa nhiệt vừa (45°C).

Pha 2: Quá trình xử lý nhiệt cao

Khi nhiệt độ vùng lõi của khối ủ bắt đầu vượt qua 45°C, các vi sinh vật ưa nhiệt vừa bị chết đi hoặc chuyển sang giai đoạn ngủ đông – bất hoạt. Lúc này, nhiệt độ cao cùng với các vật chất hữu cơ giàu năng lượng thúc đẩy các vi sinh vật ưa nhiệt cao phát triển. Chúng sinh sôi nhanh chóng và phân hủy cực nhanh các vật chất hữu cơ giàu năng lượng còn lại. Quá trình phân hủy nhiệt cao diễn ra nhanh chóng hơn rất nhiều so với quá trình phân hủy nhiệt vừa, giải phóng một lượng nhiệt lớn làm nhiệt độ trong khối ủ tăng lên nhanh chóng, thậm

chí vượt qua cả ngưỡng 55°C - 65°C , tiêu diệt hầu hết các mầm bệnh và cỏ dại. Nhiệt độ trong khối ủ lan dần ra bên ngoài, và những khu vực có nhiệt độ vượt ngưỡng nhiệt vừa chuyển sang giai đoạn nhiệt cao, các vi sinh vật ưa nhiệt cao sẽ thay thế các vi sinh vật ưa nhiệt vừa trong quá trình phân hủy, giúp tốc độ phân hủy diễn ra nhanh chóng hơn rất nhiều.

Tuy nhiên, quá trình này không kéo dài mãi mãi. Tốc độ phân hủy rất nhanh của vi sinh vật ưa nhiệt cao sẽ nhanh chóng sử dụng hết tất cả các năng lượng và nguyên liệu hữu cơ để phân hủy. Thiếu thức ăn, các vi sinh vật ưa nhiệt cao chết dần và quá trình phân hủy nhiệt cao giảm tốc độ, nhiệt độ vùng lõi khối ủ bắt đầu giảm dần.



Pha 3: Trở lại quá trình xử lý nhiệt vừa giảm dần

Khi nhiệt độ vùng lõi của khối ủ giảm xuống dưới ngưỡng nhiệt cao, các vi sinh vật ưa nhiệt cao chết đi hoặc chuyển sang giai đoạn bất hoạt. Lúc này, các vi sinh vật ưa nhiệt vừa đang ngủ đông – bất hoạt và các bào tử, vi sinh vật ưa nhiệt vừa mới trong không khí hoặc chế phẩm phát triển dần trong đồng ủ và tiêu thụ nốt những vật chất hữu cơ còn sót lại. Các vật chất hữu cơ khó xử lý sẽ được nấm phân hủy xử lý nốt trong giai đoạn này. Kết thúc

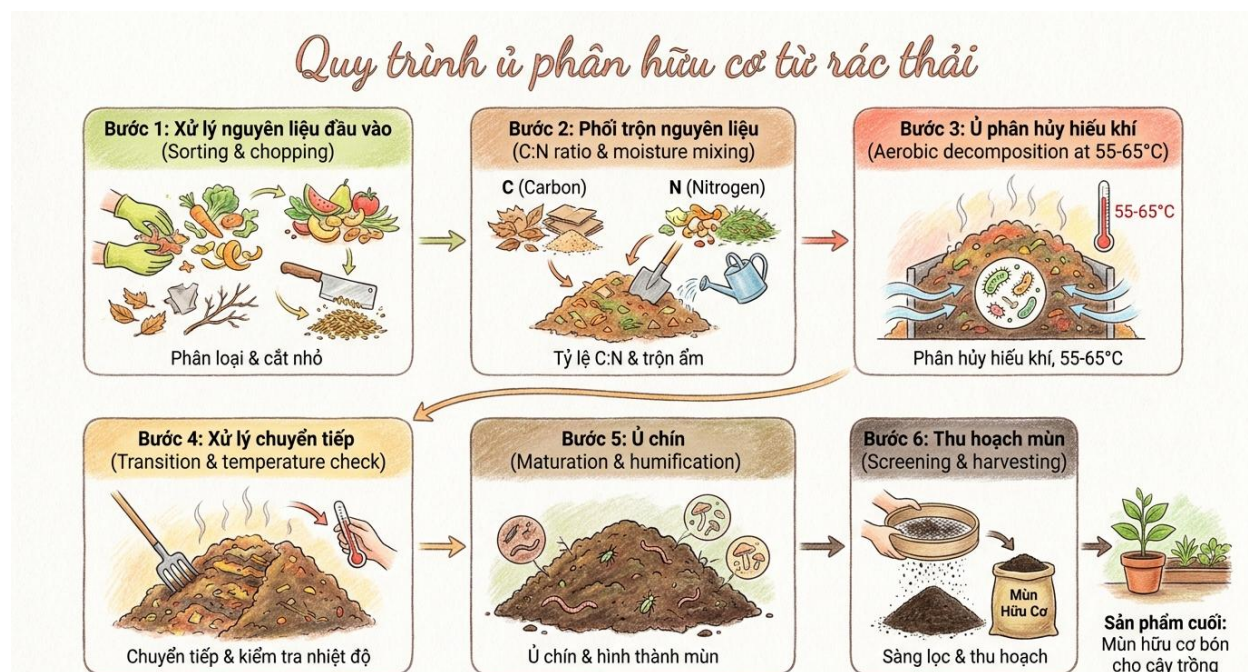
quá trình này, nhiệt độ khối ủ giảm về tương đương nhiệt độ tự nhiên, quá trình phân hủy diễn ra cực chậm với phần vật chất hữu cơ rất nhỏ còn sót lại. Quá trình xử lý chất thải hữu cơ thành mùn kết thúc.

Lưu ý: Các vi sinh vật hữu ích trong quá trình phân hủy chất thải hữu cơ luôn sẵn có trong tự nhiên, do đó, việc thiết lập chất nền phù hợp để chúng vận hành và phát triển là điều kiện tiên quyết để áp dụng biện pháp này. Trong trường hợp sử dụng các chế phẩm bổ sung (không bắt buộc) việc thiết lập chất nền phù hợp như đã nêu ở trên vẫn là điều kiện bắt buộc phải tiến hành.

2. Các bước xử lý chất thải hữu cơ thành mùn

Quá trình xử lý chất thải hữu cơ thành mùn bằng vi sinh bản địa thông qua 6 Bước chính:

- Bước 1: Xử lý nguyên liệu đầu vào.
- Bước 2: Phối trộn nguyên liệu.
- Bước 3: Ủ phân hủy hiếu khí.
- Bước 4: Xử lý chuyển tiếp
- Bước 5: Ủ chín.
- Bước 6: Thu hoạch.



Chi tiết các bước xử lý cụ thể như sau:

Bước 1: Xử lý nguyên liệu đầu vào

Xử lý nguyên liệu đầu vào là Bước quyết định toàn bộ hiệu quả của quá trình xử lý chất thải hữu cơ thành mùn.

Chất thải hữu cơ khi vận chuyển đến điểm tập trung thường có nguồn gốc phân tán từ chất thải thực phẩm đô thị, phụ phẩm trồng trọt, phân chuồng chăn nuôi hoặc bùn thải hữu cơ công nghiệp. Mỗi nguồn chất thải đều mang đặc tính cơ lý riêng biệt về độ ẩm, tỷ trọng xốp, hàm lượng lignin khó phân giải và mức độ lẫn tạp chất ngoại lai (vụn nhựa, vụn kim loại, mẫu thuốc lá, mảnh thủy tinh,...). Ngoài ra, các mảnh hữu cơ kích thước lớn nhỏ khác nhau sẽ ảnh hưởng nghiêm trọng đến khả năng phân giải vi sinh và mức độ đồng đều của các mẻ ủ. Do đó, nguyên liệu cần phải được xử lý kỹ lưỡng trước khi bắt đầu.

Sàng lọc loại bỏ tạp chất trơ



Theo báo cáo của một số nghiên cứu và hoạt động phân loại thực tế, chất thải thực phẩm và phế phẩm sinh hoạt luôn tồn tại một tỷ lệ tạp chất trơ vô cơ dao động từ 5% đến 25% theo khối lượng tươi. Các tạp chất này gồm màng nhựa nilon (PE, PP), mảnh chai thủy tinh, gốm sứ, kim loại đen, kim loại màu, sỏi đá xây dựng và đôi khi có cả các chất thải nguy hại phát sinh từ sinh hoạt (pin, bao bì hóa chất).

Nếu không loại bỏ triệt để các cấu tử này trước khi đưa vào Bước cắt băm, dây chuyền băm nghiền sẽ bị mài mòn cơ học nhanh chóng hoặc phát sinh sự cố nứt gãy hệ thống truyền động. Mảnh nhựa và màng mỏng nilon khi đi qua máy cắt sẽ bị xé thành vô số mảnh nhỏ, tạo ra các hạt vi nhựa phân tán sâu vào trong sinh khối hữu cơ – gây ô

nhiễm nhựa cho mùn thành phẩm.

Đối với các hệ thống xử lý chất thải mùn quy mô nhỏ không bố trí dây chuyền tự động, Bước sàng tuyển có thể được tiến hành thủ công trên sàn lưới thép đặt nghiêng góc 45°, kích thước mắt lưới 40x40mm, kết hợp sử dụng cào răng thưa để rũ rơi rác và thanh gạt nam châm thủ công nhằm thu hồi triệt để các mảnh kim loại sắc nhọn trước khi chuyển sang giai đoạn sàng lọc bằng tay.

Đối với các hệ thống quy mô lớn hơn và có khả năng đầu tư, chủ đầu tư có thể tham khảo các hệ thống sàng lọc rác hữu cơ thương mại trên thị trường để chọn hệ thống có quy mô phù hợp với quy mô phải xử lý của điểm.

Cắt, băm, nghiền vật liệu

Sau khi đã làm sạch tạp chất trơ vô cơ, nguyên liệu được đưa vào Bước cắt, băm, nghiền nhằm giảm kích thước hình học và phá vỡ cấu trúc cơ học bên ngoài của tế bào thực vật.

Quá trình này giúp gia tăng tỷ diện tiếp xúc riêng của cơ chất, tạo điều kiện cho vi khuẩn và nấm xử lý chất thải hữu cơ nhanh và đồng đều hơn.

Kích thước phân đoạn của hạt vật liệu chịu sự chi phối chặt chẽ của cơ chế khuếch tán oxy trong khối ủ. Nếu kích thước hạt quá lớn ($>50\text{mm}$), diện tích bề mặt tiếp xúc nhỏ (đôi khi, lớp sáp hoặc lớp hóa gỗ lignin tự nhiên của phế phẩm thực vật vẫn còn nguyên vẹn, ngăn cản vi sinh vật xâm nhập) dẫn tới làm chậm quá trình phân hủy. Bên cạnh đó, cấu trúc hạt quá thô tạo ra các lỗ rỗng quá mức, làm cho luồng không khí thoát ra nhanh chóng, gây mất nhiệt khối ủ và cản trở việc đạt ngưỡng nhiệt độ 55°C - 65°C cần thiết để khử trùng sinh học. Nếu hạt quá nhỏ ($<5\text{mm}$), khối vật liệu mất đi cấu trúc chịu lực tự nhiên và bị nén ép lại với nhau, làm mất khả năng thông thoáng khí tự nhiên và kích hoạt quá trình phân hủy kỵ khí sinh ra mùi hôi thối khó chịu và ức chế quá trình phân hủy của các sinh vật hiếu khí chuyển hóa thành mùn.

Do đó, vật liệu hữu cơ đầu vào cần được cắt nhỏ đến kích thước tối ưu cho quá trình ủ mùn hiếu khí dao động từ 10mm – 50mm (dải lý tưởng là $20\text{--}35\text{mm}$).

Thiết bị cắt, băm, nghiền phải được lựa chọn căn cứ vào đặc tính cơ lý riêng biệt của từng nhóm nguyên liệu:

1. *Đối với phụ phẩm thực vật có cấu trúc gỗ cứng và xơ sợi dai (cành tỉa cây xanh, thân cây ngô, vỏ dừa, vỏ cà phê):* Áp dụng máy băm dăm trục đĩa gấn dao phẳng hoặc máy nghiền búa đập có lưới sàng đáy kích thước $30\text{--}40\text{mm}$. Nguyên lý làm việc dựa trên lực va đập tốc độ cao kết hợp với lực cắt gọt để tách vụn thớ xơ, tạo ra các mảnh vỡ có bề mặt gồ ghề, xơ tơi, giúp vi sinh vật dễ bám dính mà không làm biến dạng hạt thành bột mịn.
2. *Đối với chất thải thực phẩm tươi, rác hữu cơ nhà bếp, rau củ quả dập nát:* Áp dụng máy cắt xé trục đôi tốc độ chậm với các móc dao xoay ngược chiều có tốc độ $15\text{--}30$ vòng/phút. Thiết bị này hoạt động theo cơ chế xé rách và cắt mảnh, giúp hạ kích thước cơ chất xuống $25\text{--}50\text{mm}$ mà không tạo bùn nhão gây kết dính và thiếu oxy trong khối ủ.

Các mẫu thiết bị cắt, băm, nghiền tham khảo phần phụ lục.

Bước 2: Phối trộn điều chỉnh tỷ lệ C:N và độ ẩm

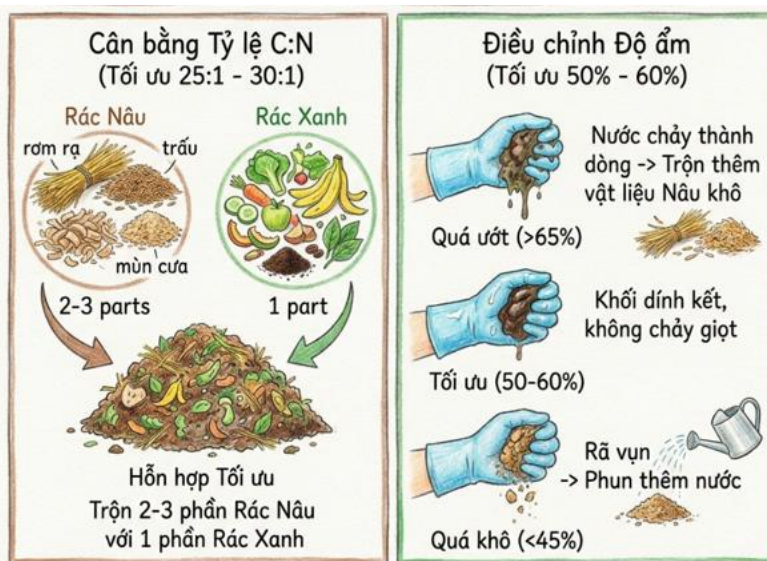
Phối trộn nguyên liệu là Bước đồng hóa dinh dưỡng và cân bằng sinh lý cho vi sinh vật hiếu khí. Để tổng hợp 1 đơn vị tế bào sinh khối, vi sinh vật tiêu thụ một lượng Carbon lớn nhằm cung cấp năng lượng cho quá trình hô hấp tế bào và thải ra CO_2 , đồng thời cần một lượng Nitơ tương ứng để xây dựng màng tế bào, axit amin, enzyme và protein chức năng. Việc điều chỉnh độ ẩm song song với cân bằng dinh dưỡng tạo điều kiện để hình thành một hệ đệm sinh hóa ổn định trong suốt chu trình phân hủy nhiệt.

Yêu cầu tỷ lệ phối trộn

Các thông số kỹ thuật cốt lõi phải được đo lường, tính toán và hiệu chỉnh đạt chuẩn trước khi thiết lập đồng ủ hoặc nạp liệu vào hầm ủ sinh học:

Tỷ lệ Carbon hữu cơ trên Nitơ tổng số (C:N ban đầu):

- Ngưỡng tối ưu 25:1 đến 30:1 (ngưỡng giới hạn cho phép vận hành trong sản xuất thực tế là 25:1-35:1).
- Cơ chế sinh hóa: Ở tỷ lệ C:N từ 25:1 đến 30:1, tốc độ phân giải chất hữu cơ và tốc độ gia nhiệt của đồng ủ đạt giá trị cực đại. Toàn bộ lượng Nitơ giải phóng từ quá trình khử amin các protein được tái đồng hóa kịp thời thành sinh khối vi sinh vật mới, giữ lại tối đa hàm lượng dưỡng chất trong mùn.
- Hệ quả khi tỷ lệ C:N < 20:1 (dư thừa Nitơ, thiếu Carbon): Nguồn Carbon dễ phân giải cạn kiệt trước khi vi sinh vật đồng hóa hết lượng đạm có mặt trong cơ chất. Phần Nitơ dư thừa bị enzyme vi sinh chuyển hóa thành khí Amoniac (NH_3) tự do bay hơi vào khí quyển. Hiện tượng này vừa làm thất thoát đạm dinh dưỡng trong phân bón, vừa làm kiềm hóa khối ủ khiến độ pH tăng cao, gây ức chế hoạt tính của nấm phân giải cellulose và phát sinh mùi khai nồng nặc ra khu dân cư phụ cận.
- Hệ quả khi tỷ lệ C:N > 40:1 (dư thừa Carbon, thiếu hụt Nitơ): Nitơ trở thành nhân tố sinh thái giới hạn sự phân chia tế bào vi sinh vật. Quần thể vi sinh vật sinh trưởng chậm, cường độ hô hấp suy giảm rõ rệt, khiến khối ủ không tạo đủ nhiệt lượng cần thiết để đạt mức 55-65°C. Đồng ủ bị mất nhiệt, chu kỳ ủ hoai kéo dài thêm 2 đến 3 tháng và sản phẩm không đạt tiêu chuẩn độ chín hoai theo 10 TCN 526:2002.



Độ ẩm nguyên liệu hỗn hợp ban đầu (W_{hh}):

- Ngưỡng tối ưu: 50%-60% (giới hạn an toàn không vượt quá 65%).

- Cơ chế lý học: Nước đóng vai trò là dung môi trung gian hòa tan chất dinh dưỡng vô cơ và hữu cơ, giúp các enzyme ngoại bào khuếch tán tự do và tạo điều kiện trao đổi chất qua màng tế bào vi khuẩn.
- Hệ quả khi độ ẩm <40%: Tốc độ khuếch tán enzyme giảm mạnh, màng sinh chất của vi sinh vật bị mất nước, hoạt tính sinh học bị ngưng trệ, khiến khối ủ không sinh nhiệt và quá trình khoáng hóa mùn dừng lại hoàn toàn.
- Hệ quả khi độ ẩm 65-70%: Lượng nước tự do dư thừa lấp đầy hoàn toàn các lỗ rỗng mao dẫn, đẩy toàn bộ khí oxy ra khỏi khối vật liệu. Hệ số khuếch tán của oxy trong nước thấp hơn trong không khí khoảng 10.000 lần, biến toàn bộ khối ủ thành môi trường kỵ khí kỵ khí chỉ sau vài giờ. Lượng nước dư thừa ép rỉ ra ngoài tạo thành dòng nước rỉ rác (leachate) đậm đặc với nồng độ COD, BOD và amoni rất cao, gây thất thoát dinh dưỡng hòa tan và vi phạm nghiêm trọng quy chuẩn xả thải môi trường hiện hành.

Các nguyên vật liệu sử dụng trong phối trộn tham khảo trong phụ lục.

Các nguyên tắc vận hành phối trộn và quản lý mặt bằng kho bãi:

- **Tỷ lệ phối trộn thể tích thực tế:** Trong điều kiện vận hành sản xuất liên tục tại cơ sở khi không thể chờ kết quả phân tích hóa nghiệm từng chuyến xe nguyên liệu, kỹ thuật viên áp dụng công thức phối trộn thể tích kinh nghiệm: sử dụng từ 2 đến 3 thể tích nhóm nâu khô xộp (rom rạ băm nhỏ, trấu hạt, mùn cưa) phối trộn đồng đều với 1 thể tích nhóm xanh giàu đạm (phân gia súc tươi, rác thực phẩm dập, bùn hữu cơ ép).
- **Tuân thủ quy định an toàn sinh thái và vệ sinh thú y:** Tuyệt đối không sử dụng phân gia súc, gia cầm từ các trang trại đang công bố dịch bệnh truyền nhiễm nguy hiểm; không nạp bùn thải công nghiệp. Toàn bộ nguyên liệu có nguồn gốc động vật phải được đưa qua chu trình phân hủy nhiệt hiếu khí với nhiệt độ đo được tại tâm khối ủ duy trì $\geq 55^{\circ}\text{C}$ liên tục tối thiểu trong 3 ngày đêm liên tiếp nhằm loại bỏ hoàn toàn các vi sinh vật gây hại trước khi phối trộn thành phẩm.
- **Quy hoạch và bảo quản cơ chất dự trữ:** Bãi chứa nguyên liệu khô giàu Carbon phải có mái che kiên cố và rãnh thoát nước mặt, phòng ngừa nước mưa ngấm gây thối rửa ngoài ý muốn hoặc tích tụ nhiệt gây tự bốc cháy sinh học. Đối với chất thải thực phẩm tươi và phân chuồng độ ẩm cao, khu tiếp nhận phải được thiết kế nền bê tông chống thấm có bờ bao quanh, có hệ thống thu gom nước rỉ đáy đưa về trạm xử lý nước thải tập trung theo Thông tư 02/2022/TT-BTNMT. Nguyên liệu tươi phải được băm trộn và phối kết hợp cơ chất độn trong vòng 24 giờ kể từ thời điểm tập kết nhằm triệt tiêu mùi hôi và ngăn chặn sự phát triển của ruồi nhặng.

Chuẩn hóa Bước xử lý nguyên liệu đầu và phối trộn theo tỷ lệ chuẩn không chỉ tối ưu hóa hiệu suất gia nhiệt sinh học mà còn đảm bảo sản phẩm mùn hữu cơ cuối cùng đáp ứng toàn diện các quy chuẩn kỹ thuật nghiêm ngặt về phân bón và bảo vệ môi trường của Việt Nam.

Tham khảo: Phương pháp xác định và tính toán kỹ thuật phối trộn theo độ ẩm đơn giản tại hiện trường:

Tại hiện trường sản xuất, công nhân vận hành áp dụng phương pháp kiểm tra cảm quan vắt tay: Lấy một nắm hỗn hợp sau phối trộn từ độ sâu 30-50cm, nắm chặt trong lòng bàn tay khoảng 5 giây:

- Nếu nước chảy thành dòng hoặc nhỏ giọt liên tục qua kẽ ngón tay: Độ ẩm >65%, bắt buộc phải bổ sung vật liệu độn khô hút ẩm.
- Nếu mở bàn tay ra, khối vật liệu rã vụn ngay lập tức, lòng bàn tay khô ráo: Độ ẩm <45%, cần bổ sung thêm nước sạch hoặc dịch thải hữu cơ lỏng.
- Nếu khối vật liệu liên kết chặt chẽ thành hình khối nắm tay, bề mặt xuất hiện ánh nước nhưng không chảy giọt qua kẽ tay: Độ ẩm đạt mức tối ưu 55-60%.

Bước 3: Ủ phân hủy hiếu khí

Bước phân hủy hiếu khí (pha phản ứng nhiệt tích cực) có nhiệm vụ thúc đẩy vi sinh vật tiêu thụ nguồn Carbon để phân giải (đường đơn, tinh bột, protein, lipid, chất béo) để sinh trưởng sinh khối, xử lý một lượng lớn chất hữu cơ để phân hủy và phát sinh lượng nhiệt lớn. Diễn biến sinh học của khối ủ trải qua giai đoạn liên tiếp:

- **Giai đoạn ưa nhiệt vừa ban đầu (25 – 45°C):** Diễn ra trong 24 đến 48 giờ đầu sau khi phối trộn. Quần thể vi khuẩn và nấm ưa nhiệt vừa nhân đàn nhanh chóng, sản sinh nhiệt lượng làm nóng dần khối ủ.
- **Giai đoạn ưa nhiệt cao (55 – 65°C):** Nhiệt độ khối ủ tăng vọt lên trên 55°C, kích hoạt các enzyme phân giải nhiệt của xạ khuẩn và vi khuẩn ưa nhiệt.

Lưu ý: Theo khuyến cáo của EPA, để khử trùng sinh học an toàn, toàn bộ khối ủ phải đạt ngưỡng nhiệt độ từ 55°C đến 65°C liên tục tối thiểu trong 3 ngày đêm (đối với hệ thống sục khí tĩnh hoặc bể ủ có che phủ) hoặc duy trì tối thiểu 15 ngày với ít nhất 5 lần đảo trộn (đối với đống ủ đảo xáo). Mức nhiệt này nhằm tiêu diệt hoàn toàn vi khuẩn đường ruột gây bệnh *Salmonella*, *Escherichia coli*, nang ấu trùng giun sán và làm mất sức nảy mầm của hạt cỏ dại. Khi nhiệt độ vượt quá 65 – 70°C, cần tiến hành can thiệp kỹ thuật (đảo trộn hoặc tăng thông khí) để tránh làm biến tính các enzyme thủy phân hữu ích.

Trong suốt bước này, nồng độ oxy hòa tan trong các khoảng trống mao dẫn của khối vật liệu phải được duy trì tối thiểu lớn hơn hoặc bằng 10% thể tích (tuyệt đối không để tụt xuống dưới 5% nhằm ngăn ngừa hiện tượng phân hủy kỵ khí gây mùi hôi nồng nặc). Độ ẩm đống ủ duy trì ổn định ở mức 50% – 60%.

Tùy thuộc vào điều kiện hạ tầng, quy mô cơ sở và tính chất nguyên liệu, cơ sở xử lý có thể tham khảo áp dụng một trong bốn phương pháp công nghệ sau:

Tiêu chí so sánh	Phương pháp 1: Đồng ủ đảo trộn	Phương pháp 2: Đồng ủ sục khí đối lưu tự nhiên	Phương pháp 3: Bể ủ đối lưu tự nhiên	Phương pháp 4: Đồng ủ / Bể ủ sục khí cưỡng bức
Nguyên lý cấp dưỡng khí (Oxy)	Cấp khí gián đoạn thông qua lực cơ học đảo trộn, tung tời xốp khối ủ để lấp đầy oxy tươi vào các khoang rỗng.	Cấp khí thụ động liên tục nhờ "hiệu ứng ống khói": nhiệt lõi bốc lên tạo áp suất âm, tự hút không khí tươi từ bên ngoài qua đường ống đáy.	Tương tự đồng ủ đối lưu, nhưng khí chỉ đi vào từ hệ thống mao dẫn đáy/sàn nâng và đối lưu xuyên thẳng qua khối vật liệu trong bể kín 3 mặt.	Cấp khí chủ động cưỡng bức bằng quạt thổi áp lực dương (từ đáy lên) hoặc quạt hút áp lực âm (hút từ đáy vào tháp xử lý mùi).
Quy cách hình học & Kết cấu	- Vun luống dài dạng hình thang cân hoặc tam giác cân. - Rộng đáy: 2,5 – 4,0 m; Cao: 1,2 – 1,8 m. - Không cần kết cấu ống hay tường bao.	- Vun đồng luống tĩnh; Rộng: 3,0 – 5,0 m; Cao: 2,0 – 2,5 m. - Đặt mạng ống nhựa HDPE/PVC khoan lỗ so le (Ø 8–12 mm, bước lỗ 150–200 mm) thông ra ngoài khí trời. - Phủ lớp đệm biofilter 15 – 25 cm trên bề mặt.	- Xây bể kiên cố bằng gạch/BTCT 3 vách tường, hở mặt trước. - Rộng: 2,0 – 3,0 m; Dài: 4,0 – 6,0 m; Cao vách: 1,5 – 1,8 m. - Đáy bể có sàn nâng đục lỗ hoặc đặt ống nhựa Ø 110–160 mm khoan lỗ so le vươn cao.	- Bố trí trên sàn phẳng hoặc trong bể kín có lớp phủ biofilter. - Hệ thống mạng lưới ống cấp khí chịu lực, van phân phối và quạt thổi chuyên dụng có rơ-le điều khiển.
Chế độ vận hành kỹ thuật	Đảo định kỳ: 10–14 ngày đầu đảo 2–3 ngày/lần; ngày 15–30 đảo 5–7 ngày/lần.	Khối vật liệu ở trạng thái tĩnh hoàn toàn trong suốt quá trình phân hủy, không cần đảo xáo.	- Khối vật liệu tĩnh trong lòng bể, không cần đảo xáo. - Nạp và xả liệu cơ giới hoặc thủ	Khối vật liệu tĩnh, vận hành tự động bằng rơ-le định thời gian (timer): chạy 3 phút, nghỉ 12 phút (ở pha nhiệt mạnh).

Tiêu chí so sánh	Phương pháp 1: Đồng ủ đảo trộn	Phương pháp 2: Đồng ủ sục khí đối lưu tự nhiên	Phương pháp 3: Bể ủ đối lưu tự nhiên	Phương pháp 4: Đồng ủ / Bể ủ sục khí cưỡng bức
	Luân chuyển lớp ngoài vào tâm nhiệt và lớp nóng trong tâm ra ngoài.	Cần kiểm tra định kỳ để tránh vật liệu bít tắc các cửa thu khí đáy.	công qua cửa trước của bể.	Tự động bật quạt làm mát khi lõi > 65°C hoặc bù khí khi O₂ < 10%.
Yêu cầu đối với cơ chất	- Chấp nhận dải kích thước hạt từ 10 – 50 mm. - Độ xốp trung bình, không quá khắt khe về độ rỗng ban đầu do được đảo xáo định kỳ phục hồi cấu trúc.	- Đòi hỏi độ rỗng thể tích ban đầu rất cao (tối thiểu 40% – 50% khoảng xốp). - Bắt buộc phải có cấu tử đệm cứng (cành cây 30–50 mm, trấu, lõi ngô) để chống sụt lún cơ học.	Đòi hỏi độ rỗng thể tích ban đầu cao tương tự phương pháp đồng ủ đối lưu để duy trì thông thoáng khí tự nhiên.	Kiểm soát độ xốp tốt để luồng khí thổi xuyên đều, tránh hiện tượng tạo kênh khí cục bộ (khí chỉ đi qua chỗ rỗng lớn).
Chu kỳ khử khuẩn diệt mầm bệnh (PFRP)	Duy trì nhiệt độ tâm đồng 55°C trong tối thiểu 15 ngày , đồng thời bắt buộc thực hiện ít nhất 05 lần đảo trộn cơ giới qua tâm nhiệt.	Duy trì nhiệt độ vùng lõi và bán phần 55°C liên tục tối thiểu trong 03 ngày đêm (72 giờ) nhờ có lớp phủ biofilter giữ nhiệt.	Duy trì nhiệt độ 55°C liên tục tối thiểu trong 03 ngày đêm (72 giờ) ; tường bể giúp giữ nhiệt biên rất tốt.	Duy trì nhiệt độ 55°C liên tục tối thiểu trong 03 ngày đêm (72 giờ) ; cảm biến nhiệt tự động điều tiết.
Thời gian phân hủy hiếu khí	Trung bình: 30 – 45 ngày (tùy thuộc tần suất đảo và điều kiện thời tiết).	Kéo dài: 45 – 60 ngày (tốc độ phân giải diễn ra chậm hơn do lưu lượng khí đối lưu phụ thuộc nhiệt độ nội tại).	Trung bình - Chậm: 40 – 50 ngày (nhanh hơn đồng ủ đối lưu tự nhiên nhờ gom khí tập trung).	Rút ngắn tối đa: chỉ còn 20 – 30 ngày (nhờ nồng độ oxy hòa tan và nhiệt độ luôn được duy trì ở mức tối ưu).
Hiệu quả kiểm	Kém nhất: Khí mùi tích tụ trong	Rất tốt: Lớp phủ biofilter (mùn	Tốt: Lớp phủ biofilter kết hợp	Rất tốt / Triệt để: Khí thải áp

Tiêu chí so sánh	Phương pháp 1: Đồng ủ đảo trộn	Phương pháp 2: Đồng ủ sục khí đối lưu tự nhiên	Phương pháp 3: Bể ủ đối lưu tự nhiên	Phương pháp 4: Đồng ủ / Bể ủ sục khí cưỡng bức
soát mùi hôi	khối ủ bị xói tung và phát tán mạnh ra xung quanh theo từng chu kỳ đảo xáo.	chín + trấu hạt) dày 15–25 cm hấp phụ và xử lý từ 85% – 95% khí mùi phát sinh từ bên trong.	tường bao giúp hạn chế tối đa sự phát tán mùi sang các hướng xung quanh.	lực âm có thể thu gom 100% qua đường ống đưa về tháp rửa và bể biofilter tập trung để khử sạch mùi.
Chi phí đầu tư hạ tầng	Rất thấp: Chỉ cần mặt bằng sân bãi bê tông có mái che và hệ thống thoát nước rỉ rác.	Thấp: Cần mặt bằng sân bãi và kinh phí gia công hệ thống mạng ống cấp khí nhựa chịu nhiệt có đục lỗ.	Trung bình: Cần chi phí xây tường bao gạch/bê tông, lắp đặt tấm sàn nâng chịu lực hoặc ống đáy.	Cao: Đòi hỏi kinh phí đầu tư máy quạt thổi áp lực, mạng ống dẫn khí chịu lực, van điều áp, cảm biến và tủ điện tự động hóa.
Chi phí vận hành & Nhân công	Cao: Tốn kém chi phí nhiên liệu chạy máy cơ giới (máy xúc, máy đào) hoặc tiêu hao nhiều công lao động đào thủ công.	Rất thấp: Tiết kiệm 100% chi phí điện năng thổi khí và nhiên liệu cơ giới đảo xáo trong suốt chu trình.	Rất thấp: Không tiêu tốn điện năng cấp khí, không tốn nhiên liệu đảo xáo; chỉ tốn công nạp/xả liệu.	Trung bình - Cao: Tiêu hao điện năng vận hành quạt thổi liên tục/ngắt quãng và chi phí bảo trì cơ điện, chống nghẹt ống.
Ưu điểm nổi bật	- Dễ làm, tính linh hoạt cao, tận dụng ngay máy móc sẵn có tại địa phương. - Khả năng đồng nhất cơ chất và phá vỡ cục vón rất cao.	- Không tốn điện, không tốn công đảo xáo. - Không phát sinh mùi hôi nhờ lớp biofilter tự nhiên. - Bảo toàn cấu trúc viên mùn.	- Tiết kiệm diện tích bãi chứa hơn đồng ủ. - Giữ nhiệt tốt, không bị gió lạnh làm nguội sườn đồng, luồng khí cấp đi vào trọng tâm.	- Chu kỳ xử lý nhanh nhất. - Kiểm soát thông số (O₂, nhiệt độ) chuẩn xác nhất. - Khí thải được thu gom xử lý tập trung đạt chuẩn môi trường.

Tiêu chí so sánh	Phương pháp 1: Đồng ủ đảo trộn	Phương pháp 2: Đồng ủ sục khí đối lưu tự nhiên	Phương pháp 3: Bể ủ đối lưu tự nhiên	Phương pháp 4: Đồng ủ / Bể ủ sục khí cưỡng bức
Nhược điểm / Thách thức	- Tốn diện tích sân bãi. - Phát tán mùi mạnh mỗi lần đảo. - Dễ mất nhiệt nếu thời tiết rét hoặc luồng ủ kích thước nhỏ.	- Tốc độ ủ chậm nhất. - Bắt buộc khâu phối trộn phải có cấu tử xơ cứng tạo khung; nếu cơ chất ẩm ướt dính sẽ làm tắc đối lưu khí.	- Tốn chi phí xây dựng ban đầu. - Thao tác nạp và xả mùn ra khỏi bể cần bố trí phù hợp để cơ giới tiếp cận.	- Chi phí đầu tư ban đầu cao. - Phụ thuộc vào nguồn điện liên tục. - Đòi hỏi kỹ thuật viên nắm vững vận hành thiết bị cơ điện.
Đối tượng / Mô hình phù hợp	Cụm hộ gia đình, hợp tác xã hoặc nông trại có sẵn diện tích bãi rộng, có sẵn máy xúc/máy cày hoặc nhân công lao động dồi dào.	Cụm hộ gia đình, trang trại nông nghiệp sinh thái, hợp tác xã vùng nông thôn có nguồn phụ phẩm thô xơ dồi dào, cần giảm tối đa chi phí điện năng và công vận hành.	Cụm hộ liên kết, trạm xử lý chất thải cấp thôn/xã có diện tích đất hạn chế, muốn gom gọn khu ủ vào công trình kiên cố, ngăn nắp.	Hợp tác xã kiểu mới, trạm xử lý rác tập trung quy mô lớn có nguồn lực tài chính, yêu cầu thời gian quay vòng mẻ ủ nhanh và nằm gần khu dân cư cần không chế mùi tuyệt đối.

Phương pháp 1: Đồng ủ đảo trộn

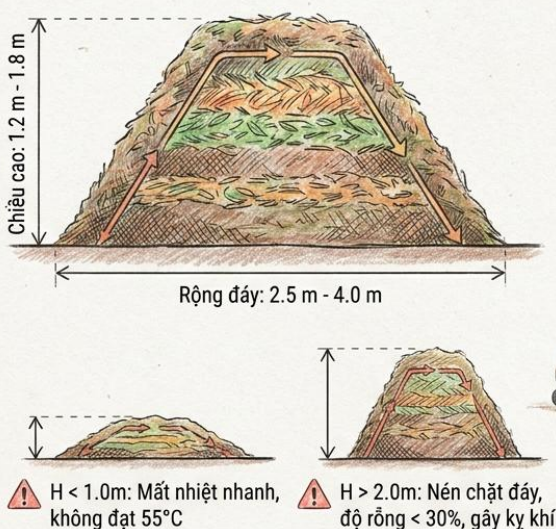
Phương pháp đồng ủ đảo trộn là công nghệ truyền thống dựa trên việc định kỳ sử dụng cơ giới để xới tung, đảo lộn khối vật liệu, qua đó tái tạo các lỗ rỗng mao dẫn, cung cấp oxy tươi và đồng nhất nhiệt ẩm. Đồng ủ được xúc dần từ trên xuống dưới đổ dần sang bên cạnh để tạo thành một đồng ủ mới ngay bên cạnh đồng ủ ban đầu.

- Quy cách hình học luống ủ:
 - Tiết diện: Luống ủ được vun thành dạng dải dài có mặt cắt hình thang cân hoặc tam giác cân.
 - Kích thước: Chiều rộng đáy từ 2,5 đến 4,0 m; chiều cao đỉnh đồng từ 1,2 đến 1,8 m; chiều dài luống kéo dài theo mặt bằng bãi ủ.

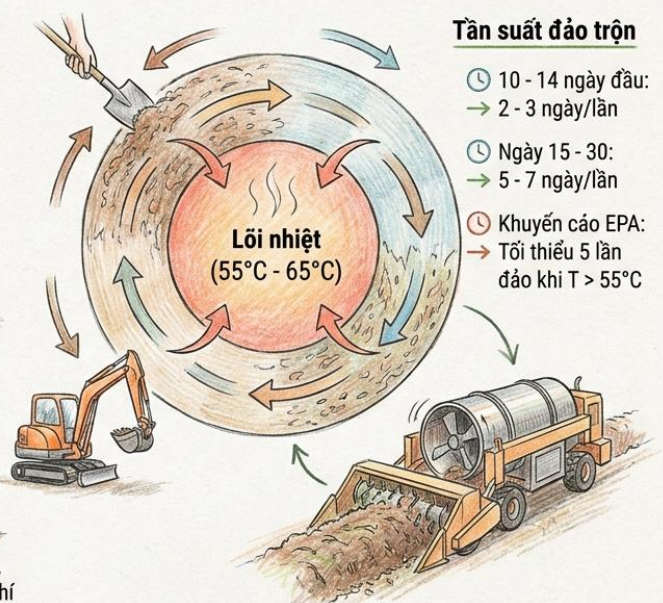
- Giới hạn kỹ thuật: Chiều cao luống không được vượt quá 2,0 m vì trọng lượng bản thân của vật liệu sẽ nén chặt lớp đáy, làm giảm độ rỗng xuống dưới 30% và gây kỵ khí cục bộ; đồng thời chiều cao không được thấp hơn 1,0 m để tránh hiện tượng diện tích tỏa nhiệt quá lớn khiến đồng ủ mất nhiệt nhanh, không đạt được ngưỡng 55°C theo tiêu chuẩn khử trùng.
- Chế độ và thiết bị vận hành đảo trộn: Tùy thuộc vào điều kiện sẵn có, cơ sở có thể đảo trộn bằng thủ công, đảo trộn bằng máy xúc sẵn có của địa phương hoặc sử dụng các máy đảo trộn chuyên dụng thương mại.
- Nguyên lý đảo: Cơ cấu cào bới xúc lớp vật liệu bên ngoài (vỏ nguội và khô do tiếp xúc không khí) đưa vào tâm lõi đồng ủ, đồng thời hất tung lớp vật liệu nóng ẩm trong lõi ra phía ngoài nhằm luân chuyển toàn bộ thể tích vật liệu qua tâm nhiệt.
- Tần suất đảo trộn: Trong 10 – 14 ngày đầu (pha ưa nhiệt bùng phát), tiến hành đảo xáo với chu kỳ 2 – 3 ngày/lần. Giai đoạn từ ngày 15 đến ngày 30, giãn tần suất đảo ra 5 – 7 ngày/lần tùy thuộc vào số liệu quan trắc nhiệt độ tâm đồng. Theo khuyến cáo của EPA, khối ủ phải bảo đảm có tối thiểu 5 lần đảo trộn trong thời gian nhiệt độ duy trì trên 55°C.

PHƯƠNG PHÁP 1: ĐỒNG Ủ ĐẢO TRỘN (Ủ PHÂN HỦY HIẾU KHÍ)

Quy cách hình học luống ủ



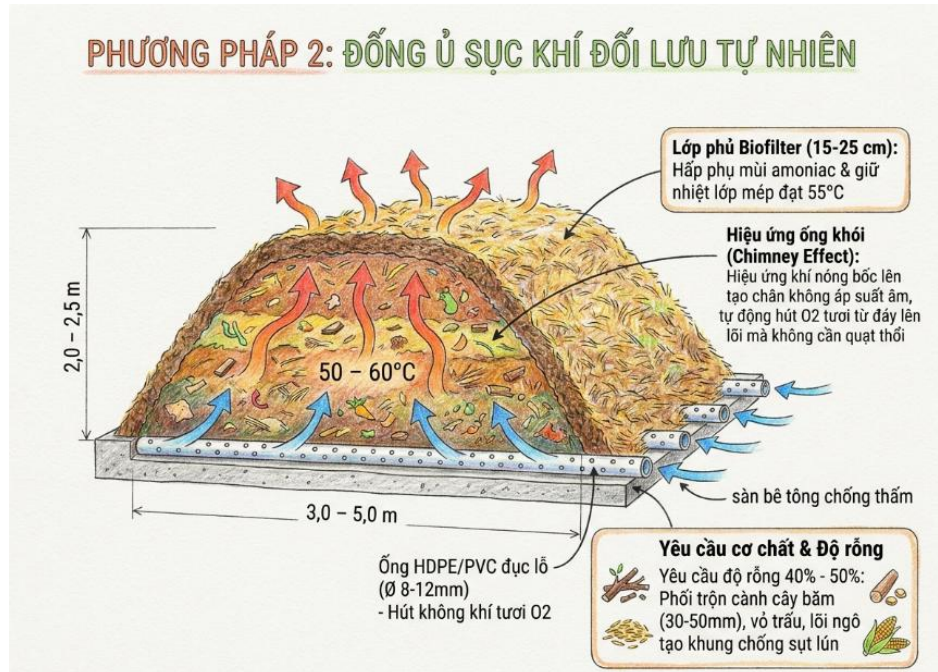
Nguyên lý & Tần suất đảo trộn



Phương pháp 2: Đồng ủ sục khí đối lưu tự nhiên

Phương pháp đồng ủ sục khí đối lưu tự nhiên là công nghệ duy trì khối vật liệu ở trạng thái tĩnh, oxy được cấp liên tục dựa trên cơ chế đối lưu nhiệt vi sinh học tự nhiên (Hiệu ứng ống khói).

- Quy cách hình học và lớp phủ bảo vệ:
 - Kích thước: Chiều rộng đáy đồng ủ từ 3,0 đến 5,0 m; chiều cao từ 2,0 đến 2,5 m; chiều dài thiết kế theo module phân phối khí.
 - Lớp đệm cách nhiệt và lọc sinh học: Bề mặt đồng ủ bắt buộc phải được phủ một lớp vật liệu đệm sinh học dày 15 – 25 cm (sử dụng mùn thành phẩm đã ủ chín, trấu hạt hoặc rơm rạ khô). Lớp phủ này đóng vai trò như một tháp lọc sinh học (biofilter) tại chỗ giúp hấp phụ amoniac và mùi hôi phát sinh từ lõi, đồng thời ngăn hiện tượng tiêu tán nhiệt qua bề mặt, bảo đảm toàn bộ lớp vật liệu sát mép ngoài cũng đạt ngưỡng nhiệt độ diệt mầm bệnh 55°C.
 - Cấu tạo hệ thống phân phối khí: Mạng lưới ống nhựa HDPE, ống PVC chịu nhiệt khoan lỗ so le (đường kính lỗ 8 – 12 mm, bước lỗ 150 – 200 mm) đặt trực tiếp trên mặt sàn bê tông chống thấm, hai đầu ống thông thẳng ra ngoài khí trời và vươn cao như ống khói.
- Nguyên lý khí động lực học và hiệu ứng ống khói:
 - Trong quá trình vi sinh vật phân hủy chất hữu cơ, nhiệt lượng lớn sinh ra làm nóng khối cơ chất bên trong lõi bề lên 50 – 60°C.
 - Khối không khí nóng và hơi ẩm ở vùng lõi giãn nở nhiệt, khối lượng riêng giảm đi và bốc lên phía trên, thoát ra ngoài qua bề mặt thoáng của đồng ủ.
 - Sự bốc thoát này hình thành một vùng chân không áp suất âm tương đối tại vùng trung tâm ống, kéo theo dòng không khí mát giàu oxy từ khí quyển bên ngoài tự động hút qua các cửa ống thông hơi đáy, khuếch tán thẳng đứng từ dưới lên lõi bề để cấp dưỡng khí cho vi sinh vật một cách liên tục mà không cần bất kỳ động cơ thổi khí cưỡng bức nào.



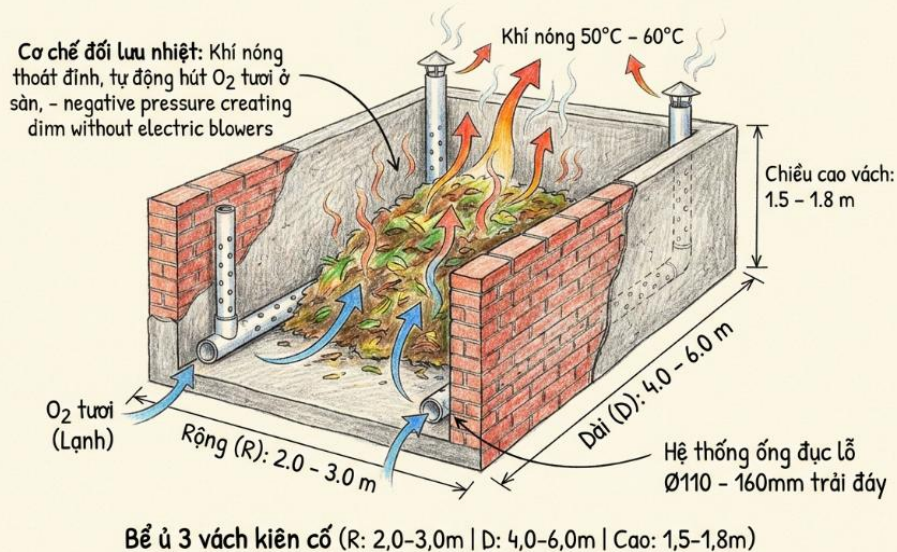
- **Yêu cầu kỹ thuật đặc thù đối với cơ chất:** Để duy trì dòng đối lưu tự nhiên không bị gián đoạn, hỗn hợp nguyên liệu phối trộn bắt buộc phải có độ rỗng thể tích ban đầu rất cao (tối thiểu 40% – 50% thể tích khoảng xốp). Khối ủ đòi hỏi sự hiện diện của các cấu tử đệm có tính cứng cơ học như cành cây băm khúc (30 – 50 mm), vỏ trấu nguyên hạt hoặc lõi ngô nhằm giữ vững khung đồng ủ không bị sụt lún cơ học khi ngâm nước.

Phương pháp 3: Bể ủ đối lưu tự nhiên

Phương pháp bể ủ đối lưu tự nhiên tương tự như đồng ủ đối lưu tự nhiên. Điểm khác biệt giữa 2 phương pháp là thay vì tạo thành đồng ủ, trong phương pháp bể ủ, chất thải hữu cơ sẽ được chất trong các bể ủ.

- Quy cách xây dựng bể và lắp đặt phụ trợ:
 - Kết cấu bể: Bể ủ được xây dựng kiên cố bằng tường gạch hoặc bê tông cốt thép gồm 3 vách bao quanh, để hở mặt trước phục vụ nạp và xả liệu. Kích thước bể thông dụng: chiều rộng 2,0 – 3,0 m, chiều dài 4,0 – 6,0 m và chiều cao vách tường 1,5 – 1,8 m.
 - Hệ thống mao dẫn khí đáy: Mặt sàn bể được thiết kế dạng sàn nâng bằng bê tông đục lỗ hoặc lắp đặt hệ thống ống thông hơi bằng nhựa đục lỗ so le (đường kính ống 110 – 160 mm) trải dài từ cửa bể vào sâu bên trong đáy bể, hai đầu ống thông thẳng ra ngoài khí trời và vươn cao như ống khói.
- Nguyên lý khí động lực học và hiệu ứng ống khói:
 - Tương tự phương pháp đồng ủ, nhưng hiệu quả hơn.

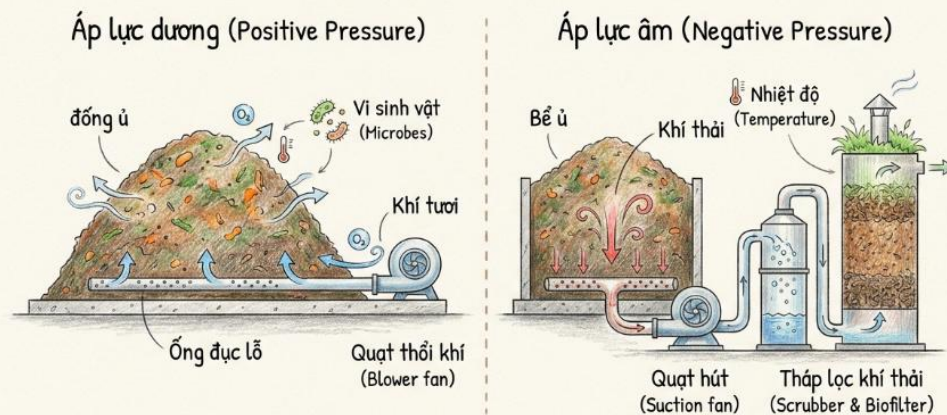
PHƯƠNG PHÁP 3: BỂ Ủ ĐỔI LƯU TỰ NHIÊN



Phương pháp 4: Đồng ủ / bể ủ sục khí cưỡng bức

Phương pháp đồng ủ / bể ủ sục khí cưỡng bức tương tự như phương pháp đồng ủ / bể ủ đổi lưu nêu trên, tuy nhiên, thay vì để không khí đổi lưu tự nhiên, không khí được lưu thông bằng một thiết bị thổi khí định kỳ.

Phương pháp 4: Đồng ủ / bể ủ sục khí cưỡng bức



- Lưu lượng khí thiết kế: 30 - 50 m³/tấn chất khô/giờ
- Chu kỳ tự động (Timer/ Cảm biến T° & O₂): Bật 3 phút - Nghỉ 12 phút (Hệ số 20%)
- Kích hoạt làm mát khi T° > 65°C hoặc cấp O₂ khi Nồng độ O₂ < 10%
- Phun bổ sung vi sinh họ Bacillus khi thời tiết lạnh

- Quy cách hình học và lớp phủ bảo vệ:

- Tương tự phương pháp đông ủ và bể ủ đôi lưu tự nhiên.
- Hệ thống cấp khí và chu kỳ điều khiển:
 - Chế độ sục khí: Áp dụng phương thức cấp khí áp lực dương (quạt thổi luồng khí từ đáy xuyên qua đông ủ thoát lên trên) hoặc áp lực âm (quạt hút khí từ đáy đông ủ gom về hệ thống tháp rửa và bể lọc sinh học tập trung).
 - Định mức và chu kỳ cấp khí: Lưu lượng khí thiết kế duy trì từ 30 đến 50 m³ không khí/tấn chất khô/giờ. Quạt thổi vận hành tự động theo rơ-le định thời gian (timer) hoặc tích hợp cảm biến nhiệt độ - oxy. Ở pha nhiệt mạnh, chu kỳ vận hành phổ biến là chạy quạt 3 phút, dừng nghỉ 12 phút (hệ số hoạt động 20%). Khi cảm biến ghi nhận nhiệt độ tâm đông vượt quá 65°C, hệ thống tự động chuyển sang chế độ thổi khí cưỡng bức liên tục để làm mát đối lưu giải phóng nhiệt dư thừa; khi nồng độ oxy giảm xuống dưới 10%, hệ thống tự động kích hoạt quạt để bù lượng dưỡng khí tiêu hao.

Lưu ý: Trong giai đoạn này, việc bổ sung thêm các chế phẩm vi sinh là không bắt buộc, đặc biệt là khi nguyên liệu đã được xử lý đầy đủ. Tuy nhiên, trong trường hợp điều kiện cho phép về tài chính, thời tiết xuống quá thấp khiến khối ủ không thể đạt đến nhiệt độ cần thiết, có thể xem xét phun bổ sung thêm các chế phẩm vi sinh trên nền tảng họ vi khuẩn *Bacillus*. Khi sử dụng chế phẩm vi sinh, cần tuân thủ chính xác các hướng dẫn của nhà sản xuất. Danh mục các chế phẩm vi sinh tham khảo Phụ lục.

Bước 4: Xử lý chuyển tiếp

Bước 4: Xử lý chuyển tiếp



Quá trình xử lý chuyển từ **Bước 3-Ủ phân hủy hiếu khí** sang **Bước 5 - Ủ chín** được triển khai khi nguồn hữu cơ dễ phân giải đã được chuyển hóa phần lớn, khối ủ đã hoàn thành quá trình khử trùng diệt mầm bệnh và cơ chất đã sẵn sàng cho pha mùn hóa ổn định. Để xác định được thời điểm này, kỹ thuật viên vận hành cần thực hiện **Bước 4 – Xử lý chuyển tiếp** với quy trình kiểm tra 3 bước dưới đây. Nếu chưa đạt, cần tiếp tục **Bước 3** cho đến khi đạt yêu cầu.

• **Bước 1: Kiểm tra lịch sử gia nhiệt và thử nghiệm tái sinh nhiệt**

Đây là tiêu chí kiểm tra quan trọng hàng đầu để xác định hoạt tính của pha phân hủy nhiệt mạnh đã kết thúc hay chưa:

- **Kiểm tra lịch sử nhiệt:** Đối soát nhật ký quan trắc để đảm bảo khối ủ đã đáp ứng đầy đủ điều kiện khử trùng sinh học theo khuyến nghị của EPA: nhiệt độ vùng tâm đống phải đạt từ 55°C đến 65°C liên tục tối thiểu trong 3 ngày đêm (đối với hệ thống sục khí hoặc bể ủ) hoặc duy trì qua tối thiểu 5 lần đảo xáo cơ giới (đối với đống ủ đảo trộn).
- **Quan sát sự suy giảm nhiệt độ:** Nhiệt độ khối ủ phải hạ dần tự nhiên từ mức ưa nhiệt (> 55°C) xuống mức ưa ấm (dưới 40°C – 45°C) và giữ xu hướng ổn định trong 48 – 72 giờ.

- **Thực hiện thử nghiệm tái sinh nhiệt:** Tiến hành cấp khí tăng cường hoặc đảo xáo toàn bộ khối ủ để cấp oxy mới và bổ sung ẩm (nếu đồng ủ quá khô). Nếu sau khi đảo 24 – 48 giờ mà nhiệt độ tại tâm đồng không tăng vọt trở lại ngưỡng trên 50°C, điều đó chứng minh nguồn đường, tinh bột và protein dễ phân giải đã cạn kiệt, vì sinh vật ưa nhiệt đã ngừng tăng sinh.

- **Bước 2: Kiểm tra các chỉ tiêu cảm quan hiện trường**

Đánh giá nhanh trạng thái vật lý của nguyên liệu bằng trực quan và khứu giác:

- **Mùi của đồng ủ:** Khối vật liệu mất hoàn toàn mùi chua của axit hữu cơ bay hơi, không còn mùi hôi thối kỵ khí và không còn mùi khai nồng nặc của amoniac tự do (NH₃). Mùi chuyển dịch sang mùi ẩm thoang thoảng hoặc mùi đất ngai ngái nhẹ.
- **Màu sắc vật liệu:** Hỗn hợp chuyển từ màu nguyên liệu tươi (xanh lá của rau củ, vàng sáng của rơm rạ) sang màu nâu sẫm, nâu cánh gián đồng nhất.
- **Độ to xốp và cấu trúc mô thực vật:** Các mảnh rác thực phẩm và phụ phẩm mềm đã mủn nát, mất hình thái ban đầu; các sợi xơ cứng (rơm rạ, thân cây băm) trở nên mềm, dễ bị bẻ gãy khi dùng tay bóp nhẹ.
- **Độ sụt lún thể tích:** Thể tích tổng thể của đồng ủ đã sụt giảm từ 30% đến 50% so với thời điểm nạp liệu ban đầu do sự tiêu hao sinh khối Carbon dưới dạng khí CO₂ và thoát hơi nước.

- **Bước 3: Kiểm tra độ ẩm và độ thông khí của khối cơ chất**

Độ ẩm trong giai đoạn chuyển tiếp cần được kiểm soát nhằm tránh việc đồng ủ bị khô kiệt làm ngưng trệ quá trình mùn hóa ở giai đoạn 2:

- Độ ẩm mục tiêu tại thời điểm chuyển: Dao động trong khoảng 40% – 50%.
- Nếu độ ẩm còn quá cao (> 55% – 60%): Khối vật liệu cần được đảo xáo to xốp để hơi nước bốc thoát bớt ra ngoài trước khi vun thành đồng ủ chín kích thước lớn.
- Nếu độ ẩm quá khô (< 35% – 40%): Cần phun sương bổ sung nước sạch trong quá trình chuyển khối để tạo độ ẩm tối ưu cho quần thể xạ khuẩn và nấm hoại sinh hoạt động trong giai đoạn ủ chín.

Phương pháp đo: Dùng máy đo độ ẩm cầm tay cắm sâu 40 – 60 cm tại 3 – 5 điểm khác nhau của đồng ủ, hoặc kiểm tra nhanh bằng phương pháp vắt tay (khi nắm chặt, vật liệu kết khối tạo hình nhưng không có nước rỉ giọt qua kẽ ngón tay).

- **Bảng tiêu chí kỹ thuật quyết định chuyển giai đoạn**

Thông số kiểm tra	Ngưỡng đạt chuẩn để chuyển sang Ủ chín	Biện pháp xử lý nếu chưa đạt
Nhiệt độ tâm khối	Giảm xuống $< 40^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}$; không tự nóng lại sau khi đảo xáo.	Nếu còn $> 50^{\circ}\text{C}$: Tiếp tục duy trì sục khí/đảo trộn của Giai đoạn 1.
Lịch sử diệt khuẩn	Duy trì liên tục $\geq 55^{\circ}\text{C}$ tối thiểu 3 ngày (sục khí) hoặc qua 5 lần đảo.	Nếu chưa đủ thời gian: Phải ủ nhiệt thêm.
Mùi cảm quan	Không còn mùi chua, mùi thối kỵ khí, mùi khai nồng nặc.	Còn mùi hôi: Thiếu khí, cần đảo xáo và kiểm tra lại hệ thống cấp khí.
Màu sắc & cấu trúc	Màu nâu thẫm; rác thực phẩm phân rã, xơ mềm mục, thể tích sụt 30% – 50%.	Còn nguyên hình dạng tươi: Kéo dài thời gian phân hủy hiếu khí.
Độ ẩm đồng ủ	Đạt 40% – 50%.	$> 60\%$: Đảo xáo để làm khô; $< 35\%$: Tưới bổ sung ẩm khi chuyển.

Khi khối vật liệu đáp ứng đầy đủ các tiêu chuẩn tại bảng trên, quy trình vận hành được chuyển sang **Bước 5- Ủ chín** bằng cách gom đồng kích thước lớn hơn và giảm công suất thông khí nhằm ổn định chất lượng mùn hữu cơ.

Bước 5- Ủ chín

Sau khi quá trình phân hủy hiếu khí tích cực hoàn tất (nguồn dinh dưỡng dễ phân giải đã cạn kiệt, đồng ủ không còn khả năng tự sinh nhiệt cao trên 50°C), khối vật liệu được chuyển sang bước Ủ chín. Đây là giai đoạn quyết định tính ổn định hóa sinh và hình thành phức hệ mùn thực thụ. Mục tiêu và biến đổi hóa sinh trong giai đoạn ủ chín:

- Hạ nhiệt và chuyển dịch quần thể vi sinh vật: Nhiệt độ khối ủ giảm dần từ pha ưa nhiệt cao về pha ưa nhiệt vừa ($35 - 45^{\circ}\text{C}$) rồi ổn định tiệm cận nhiệt độ môi trường tự nhiên ($25 - 35^{\circ}\text{C}$). Quần thể vi khuẩn ưa nhiệt dần nhường chỗ hoàn toàn cho các loài nấm hoại sinh, xạ khuẩn (*Streptomyces*) và vi khuẩn phân giải cellulose chậm.
- Mùn hóa và hình thành hợp chất hữu cơ bền vững: Quần thể vi sinh vật thực hiện quá trình khoáng hóa các thành phần xơ cứng còn sót lại (lignin, hemicellulose), đồng thời ngưng tụ các mảnh monomer hữu cơ thành các phức hệ axit humic và

axit fulvic có hoạt tính sinh học cao, giúp cải tạo kết cấu đất trồng trọt theo định hướng TCVN 7185:2002.

- Tiêu tán độc tính thực vật: Quá trình ủ chín giúp oxy hóa triệt để các axit hữu cơ bay hơi mạch ngắn (axit axetic, propionic, butyric) và các hợp chất phenolic – những chất vốn có độc tính gây ức chế hô hấp của đầu rễ non và cản trở sự nảy mầm của hạt giống cây trồng.

Nhu cầu cung cấp oxy trong giai đoạn ủ chín giảm đi đáng kể (chỉ bằng 15% – 25% so với giai đoạn phân hủy mạnh), tuy nhiên vẫn phải duy trì điều kiện thoáng khí hiệu quả nhằm tránh tái tạo môi trường kỵ khí. Quá trình ủ chín được triển khai theo hai nhóm phương pháp kỹ thuật chính:

Phương pháp 1: Đồng ủ đảo trộn

Bước 5, Phương pháp 1: Đồng ủ đảo trộn

Bố trí mặt bằng & Quy cách đồng ủ chín lớn



Chế độ vận hành & Kiểm soát thông số

- Tần suất đảo xáo: 10 - 15 ngày/lần**
(giãn thưa chu kỳ)
- Thời gian lưu ủ chín: 30 - 45 ngày**
- Mục tiêu công nghệ:**
 - Giải phóng hơi ẩm & nhiệt dư**
(Hạt độ ẩm < 30%)
 - Cung cấp O₂ nuôi dưỡng xạ khuẩn & nấm hoại sinh tổng hợp mùn**
 - Phun bổ sung vi sinh vật chức năng** (cố định đạm, phân giải lân, nấm đối kháng; mật độ $\geq 1 \times 10^6$ CFU/g theo TCVN 7185:2002)

Phương pháp đảo trộn trong giai đoạn ủ chín được áp dụng tại các cơ sở có diện tích kho bãi rộng hoặc có sẵn máy móc cơ giới đảo xáo luống.

• Bố trí mặt bằng và quy cách đồng ủ:

- Do khối ủ không còn sinh nhiệt quá cao gây nguy cơ tự bốc cháy sinh học, cơ sở có thể gộp nhiều luống phân hủy ở giai đoạn 1 lại thành các đồng ủ chín có kích thước lớn hơn để tối ưu hóa diện tích nhà kho bảo quản.

- Kích thước đồng ủ chín: Chiều rộng đáy từ 4,0 đến 6,0 m; chiều cao vun đồng từ 2,0 đến 2,5 m; bố trí trên nền bê tông có mái che bảo vệ tránh mưa ngập.
- **Chế độ vận hành và kiểm soát thông số:**
 - Tần suất đảo xáo: Giãn thưa chu kỳ đảo xuống 10 – 15 ngày/lần hoặc chỉ tiến hành đảo khi độ ẩm cục bộ phân bố không đều.
 - Mục tiêu công nghệ của việc đảo xáo giai đoạn ủ chín:
 - Giải phóng triệt để lượng hơi ẩm và nhiệt dư thừa tích tụ bên trong lõi đồng ủ ra môi trường khí quyển, hỗ trợ làm khô tự nhiên để đưa độ ẩm hạ dần về mức mục tiêu dưới 30%.
 - Cung cấp lượng oxy vừa đủ nuôi dưỡng quần thể xạ khuẩn và nấm hoại sinh tổng hợp mùn.
 - Tạo điều kiện thuận lợi để phun bổ sung các chủng vi sinh vật chức năng tuyển chọn (vi sinh vật cố định đạm tự do, vi sinh vật phân giải photpho khó tan, nấm đối kháng phòng trừ nấm bệnh cây trồng) với mật độ đạt tối thiểu 1×10^6 CFU/g theo quy chuẩn kỹ thuật TCVN 7185:2002 trước khi xuất xưởng.
 - Thời gian lưu ủ chín: Kéo dài từ 30 đến 45 ngày.

Phương pháp 2: Đồng ủ / Bể ủ sục khí hoặc đôi lưu tự nhiên

Bước 5, Phương pháp 2: Đồng ủ / Bể ủ sục khí hoặc đối lưu tự nhiên



Phương pháp giữ đồng ủ tĩnh kết hợp sục khí gián đoạn hoặc đối lưu tự nhiên là giải pháp kỹ thuật tối ưu hóa chi phí năng lượng, đồng thời bảo toàn trọn vẹn cấu trúc viên mùn sinh học và hạn chế phát tán bụi bẩn ra môi trường xung quanh.

• Chế độ vận hành đồng ủ sục khí gián đoạn:

- Khối vật liệu được lưu giữ trên hệ thống sản cấp khí của giai đoạn 1 hoặc chuyển sang module sản sục khí tĩnh khu vực ủ chín riêng biệt.
- Hiệu chỉnh lưu lượng và tần suất: Công suất và lưu lượng quạt cấp khí được cắt giảm xuống chỉ còn 15% – 20% so với định mức của Giai đoạn 1. Quạt thổi chỉ được kích hoạt vận hành ngắt quãng với chu kỳ ngắn (chạy từ 1 đến 2 phút sau mỗi khoảng nghỉ 45 – 60 phút).
- Kiểm soát chống sốc khô: Việc cấp khí ở chế độ rất nhẹ nhằm duy trì môi trường hiếu khí vừa đủ cho hệ xạ khuẩn hoạt động, tránh hiện tượng quạt thổi quá mạnh làm đồng ủ mất nước đột ngột (độ ẩm tụt xuống dưới 40% quá sớm) khiến vi sinh vật có ích bị chết hoặc ngừng hoạt động sinh học trước khi hoàn tất chu trình mùn hóa.

• Chế độ vận hành đồng ủ đối lưu tự nhiên:

- Khối vật liệu được vun thành các đồng ủ dạng luống thoải hoặc chóp tròn trên mặt sàn khô ráo có mái che kiên cố.
- Bố trí ống thoát khí thụ động: Trong quá trình chất đồng, công nhân cắm các cọc tre, ống nhựa đục lỗ dựng đứng hoặc đặt các ống ngang ở đáy đồng ủ. Sự chênh lệch nhiệt độ nhẹ giữa bên trong đồng ủ (35 – 40°C) và nhiệt độ môi trường ngoài (25 – 30°C) tiếp tục tạo ra dòng đối lưu khuếch tán không khí chậm rãi qua các lỗ rỗng mao dẫn.
- Bảo vệ hệ sợi nấm và kết cấu mùn: Trạng thái tĩnh hoàn toàn không bị xới đảo tạo môi trường lý tưởng cho mạng lưới sợi nấm (*mycelium*) và xạ khuẩn phát triển lan tỏa dày đặc và phân hủy hoàn toàn các chất hữu cơ còn sót lại. Các sợi nấm này kết nối các mảnh mùn vun, nhờ đó triệt tiêu hầu hết sự phát sinh bụi hữu cơ trong cơ sở và tiết kiệm 100% điện năng cấp khí trong suốt 30 – 40 ngày ủ chín.

Kết thúc Bước- Ủ chín, khối mùn hữu cơ về cơ bản đã được xử lý xong và được đưa vào thu hoạch.

Lưu ý: Trong giai đoạn ủ chín, việc bổ sung thêm các chế phẩm vi sinh là không bắt buộc, đặc biệt là khi nguyên liệu đã được kiểm tra ủ phân hủy hiếu khí đầy đủ. Tuy nhiên, trong trường hợp điều kiện cho phép về tài chính, thời tiết xuống quá thấp khiến tốc độ ủ chín chậm lại, có thể xem xét phun bổ sung thêm các chế phẩm vi sinh trên nền tảng các hệ nấm phân hủy như *Trichoderma*. Khi sử dụng chế phẩm vi sinh, cần tuân thủ chính xác các hướng dẫn của nhà sản xuất. Danh mục các chế phẩm vi sinh tham khảo Phụ lục.

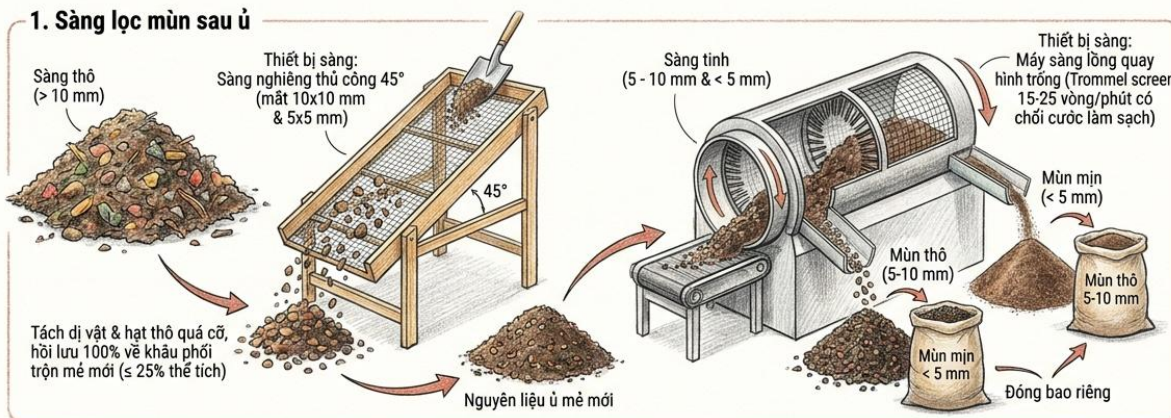
Bước 6 - Thu hoạch

Các công việc chính trong bước 6 bao gồm:

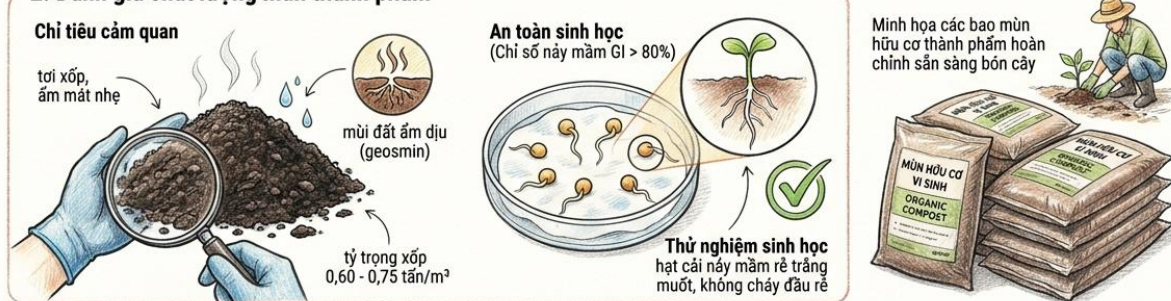
- Sàng lọc mùn sau ủ
- Đánh giá chất lượng mùn

Bước 6 - Thu hoạch

1. Sàng lọc mùn sau ủ



2. Đánh giá chất lượng mùn thành phẩm



Các bước cụ thể được tiến hành như sau:

Bước 1 - Sàng lọc mùn sau ủ

Khối mùn sau quá trình xử lý là một hệ phân tán thô gồm các hạt mùn keo giàu dinh dưỡng đan xen với các mảnh vụn gỗ, xơ thực vật chưa phân giải hết, vỏ trấu tro và một tỷ lệ nhỏ dị vật cơ học ngoại lai. Sau khi xử lý, cần có Bước sàng lọc cơ học nhằm tách biệt các dải kích thước hạt để phục vụ từng mục đích canh tác riêng biệt, đồng thời giải phóng lượng hơi ẩm dư thừa và hỗ trợ làm nguội đồng đều sinh khối.

Quy trình sàng lọc:

Bước 1 - Sàng thô: Mục đích của bước này là loại bỏ các khối mùn và dị vật có kích thước trên 10mm. Khối mùn và dị vật sau đó được tách riêng bằng thủ công hoặc bằng máy. Dị vật được tách riêng và chuyển sang xử lý theo quy trình riêng. Toàn bộ lượng khối mùn thô còn lại này được hồi lưu 100% về khu vực phối trộn nguyên liệu đầu vào của các mẻ ủ mới với tỷ lệ phối trộn **không quá 25% tổng thể tích khối ủ**.

Bước 2 - Sàng tinh: Mục đích của bước này là tách riêng các hạt mùn có kích thước từ 5mm-10mm (mùn thô) với các hạt có kích thước nhỏ hơn (mùn mịn). Đối với các hạt mùn 5-10mm, tiếp tục tiến hành rà soát để tách dị vật còn sót lại để xử lý riêng. Sau các bước

trên, các hạt mùn thô và mịn này sau đóng bao riêng và sử dụng vào các mục đích khác nhau tùy theo nhu cầu trồng trọt riêng.

Lựa chọn và vận hành thiết bị sàng lọc:

Tùy thuộc vào điều kiện tại địa phương, cơ sở có thể lựa chọn các phương pháp sàng dưới đây:

- Sàng thủ công: Sử dụng sàn lưới thép đặt nghiêng góc 45°, kích thước mắt lưới 10x10mm cho bước sàng thô, và kích thước mắt lưới 5mx5mm cho bước sàng tinh.
- Sàng bằng máy: Căn cứ vào công suất xử lý của cụm hộ gia đình (từ 500 kg đến 5 tấn mùn/ngày), thiết bị sàng lồng quay hình trống là giải pháp cơ giới hóa phù hợp nhất nhờ tính ổn định, ít phát tán bụi và không bị rung lắc mạnh nền móng. Máy cấu tạo bởi lồng thép đục lỗ hoặc lưới thép đan xoay tròn quanh trục nghiêng từ 3° đến 5°, đường kính trống từ 600 đến 800 mm, chiều dài lồng sàng từ 1,5 đến 2,5 m, dẫn động bởi motor giảm tốc công suất 1,5 – 2,2 kW. Tốc độ quay của lồng được hiệu chỉnh ở mức 15 – 25 vòng/phút. Khi mùn được cấp vào cửa nạp, chuyển động quay cuốn vật liệu lên cao rồi rơi tự do xuống đáy lồng, giúp xé toạc các cục vón ẩm; hạt đạt kích thước lọt qua lưới rơi vào phễu chứa bên dưới, còn phần hạt thô quá cỡ di chuyển dọc theo chiều dài trống và thoát ra ngoài ở đuôi lồng. Mặt ngoài lồng sàng được bố trí một trục chổi cước xoay quét liên tục để gạt sạch các thớ xơ dính ướt, ngăn ngừa hiện tượng bít tắc lỗ sàng khi mùn có độ ẩm dao động gần ngưỡng 30%.

Một số máy sàng do Việt Nam sản xuất tham khảo trong phần phụ lục.

Bước 2: Đánh giá chất lượng mùn ủ

Trước khi phân phối sử dụng hoặc lưu thông đóng bao, chất lượng mùn hữu cơ phải được kiểm định chặt chẽ thông qua các chỉ tiêu cảm quan trực tiếp, thử nghiệm sinh học độc tính thực vật và phân tích đối soát với các ngưỡng quy chuẩn kỹ thuật quốc gia hiện hành¹.

Chỉ tiêu cảm quan hiện trường: Mùn đạt tiêu chuẩn xuất xưởng phải có màu nâu đen hoặc đen thẫm đồng nhất, không còn vết tích của chất thải tươi ban đầu. Cấu trúc vật lý của mùn tơi xốp, có độ ẩm mát nhẹ khi tiếp xúc bằng tay, không dẻo quánh, không tạo vón cục rắn chắc. Khứu giác hoàn toàn không ghi nhận mùi chua của axit hữu cơ bay hơi, không có mùi khai nồng của khí amoniac và không có mùi thối kỵ khí của hợp chất lưu huỳnh. Mùn hoại mục hoàn toàn chỉ mang mùi đất ẩm dịu đặc trưng của hợp chất geosmin do quần thể xạ khuẩn tổng hợp trong giai đoạn ủ chín.

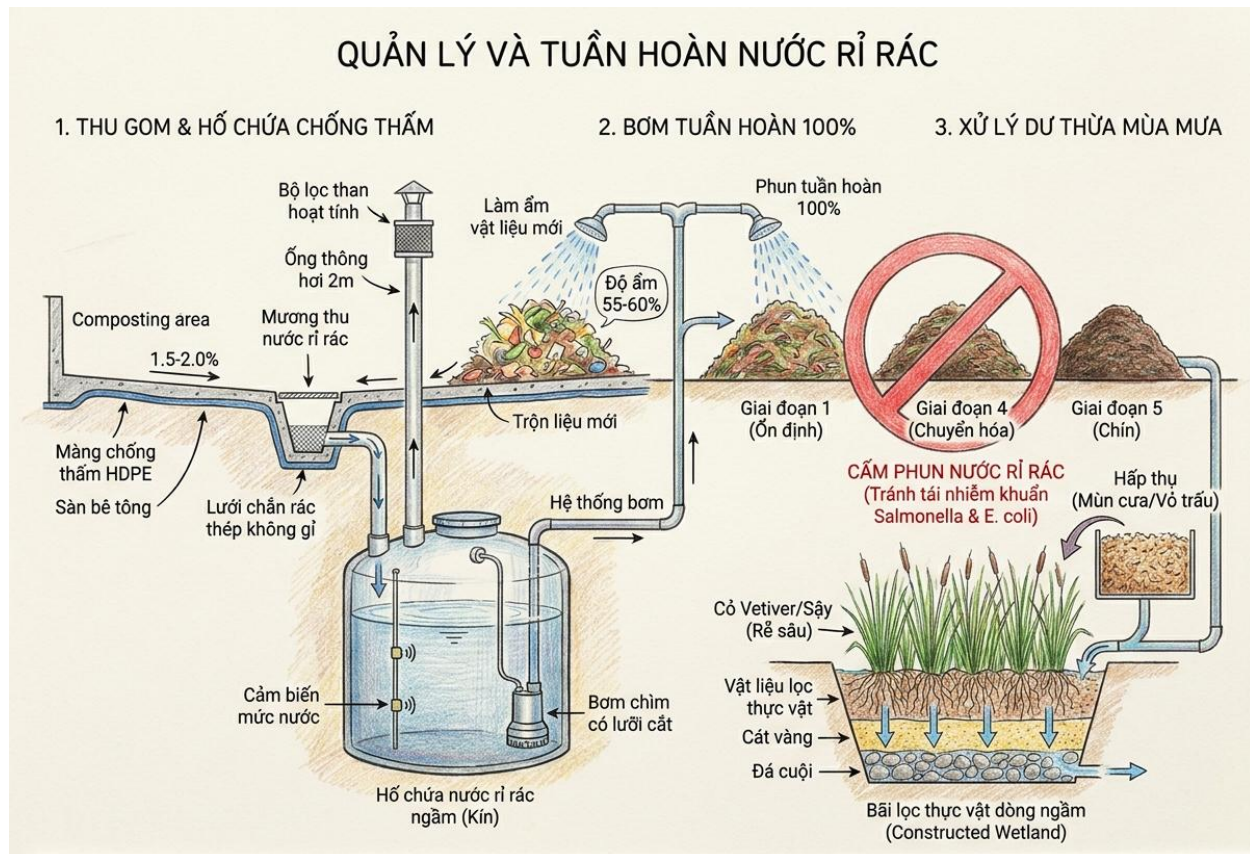
Tỷ trọng xốp của mùn khô ráo đạt trong dải từ 0,60 đến 0,75 tấn/m³.

Đánh giá ngưỡng an toàn sinh học (chỉ số nảy mầm Germination Index - GI): xét nghiệm độ nảy mầm của hạt cần đạt chỉ số GI >80% mới được xác nhận là đã sạch hoàn toàn độc tố, đạt độ chín hoại mục và an toàn cho cây trồng.

Tiêu chuẩn đánh giá chất lượng mùn theo phụ lục đính kèm.

3. Giám sát và kiểm soát chất lượng

a) Quản lý và tuần hoàn nước rỉ rác



Thu hồi nước rỉ rác

Nước rỉ rác là dung dịch đậm đặc phát sinh từ sự giải phóng dịch bào của thức ăn thừa đập nát, lượng nước tự do bị ép rỉ từ phân súc vật và hơi ẩm ngưng tụ chảy xuống đáy đông ú³. Nước rỉ chứa hàm lượng chất hữu cơ hòa tan cực cao (BOD và COD lên tới hàng chục nghìn mg/l), nồng độ đạm amoni đậm đặc và các hợp chất khoáng lơ lửng, nếu để rò rỉ ra môi trường sẽ gây phú dưỡng hóa nguồn nước mặt và hủy hoại hệ sinh thái vi sinh vật đất tự nhiên.

Thiết kế kết cấu thu gom và hồ chứa chống thấm

Toàn bộ mặt bằng phân khu tiếp nhận, băm trộn sơ chế và các ô ủ phân hủy nhiệt phải được đổ sàn bê tông cốt thép dày tối thiểu 150 mm, mác bê tông tối thiểu M250, xử lý chống thấm tinh thể thẩm thấu bề mặt hoặc trải phủ lớp màng chống thấm địa kỹ thuật Polyethylene tỷ trọng cao (màng HDPE) có chiều dày tối thiểu 1,0 – 1,5 mm³. Yêu cầu độ kín khít cơ học của kết cấu sàn phải đảm bảo đúng quy định kỹ thuật bãi xử lý chất thải rắn của Thông tư 02/2022/TT-BTNMT.

Sàn bãi được thiết kế có độ dốc nghiêng định hình từ 1,5% đến 2,0% hướng dòng chảy bề mặt đổ dồn về hệ thống mương rãnh thu gom bao quanh chân đồng ủ. Rãnh thu gom có tiết diện hình chữ U, chiều rộng đáy từ 250 đến 300 mm, độ sâu từ 200 đến 350 mm, đáy rãnh có độ dốc xuôi dòng $\geq 1,0\%$ dẫn thẳng về hố thu gom. Phía trên miệng rãnh lắp đặt hệ thống song chắn rác bằng thép không gỉ hoặc tấm composite đục lỗ mắt 5 – 8 mm nhằm chặn giữ toàn bộ các mẫu rơm rạ, dăm cành trôi dạt, bảo đảm dòng chảy thông suốt và không bị lắng đọng bùn tắc.

Hố lưu chứa nước rỉ rác tập trung được xây dựng dưới dạng bể ngầm khép kín bằng bê tông cốt thép chống thấm hoặc bồn nhựa đúc ba lớp có dung tích tính toán tối thiểu bằng 1,5 lần tổng lưu lượng nước rỉ dự kiến phát sinh trong 7 ngày cao điểm. Nắp bể chứa phải được đậy kín khít bằng gioăng cao su chịu dầu để ngăn mùi hôi phát tán và loại trừ nước mưa tràn vào; trên đỉnh nắp bố trí một ống thông hơi cao $\geq 2\text{m}$ có gắn phễu lọc hấp phụ chứa than hoạt tính để giảm mùi. Bên trong hố lắp đặt cảm biến phao mức nước hai cấp (báo động mức cao và tự ngắt bơm khi cạn nước).

Kỹ thuật bơm tuần hoàn tạo ẩm cho đồng ủ mới: Nước rỉ rác bản chất là một nguồn phân bón hữu cơ dạng lỏng đậm đặc, chứa dồi dào các axit amin hòa tan, ion khoáng sinh thái (NH_4^+ , PO_4^{3-} , K^+ , ...) và quần thể vi khuẩn phân giải bản địa thích nghi nhiệt cao. Do đó, giải pháp công nghệ tuần hoàn khép kín 100% dòng nước rỉ rác là phương án xử lý vừa tiết kiệm tài nguyên nước vừa bảo vệ môi trường triệt để.

Thiết bị bơm hồi lưu sử dụng dòng máy bơm chìm nước thải cánh cắt rác, công suất động cơ 0,75 – 1,5 kW, chế tạo bằng thép không gỉ SUS304 hoặc gang cầu đúc để chống lại sự ăn mòn của axit hữu cơ trong nước rác. Đường ống bơm sử dụng ống nhựa HDPE dẻo áp lực kết nối với giàn ống phân phối đục lỗ hoặc vòi phun tưới có đường kính miệng phun lớn để chống nghẹt cạn. Nước rỉ rác được bơm hồi lưu tưới tẩm bổ sung trực tiếp vào Bước phối trộn nguyên liệu đầu vào của các mẻ ủ mới hoặc tưới bù ẩm cho các khối ủ trong 7 đến 10 ngày đầu của Giai đoạn 1 (Ủ phân hủy hiếu khí). Định mức tưới hồi lưu được điều chỉnh căn cứ theo độ ẩm hiện trường sao cho cơ chất hỗn hợp đạt mức chuẩn 55% – 60%³. Việc hồi lưu này cung cấp ngay một lượng enzyme ngoại bào và vi sinh vật hoạt tính cao vào đồng ủ tươi, kích hoạt quá trình chuyển hóa nhiệt diễn ra nhanh hơn so với việc dùng nước sạch thông thường.

Quy tắc kỹ thuật bắt buộc:

Tuyệt đối không sử dụng nước rỉ rác để tưới tạo ẩm cho khối ủ đang ở Bước 4- Xử lý chuyển tiếp) và Bước 5- Ủ chín. Việc đưa dịch thải chứa vi khuẩn đường ruột chưa qua xử lý nhiệt vào khối mùn chín sẽ gây hiện tượng tái nhiễm khuẩn Salmonella và E. coli.

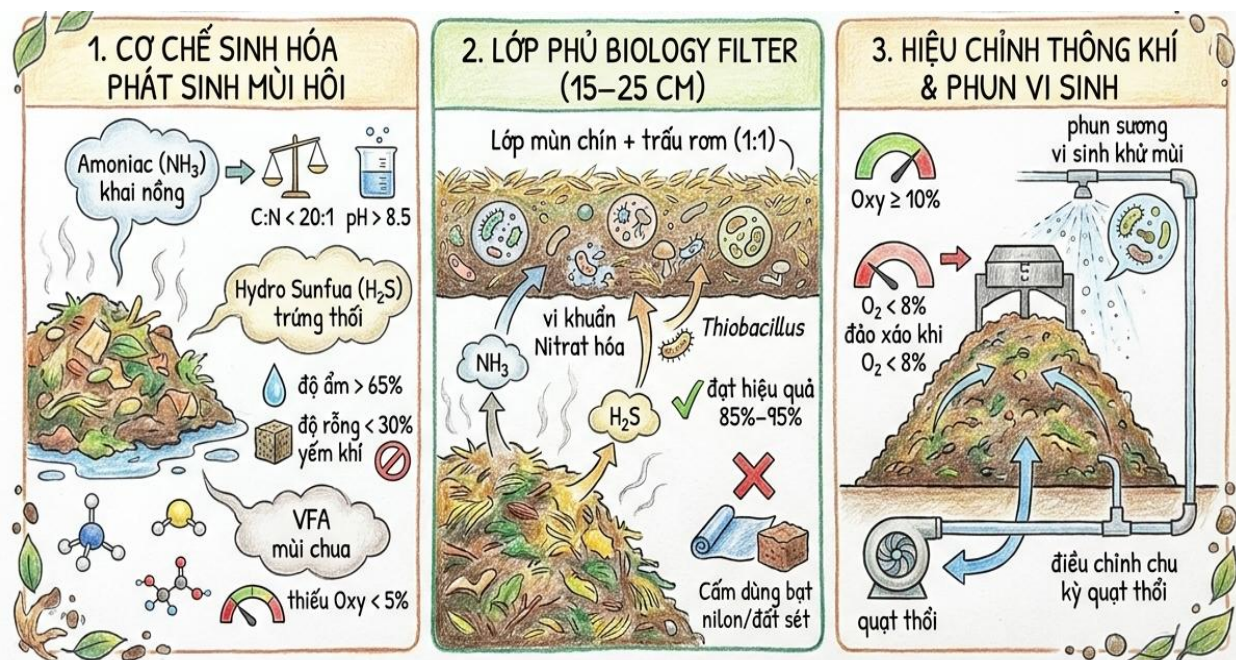
Phương án xử lý lượng nước rỉ dư thừa trong mùa mưa

Khi bước vào mùa mưa lũ kéo dài hoặc khi lượng nước rỉ tích tụ trong hố vượt quá khả năng tiếp nhận hồi lưu của các mẻ ủ mới, lượng dịch thải dư thừa phải được dẫn qua module xử lý sinh thái tại chỗ:

- Giải pháp hấp phụ bằng cơ chất đệm khô: Bơm hút nước rỉ rác tưới tẩm vào bãi tập kết các vật liệu đệm hữu cơ có độ hút ẩm cực cao (như mùn cưa khô, bã mía khô nghiền, trấu hạt khô). Các thớ xơ khô này sẽ hút sạch pha lỏng vào cấu trúc mao quản, giữ lại toàn bộ dinh dưỡng hòa tan; sau đó chính lượng xơ ngâm dinh dưỡng này được đưa vào buồng phối trộn làm cơ chất tạo khung cho mẻ ủ tiếp theo.
- Module bãi lọc thực vật ngập nước kiến tạo: Nước rỉ sau khi qua bể lắng cặn tự hoại 2 ngăn được dẫn vào bãi lọc dòng ngầm nằm ngang. Bãi lọc có diện tích từ 10 đến 20m², đáy lót màng chống thấm HDPE, xếp tầng các lớp vật liệu lọc gồm đá cuội 20 – 40 mm ở đáy, đá dăm 10 – 20 mm ở giữa và lớp cát thô dày 30 cm trên cùng. Trên mặt bãi lọc trồng mật độ cao các loài thực vật thủy sinh có rễ sâu và sinh khối lớn như cỏ vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), sậy (*Phragmites australis*) hoặc chuối hoa. Bộ rễ thực vật thủy sinh giải phóng dưỡng khí oxy vào vùng ngập nước, thúc đẩy hệ vi sinh màng sinh học oxy hóa COD, chuyển hóa amoni thành nitrat và hấp phụ các ion kim loại nặng, giúp dòng nước đầu ra đạt quy chuẩn an toàn trước khi thẩm thoát ra hệ sinh thái tự nhiên.

b) Kiểm tra và xử lý mùi hôi

Khí mùi hôi thổi phát sinh từ cơ sở ủ phân là nguồn gốc trực tiếp dẫn tới các phản ánh tiêu cực từ cộng đồng dân cư xung quanh. Bản chất của mùi hôi là sự thất thoát của các hợp chất khí sinh ra khi chu trình phân hủy hiếu khí bị suy giảm cục bộ thành phân hủy kỵ khí.



Cơ chế sinh hóa hình thành khí mùi:

- Khí Amoniac (NH_3): Khí mang mùi khai nồng đặc trưng, phát sinh khi tỷ lệ C:N ban đầu của hỗn hợp nạp liệu thấp hơn ngưỡng cân bằng ($\text{C:N} < 20:1$), hàm lượng chất đạm trong phân gia cầm hoặc rác chợ đầu mối bị dư thừa. Vi sinh vật không đủ Carbon để đồng hóa hết Nitơ, dẫn đến enzyme protease và deaminase của vi khuẩn giải phóng đạm dưới dạng amoniac tự do bốc hơi. Khí NH_3 bay hơi cực mạnh khi khối ủ bị kiềm hóa ($\text{pH} > 8,5$) và nhiệt độ tăng trên 60°C .
- Khí Hydro sunfua (H_2S) và khí cống rãnh: Hợp chất mang mùi trứng thối và mùi bùn cống rãnh, xuất hiện khi độ ẩm khối ủ vượt quá 65% hoặc vật liệu bị nén chặt làm độ rỗng xấp xỉ dưới 30% khiến oxy không thể khuếch tán vào bên trong. Trong điều kiện kỵ khí này, quần thể vi khuẩn khử các ion sunfat (SO_4^{2-}) và các axit amin chứa lưu huỳnh (cysteine, methionine) giải phóng ô nhiễm khí H_2S độc hại.
- Axit béo bay hơi mạch ngắn (VFA): Khí mang mùi chua thối nồng nặc (axit butyric, axit valeric, axit isovaleric) sinh ra do quá trình lên men kỵ khí các hợp chất carbohydrate khi tốc độ cấp dưỡng khí oxy không đáp ứng kịp cường độ hô hấp của vi sinh vật.

Phương pháp xử lý mùi hôi:

Kỹ thuật thiết lập lớp phủ sinh học bề mặt:

Đối với đồng ủ luống tĩnh đối lưu tự nhiên hoặc các bể ủ hở mặt trên, kỹ thuật thiết lập tầng lọc sinh học ngay tại bề mặt là giải pháp hiệu quả và chi phí thấp nhất để triệt tiêu mùi hôi³:

- Vật liệu làm lớp phủ: Sử dụng mùn thành phẩm đã ủ chín hoai mục hoàn toàn (độ ẩm 40% – 50%) phối trộn đồng đều với vỏ trấu hạt khô hoặc rơm rạ băm nhỏ theo tỷ lệ thể tích 1:1. Tuyệt đối không sử dụng đất sét dẻo hoặc màng bạt nilon phủ kín bề mặt vì sẽ triệt tiêu đối lưu khí, gây kỵ khí đồng ủ và tạo ra thêm mùi hôi thối.
- Kỹ thuật rải tầng lọc: Rải một lớp đệm sinh học dày từ 15 đến 25 cm phủ kín toàn bộ bề mặt đỉnh và các mái dốc bên của đồng ủ.
- Cơ chế xử lý: Khi luồng khí nóng mang mùi hôi thối bốc lên từ lõi đồng ủ, chúng bắt buộc phải thẩm thấu qua lớp màng lọc mùn chín xốp ẩm. Tại đây, các phân tử khí mùi bị giữ lại bởi độ ẩm và các mao quản keo của mùn; đồng thời, quần thể vi khuẩn nitrat hóa và vi khuẩn oxy hóa lưu huỳnh (Thiobacillus) cư trú sẵn trên giá thể mùn chín sẽ thực hiện phản ứng oxy hóa sinh hóa: chuyển hóa khí amoniac (NH_3) thành muối nitrat hòa tan giữ lại dinh dưỡng trong mùn, và chuyển hóa khí (H_2S) thành ion sunfat (SO_4^{2-}) hoàn toàn không mùi. Lớp phủ sinh học bề mặt này có khả năng xử lý từ 85% đến 95% mùi hôi phát tán ra không gian mặt bằng.

Hiệu chỉnh thông khí ngăn ngừa kỵ khí cục bộ:

- Kiểm soát nồng độ oxy hòa khí: Trong toàn bộ pha nhiệt cao tích cực của Giai đoạn 1, hàm lượng khí oxy trong các mao quản rỗng của đồng ủ bắt buộc phải duy trì ở mức $\geq 10\%$ thể tích (khoảng tối ưu từ 10% đến 14%), tuyệt đối không để hàm lượng oxy tụt xuống dưới ngưỡng báo động đỏ là 5%.
 - Can thiệp cơ giới cho hệ thống luống đảo trộn: Khi máy đo oxy hiện trường báo nồng độ oxy tụt dưới ngưỡng 8% hoặc khi khứu giác phát hiện đồng ủ bắt đầu có mùi chua nhẹ, kỹ thuật viên phải điều động máy cơ giới tiến hành đảo xáo luống ủ ngay lập tức. Thao tác đảo tung vật liệu phá vỡ các túi nén khí kỵ khí, giải phóng hơi ẩm ngọt ngào và lấp đầy các khoang rỗng bằng đường khí tươi từ khí quyển.
 - Can thiệp cơ điện cho hệ thống sục khí cưỡng bức / đối lưu: Nếu quạt thổi vận hành theo chu kỳ (timer) nhưng đồng ủ xuất hiện mùi hôi, phải lập tức tăng thời gian vận hành của quạt thổi (chẳng hạn tăng từ chế độ chạy 3 phút/ngủ 12 phút lên chế độ chạy 6 phút/ngủ 9 phút, hoặc nâng lưu lượng quạt lên. Kiểm tra ngay đầu ống dẫn khí đáy xem có bị dịch bào và bùn nhão tràn vào bít tắc mắt lỗ hay không để tiến hành súc rửa thông nòng.

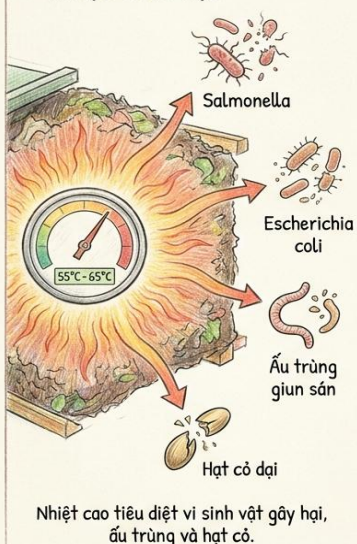
Sử dụng chế phẩm vi sinh phun sương khử mùi:

Tại khu vực tiếp nhận rác thực phẩm tươi, khu vực máy băm nghiền và trong suốt thời điểm vận hành máy đảo xáo (thời điểm khí mùi tích tụ bị xới tung bốc lên mạnh nhất), cơ sở có thể áp dụng kỹ thuật phun sương các chế phẩm vi sinh khử mùi đang bán trên thị trường. Định mức và quy cách phun: Theo hướng dẫn sử dụng chế phẩm.

c) Kiểm soát an toàn sinh học

Kiểm soát an toàn sinh học (Duy trì nhiệt độ 55°C)

1. Cơ chế diệt mầm bệnh nhiệt sinh học



2. Quy chuẩn thời gian duy trì (EPA)



3. Quan trắc & Xử lý sự cố nhiệt



Kiểm soát an toàn sinh học bằng nhiệt độ là rào cản kỹ thuật quan trọng nhất để vô hiệu hóa toàn bộ mầm mống dịch bệnh từ chất thải thực phẩm và phân chuồng tươi, bảo vệ sức khỏe người vận hành và ngăn chặn nguy cơ bùng phát dịch bệnh trên cây trồng khi mùn được bón ra đồng ruộng.

Cơ chế diệt khuẩn và làm mất sức sống của hạt cỏ bằng nhiệt sinh học: Quá trình phân giải tích cực của quần thể vi sinh vật ưa nhiệt giải phóng một lượng nhiệt lượng khổng lồ tích tụ bên trong lòng đống ủ. Dưới tác động nhiệt độ cao kết hợp với hơi ẩm bão hòa, các cơ chế khử trùng diễn ra đồng loạt: làm biến tính tế bào vi sinh, phá hủy nang ấu trùng và vỏ trứng ký sinh trùng, hóa hỏng phôi mầm cỏ dại.

Ngưỡng kỹ thuật nhiệt độ theo khuyến cáo của EPA như sau:

- Đối với công nghệ bể ủ sục khí cưỡng bức, đống ủ đối lưu tự nhiên tĩnh hoặc bể ủ có che phủ cách nhiệt: Nhiệt độ đo được tại tâm lõi và các điểm bán phần của khối vật liệu bắt buộc phải duy trì liên tục ở mức $\geq 55^{\circ}\text{C}$ (ngưỡng tối ưu từ 55°C đến 65°C) trong thời gian tối thiểu 03 ngày đêm (72 giờ) liên tiếp.
- Đối với công nghệ đống ủ luống dài đảo trộn cơ giới: Do lớp bề mặt ngoài của luống ủ liên tục bị làm mát bởi không khí ngoài trời, khối ủ bắt buộc phải duy trì nhiệt độ vùng tâm lõi $\geq 55^{\circ}\text{C}$ trong tổng thời gian tối thiểu 15 ngày, đồng thời trong suốt thời gian 15 ngày này bắt buộc phải thực hiện tối thiểu 05 lần đảo trộn cơ giới luân chuyển toàn bộ thể tích vật liệu.

Phương pháp quan trắc nhiệt độ chuẩn hóa: Thiết bị đo nhiệt độ sử dụng nhiệt kế hiển thị số công nghiệp hoặc nhiệt kế cơ chuyên dụng cho đồng ủ bằng thép không gỉ SUS304, chiều dài thân que đo từ 1,0 đến 1,5 m, dải đo từ 0°C đến 100°C, sai số cho phép $\pm 0,5$ °C. Không được thực hiện việc đo nhiệt độ tại một điểm duy nhất. Mỗi luống hoặc bể ủ được chia thành các cung quan sát dọc theo chiều dài (cứ 3 đến 4 m chiều dài bố trí một mặt cắt đo). Tại mỗi mặt cắt, cắm que đo ở 3 tầng độ sâu khác nhau: tầng mặt (sâu 20 – 30 cm tính từ bề mặt lớp phủ), tầng tâm lõi (sâu 60 – 100 cm, nơi nhiệt tích tụ cao nhất) và tầng đáy (sâu cách mặt sàn 20 – 30 cm). Tần suất quan trắc cố định 02 lần/ngày: buổi sáng vào lúc 08h00 và buổi chiều vào lúc 15h00. Số liệu quan trắc được ghi chép ngay lập tức vào Sổ nhật ký vận hành.

Biện pháp can thiệp kỹ thuật khi nhiệt độ xảy ra sự cố:

- Hiện tượng đồng ủ không tăng nhiệt hoặc nhiệt độ tụt dưới 50°C quá sớm:
 - Nếu do độ ẩm quá khô (<40%): Vi sinh vật bị ngưng trệ tế bào do thiếu nước dung môi. Biện pháp: Đảo xáo kết hợp phun tưới bổ sung nước sạch hoặc nước rỉ rác tuần hoàn để đưa độ ẩm toàn khối đạt lại 55% – 60%.
 - Nếu do độ ẩm quá ướt (>65%) gây ngạt khí: Nước lấp đầy các mao quản đẩy khí oxy ra ngoài. Biện pháp: Đảo xáo tơi xốp khối vật liệu để hơi nước bốc thoát nhanh, đồng thời phối trộn bổ sung thêm 15% – 20% phụ phẩm khô xốp (trấu hạt, dăm bào khô, mùn cưa sạch).
 - Nếu do tỷ lệ C:N quá cao (C:N>40:1) thiếu hụt đạm: Vi sinh vật không đủ nguyên liệu tổng hợp protein màng tế bào. Biện pháp: Tưới dung dịch phân gia cầm pha loãng hoặc bổ sung đạm urê pha loãng (tỷ lệ 1 kg urê hòa trong 100 lít nước) tưới ẩm đều lên đồng ủ.
 - Nếu do kích thước khối ủ quá nhỏ: Đồng ủ có thể tích < 1m³ hoặc chiều cao luống < 1,0m khiến tốc độ mất nhiệt nhanh hơn tốc độ sinh nhiệt. Biện pháp: Gom gộp các đồng ủ nhỏ lại thành đồng lớn có chiều cao từ 1,2 đến 1,8 m để tăng khả năng giữ nhiệt nội tại³.
- Hiện tượng nhiệt độ tâm đồng tăng quá cao (vượt ngưỡng 65°C – 70°C): Mức nhiệt vượt quá 70°C sẽ tiêu diệt luôn cả các vi sinh vật đối kháng có ích, làm biến tính enzyme cellulase, gây hiện tượng ủ nóng âm i quá mức làm đen xỉn cơ chất và làm thất thoát toàn bộ đạm hữu cơ dưới dạng khí NH₃ bốc hơi. Biện pháp khắc phục:
 - Lập tức đảo xáo cơ giới để xả túi nhiệt dư thừa ra ngoài khí quyển.
 - Nếu là hệ thống sục khí cơ điện, kích hoạt quạt cấp khí chạy liên tục 100% công suất để đối lưu làm mát đồng ủ.
 - Bổ sung phun sương một lượng nước sạch vừa đủ để làm dịu nhiệt độ tâm đồng về khoảng an toàn 55°C – 62°C.

d) Sổ giám sát đánh giá và vận hành

Sổ nhật ký giám sát vận hành là tài liệu cần phải phải thiết lập và lưu trữ tại trạm xử lý chất thải hữu cơ cụm hộ gia đình. Sổ nhật ký này ghi chép minh bạch diễn biến sinh học của từng mẻ ủ, phục vụ công tác giám sát chất lượng nội bộ và cung cấp dữ liệu chứng minh an toàn sinh học khi có thanh kiểm tra của các cơ quan quản lý nông nghiệp và tài nguyên môi trường.

Cơ sở có thể tham khảo mẫu biểu nhật ký chuẩn hóa được ghi chép hàng ngày trong phụ lục.

Phụ lục 1: Một số dòng máy cắt, băm, nghiền, sàng cho quy mô Cụm hộ gia đình (tham khảo)

Dưới đây là một số mẫu máy cắt, băm, nghiền trên thị trường để tham khảo:

Nhóm 1: Máy băm dăm đĩa dao phẳng / Máy nghiền búa đập (Cho cành cây, vỏ dừa, thân ngô, bã xơ cứng)

Các dòng máy này hoạt động ở tốc độ vòng tua cao (~1.400 – 2.800 vòng/phút), kết hợp dao chém vát và búa đập vỡ xơ qua lưới sàng:

- **Máy băm nghiền gỗ cành di động (Động cơ xăng/diesel):**
 - *Mẫu tiêu biểu:* Savi 65 / Savi 130, Oshima MC 65, hoặc các dòng máy băm cành tự hành chạy động cơ Honda/Kohl.
 - *Đặc điểm:* Cơ cấu đĩa dao phẳng gắn 2–4 dao thép tôi, chuyên băm cành tỉa đô thị đường kính từ 3–10 cm thành dạng dăm mảnh gỗ ghè.
- **Máy băm xơ dừa, phụ phẩm nông nghiệp đa năng:**
 - *Mẫu tiêu biểu:* Bình Quân B300 / B400 / B500, máy băm xơ dừa Trâu Vàng, 3A (của công ty Tuấn Tú).
 - *Đặc điểm:* Sử dụng hệ thống dao băm gắn trên quả lô kết hợp búa đập và lưới sàng đáy (cỡ mắt sàng 10–20 mm) để xé toí vỏ dừa, cùi ngô, thân chuối khô thành dạng xơ sợi mà không bị tán mịn.
- **Máy nghiền búa công nghiệp (Hammer Mill):**
 - *Mẫu tiêu biểu:* Các dòng máy nghiền vỏ cà phê, dăm bào của Cơ khí Viễn Đông, Cơ khí Ngọc Thành (Buôn Ma Thuột), hoặc Cơ khí Đại Nghĩa.
 - *Đặc điểm:* Roto gắn cánh búa tự do va đập tốc độ cao, đáy lắp lưới sàng tổ ong; chuyên xử lý vỏ trấu, vỏ cà phê khô và cành cây khô.

Nhóm 2: Máy cắt xé trục đôi tốc độ chậm (Cho rác nhà bếp, thức ăn thừa, rau củ quả dập)

Các dòng máy này sử dụng động cơ giảm tốc (khoảng 15 – 40 vòng/phút), momen xoắn cực lớn với 2 trục gắn dao móc xoay ngược chiều để xé đứt rác hữu cơ ướt mà không ép nát rỉ nước:

- **Máy hủy rác hữu cơ 2 trục quy mô vừa và nhỏ (Bếp ăn công nghiệp, hộ kinh doanh):**
 - *Mẫu tiêu biểu:* Máy cắt xé rác trục đôi mini của Cơ khí Thanh Long, máy băm rác hữu cơ trục đôi T&T, thiết bị xé rác nhà bếp Green Star.

- *Đặc điểm:* Công suất motor 2.2 kW – 5.5 kW qua hộp số giảm tốc, lưỡi dao bằng thép hợp kim dày 8–15 mm móc xé rau củ, thức ăn thừa thành đoạn nhỏ 20–50 mm.
- **Máy cắt xé trục đôi công nghiệp (Trạm xử lý rác tập trung, ủ compost quy mô lớn):**
 - *Mẫu tiêu biểu:* Máy nghiền trục đôi của Rotec Việt Nam, Cơ khí Chế tạo Máy Miền Nam, hoặc Cơ khí Nam Long.
 - *Đặc điểm:* Thiết kế dao móc nhiều châu (claw blades) đan xen; có tính năng tự động đảo chiều trục khi kẹt dị vật cứng (xương ống, muông thia lẫn vào), giữ nguyên cấu trúc khối ủ thoáng khí mà không ép ra bùn nhớt.
- **Máy cắt rác trục đôi nhập khẩu (Phân khúc tải nặng):**
 - *Mẫu tiêu biểu:* Các dòng máy xé rác trục đôi nhập khẩu nguyên chiếc từ Trung Quốc (như Enerpat, Huahong) hoặc Châu Âu (như Untha, Forrec) do các công ty thiết bị môi trường tại Hà Nội và TP.HCM phân phối.

Nhóm 3: Máy sàng

1. Các máy công suất nhỏ – mini (Quy mô hộ gia đình, vườn ươm, trạm xử lý nhỏ)

- **Máy sàng lồng quay mini 3A (Hãng 3A – Công ty CPĐT Tuấn Tú):**
 - *Thông số:* Động cơ 0,5 kW, sử dụng nguồn điện dân dụng 1 pha 220V, đường kính lồng sàng khoảng 600 mm, tốc độ quay khoảng 80 vòng/phút.
 - *Đặc điểm:* Máy gọn nhẹ (trọng lượng chỉ khoảng 22 kg), dễ di chuyển. Mất lưới tiêu chuẩn 3 – 4 mm, rất phù hợp cho vườn ươm cây giống, hộ gia đình hoặc cụm hộ nhỏ tự ủ mùn làm giá thể đóng bầu.
- **Máy sàng lồng quay SHS01 (Công ty Máy Phân Bón SHB):**
 - *Thông số:* Năng suất khoảng 500 kg/giờ (với độ ẩm cơ chất tối ưu 25% – 30%), kích thước lồng đường kính D800 mm x chiều dài 1.500 mm.
 - *Đặc điểm:* Chế tạo phục vụ trực tiếp cho các cơ sở sản xuất phân bón hữu cơ quy mô vừa và nhỏ; có khả năng phân tách tốt phần mùn mịn và cơ chất xơ thô.

2. Các máy công suất vừa (Hợp tác xã, cụm hộ tập trung, trang trại nông nghiệp)

- **Máy sàng lồng phân loại Cơ Tân Tiến:**

- *Thông số:* Năng suất 4 – 5 tấn/giờ, công suất động cơ 1,5 – 2,2 kW. Kích thước tổng thể khoảng 2,2 m x 1,3 m x 2,2 m.
- *Đặc điểm:* Thiết kế 1 hoặc 2 tầng lưới lồng lồng ghép để tách đồng thời 2 đến 3 dải hạt (hạt mịn làm giá thể, hạt trung bình bón đồng ruộng và phân xơ thô hồi lưu), chuyên dùng trong các dây chuyền phân vi sinh.
- **Máy sàng lồng quay phân bón TKN (Công ty CP Thiết bị Công nghiệp TKN):**
 - *Thông số:* Dải năng suất từ 1 đến 20 tấn/giờ tùy đơn đặt hàng; phân loại dải hạt từ 0 đến 100 mm.
 - *Đặc điểm:* Lồng sàng chế tạo bằng thép chống mài mòn hoặc inox SUS304. Điểm nổi bật là tích hợp hệ thống khung che chắn bụi và chổi cước cơ học quét liên tục bên ngoài mặt lồng, giúp chống bột dính lỗ sàng khi mùn có độ ẩm cao.
- **Máy sàng phân bón lồng quay Thành Công (Công ty TNHH Băng tải Thành Công):**
 - *Thông số:* Thiết kế trục nghiêng truyền động bánh xe hoặc khớp nối, năng suất linh hoạt từ 2 – 10 tấn/giờ.
 - *Đặc điểm:* Máy được trang bị vỏ bao bọc chống phát tán bụi ra nhà xưởng; bố trí phễu xả dưới đáy và cửa thải hạt ngoại cỡ ở đuôi lồng, thiết kế tối ưu cho dây chuyền phân bón hữu cơ sinh học.
- **Máy sàng lồng gia công chế tạo theo yêu cầu (Phương Quân Đà Nẵng, DBK Việt Nam):**
 - Nhận chế tạo theo quy cách riêng của xưởng (đường kính lồng từ 600 – 1.200 mm, chiều dài từ 2 – 4 m), tích hợp mắt lưới đan hoặc lưới dệt lỗ từ 2 mm đến 10 mm.

Phụ lục 2: Danh mục chế phẩm vi sinh hữu hiệu

1. Danh mục chế phẩm vi sinh chủng *Bacillus* (tham khảo):

Trong lĩnh vực kỹ thuật môi trường, các chủng vi khuẩn *Bacillus* giữ vai trò xử lý các cơ chất hữu cơ phức tạp trong các bể sinh học hiếu khí, bể thiếu khí và hệ thống hầm tự hoại kỵ khí. Nhờ tốc độ nhân đôi nhanh và dải chịu đựng sinh lý rộng (pH 5.5-9; nhiệt độ 15–50°C), chúng thực hiện quá trình khoáng hóa các hợp chất cacbon, thúc đẩy quá trình khử nitrat và keo tụ bùn hoạt tính.

Một số chế phẩm đang có sẵn trên thị trường:

- Microbe-Lift IND (Ecological Laboratories Inc. Hoa Kỳ, phân phối độc quyền bởi Công ty TNHH Đất Hợp): Dòng sản phẩm vi sinh xử lý nước thải công nghiệp cao cấp phổ biến tại Việt Nam. Sản phẩm là quần thể vi sinh vật dạng lỏng gồm 13 chủng chọn lọc, trong đó *Bacillus* chiếm tỷ lệ cốt lõi: *Bacillus subtilis* (12%), *Bacillus amyloliquefaciens* (11%), *Bacillus licheniformis* (9%), kết hợp cùng các vi khuẩn khử nitrat và quang dưỡng (*Pseudomonas citronellolis*, *Rhodopseudomonas palustris*). Bào chế dạng dung dịch đậm đặc màu nâu, đóng bình 1 gallon (3,785 lít) hoặc thùng 6 gallon. Chế phẩm giúp giảm 70–90% chỉ số BOD, COD, giảm nồng độ chất rắn lơ lửng (TSS), tăng cường độ lắng của bùn sinh học và ngăn ngừa hiện tượng vi sinh bị sốc tải do tải lượng ô nhiễm tăng đột biến trong các nhà máy chế biến thực phẩm, dệt nhuộm, cao su.
- Microbe-Lift SA (Ecological Laboratories Inc. / Đất Hợp): Chế phẩm tăng cường gia tốc quá trình phân hủy bùn cặn hữu cơ. Thành phần chứa nồng độ cao của *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis* kết hợp hợp chất humic. Sản phẩm tiêu hóa lớp bùn tích tụ tại bể lắng thứ cấp và đáy hồ xử lý, làm giảm thể tích bùn thải cần nạo vét và ép lọc từ 30–50%.
- EcoClean Septic (EcoClean Solutions Inc., Hoa Kỳ / Nhập khẩu bởi EcoClean Việt Nam): Chế phẩm sinh học chuyên dùng cho hệ thống tự hoại gia đình, tòa nhà chung cư và khách sạn. Chứa hệ vi khuẩn *Bacillus* spp. sinh bào tử phối hợp hệ enzyme thủy phân ngoại bào: protease, lipase (phân hủy dầu mỡ sinh hoạt), và cellulase (phân hủy giấy vệ sinh, chất xơ). Bào chế dạng bột khô (gói 100g, hũ 500g), định kỳ đổ qua bồn cầu; vi sinh vật khu trú trong ngăn chứa bể phốt, tiêu hóa bùn đáy, triệt tiêu khí lưu huỳnh H₂S gây mùi và kéo dài chu kỳ hút hầm cầu từ 3 đến 5 năm.
- Men Vi Sinh Emuniv (Viện Công nghệ Sinh học - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam nghiên cứu và sản xuất): Dòng chế phẩm môi trường nội địa lâu đời. Emuniv chứa tổ hợp các chủng vi sinh vật phân giải mạnh: *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus* spp., *Saccharomyces* spp., và nấm sợi xạ khuẩn *Streptomyces*. Dạng bột khô màu xám đóng gói 200g, bao 1kg đến 20kg. Ứng dụng để khử mùi hôi rác

thải sinh hoạt, xử lý tắc nghẽn bể phốt hầm cầu, phá màng váng trong bể biogas chăn nuôi và kích hoạt quá trình ủ phân hữu cơ vi sinh từ phế phụ phẩm nông nghiệp.

- BioFix Fresh (Công ty TNHH BioFix Fresh Việt Nam phối hợp công nghệ Hoa Kỳ): Chế phẩm chứa hệ vi sinh *Bacillus* tuyển chọn chuyên trách bể gây các liên kết mercaptan và chuỗi acid béo bay hơi. Bào chế dạng dung dịch đậm đặc (can 1L, 5L) hoặc dạng bột, ứng dụng phun sương dập mùi hôi tại bãi chôn lấp rác thải đô thị, cống rãnh thoát nước và bể mỡ nhà hàng.

Lưu ý: các chế phẩm nêu trên để tham khảo. Ngoài các chế phẩm trên, trên thị trường còn rất nhiều chế phẩm có chức năng tương tự, việc sử dụng tùy thuộc vào điều kiện sẵn có của sản phẩm tại địa phương cũng như ngân sách. Việc sử dụng chế phẩm là không bắt buộc và nếu sử dụng cần tuân thủ hướng dẫn của nhà sản xuất.

2. Danh mục chế phẩm vi sinh chủng Trichoderma (tham khảo):

- BIMA (Trichoderma)

BIMA là chế phẩm sinh học đối kháng uy tín do Trung tâm Công nghệ Sinh học TP.HCM nghiên cứu và chuyển giao sản xuất. Chứa mật độ bào tử nấm *Trichoderma* spp. rất cao kết hợp cùng chất mang hữu cơ giàu dinh dưỡng, BIMA chuyên dùng để phòng trừ các bệnh lở cổ rễ, xì mủ, thối rễ do nấm hại như *Phytophthora*, *Fusarium*, *Rhizoctonia* gây ra trên cây công nghiệp, ăn trái và rau màu. Cơ chế hoạt động của BIMA dựa trên việc tiết kháng sinh tiêu diệt nấm bệnh và ký sinh trực tiếp trên sợi nấm gây hại. Ngoài ra, chế phẩm còn chứa hệ enzym cellulose, protease mạnh mẽ, giúp đẩy nhanh quá trình ủ hoai mục phân chuồng, vỏ cà phê, rơm rạ thành mùn hữu cơ sạch bệnh, cải tạo đất bạc màu, kích thích bộ rễ phát triển khỏe mạnh và nâng cao sức đề kháng cho cây trồng trước điều kiện thời tiết bất lợi.

- Trichoderma SFARM

Trichoderma SFARM là dòng men vi sinh cao cấp chuyên dùng cho canh tác nông nghiệp hữu cơ và làm vườn đô thị do Công ty TNHH MTV Phân bón Đặng Gia Trang sản xuất. Sản phẩm chứa đa chủng Trichoderma có hoạt lực sinh học mạnh, giúp thiết lập hàng rào bảo vệ vững chắc quanh vùng rễ, ngăn chặn hiệu quả sự xâm nhập của tuyến trùng và các chủng nấm gây bệnh thối rễ, héo rũ, vàng lá. Điểm nổi bật của SFARM là khả năng hòa tan hoặc phối trộn linh hoạt vào giá thể đất sạch, đất trồng chậu và phân trùn quế. Các bào tử vi sinh trong chế phẩm tiết ra enzym phân giải lân khó tiêu và chất hữu cơ phức tạp thành dạng dinh dưỡng dễ hấp thu, tái tạo độ tơi xốp cho đất trồng lâu năm, giúp kích rễ con đâm sâu, tăng hiệu suất sử dụng phân bón và đem lại nguồn nông sản an toàn.

- Bio-TC

Bio-TC là chế phẩm sinh học bảo vệ thực vật chuyên sâu, được phát triển nhằm tối ưu hóa khả năng đối kháng mầm bệnh và phục hồi hệ đệm sinh học cho đất trồng. Thành phần cốt lõi của Bio-TC gồm các chủng Trichoderma thuần khiết kết hợp hệ vi sinh vật hữu ích có

khả năng sinh tổng hợp enzyme phân giải mạnh mẽ. Bio-TC tạo ra một mạng lưới bảo vệ rễ cây vượt trội, giúp ức chế triệt để nguồn nấm bệnh gây thối thân, lở cổ rễ và xì mủ trên các loại cây ăn trái giá trị cao như sầu riêng, cam, bưởi và hồ tiêu. Khi đưa vào đất hoặc sử dụng ủ phân compost, chế phẩm xúc tác phản ứng hoại mục nhanh chóng, khử sạch mùi hôi hôi thối và diệt trừ trứng giun sán tồn dư. Sử dụng Bio-TC định kỳ giúp phục hồi các vùng đất thoái hóa, cân bằng pH đất và tạo nền tảng phát triển bền vững cho cây trồng.

- Trichoderma Điền Trang

Trichoderma Điền Trang (tiêu biểu như dòng Điền Trang Tricho) là thương hiệu phân bón vi sinh đối kháng lâu năm và quen thuộc với bà con nông dân trên cả nước. Chế phẩm chứa mật độ bào tử Trichoderma spp. đậm đặc đạt chuẩn, có tác dụng phòng ngừa và cô lập nhanh chóng các loại nấm đất nguy hiểm gây chết nhanh, chết chậm trên tiêu, sầu riêng, cà phê và các loại rau màu ngắn ngày. Không chỉ phòng bệnh hiệu quả, sản phẩm còn được sử dụng rộng rãi như một chất xúc tác ủ xác bã thực vật, phân gia súc, xơ dừa nhằm rút ngắn thời gian phân hủy, tạo ra phân bón hữu cơ vi sinh chất lượng cao ngay tại nông hộ. Khi tưới gốc hoặc bón lót, Trichoderma Điền Trang kích thích hệ thống rễ tơ bung mạnh, cải thiện độ xốp của tầng canh tác và giảm thiểu tối đa sự phụ thuộc vào thuốc hóa học độc hại.

Lưu ý: các chế phẩm nêu trên để tham khảo. Ngoài các chế phẩm trên, trên thị trường còn rất nhiều chế phẩm có chức năng tương tự, việc sử dụng tùy thuộc vào điều kiện sẵn có của sản phẩm tại địa phương cũng như ngân sách. Việc sử dụng chế phẩm là không bắt buộc và nếu sử dụng cần tuân thủ hướng dẫn của nhà sản xuất.

Phụ lục 3: Cơ chất phối trộn

Phân nhóm chức năng	Danh mục nguyên liệu	Tỷ lệ C:N trung bình	Độ ẩm tự nhiên (W%)	Vai trò công nghệ trong khối ủ	Yêu cầu kỹ thuật và cảnh báo vận hành
Nhóm xanh (Giàu Nitơ, độ ẩm cao, cơ chất sinh nhiệt)	Rác thực phẩm, phế phẩm chợ đầu mối	12:1-18:1	70-85%	Cung cấp nguồn hữu cơ dễ tan, khoáng vi lượng, gia tốc quá trình nhân đàn vi khuẩn.	Để lên men axit chua làm tụt pH (pH < 5,0); bắt buộc phải phối trộn ngay trong ngày với phụ phẩm khô.
	Phân gia cầm (phân gà trấu, phân gà lông)	10:1-14:1	45-65%	Nguồn đạm hữu cơ và lân dồi dào, kích hoạt sinh nhiệt mạnh đưa nhiệt độ lên >60°C.	Chứa lượng lớn axit uric dễ bay hơi tạo NH ₃ ; phải kiểm soát vi sinh vật gây bệnh đường ruột theo QCVN 01-189:2019/BNNPTNT.
	Phân gia súc (phân bò, phân lợn ép tách nước)	15:1-22:1	65-75%	Cung cấp hệ vi sinh vật đường ruột bản địa đa dạng, tạo cấu trúc keo mùn ổn định.	Cần ép tách pha rắn để giảm ẩm xuống <70% trước khi trộn; kiểm soát tồn dư kháng sinh và hạt cỏ.
	Bùn thải chế biến thủy sản sau tuyển nổi	6:1-10:1	75-85%	Bổ sung hàm lượng protein vi sinh và nitơ đậm đặc cho cơ chất nghèo đạm.	Độ ẩm cực cao; bắt buộc phải ép bùn cơ học qua máy ép băng tải hoặc máy ly tâm trước khi nạp liệu.
	Phế phẩm rau củ tươi, bã thải bia rượu	12:1-20:1	80-90%	Cung cấp ẩm tự nhiên và nguồn đường đơn dễ hấp thu, rút ngắn pha trễ sinh học ban đầu.	Phải băm nhỏ 20-40mm để chống hiện tượng ép chặt tạo khối bùn kết dính.
Nhóm nâu (Giàu Carbon, xơ thô, hút ẩm, tạo khung)	Rơm rạ lúa nước cắt ngắn	60:1-80:1	12-18%	Cân bằng tỷ lệ C:N, tạo mạng lưới mao quản xốp phân bố khí đều khắp khối ủ.	Băm đoạn dài 30-50mm; cần tưới ẩm sơ bộ hoặc ủ đảo theo lớp để rơm hút đủ nước.

Phân nhóm chức năng	Danh mục nguyên liệu	Tỷ lệ C:N trung bình	Độ ẩm tự nhiên (W%)	Vai trò công nghệ trong khối ủ	Yêu cầu kỹ thuật và cảnh báo vận hành
	Vỏ trấu nguyên hạt	80-120:1	10-14%	Tạo độ rỗng thông khí tối ưu, tính trợ sinh học giúp khung đồng ủ không bị sụt lún.	Thành phần giàu lignin và silica phân giải rất chậm; không chế tỷ lệ nạp liệu không vượt quá 15-20% tổng thể tích.
	Mùn cưa gỗ mềm, đảm bảo sạch	150-400:1	15-25%	Chất hấp phụ độ ẩm tối ưu cho các dòng chất thải ướt như bùn ép hoặc rác thực phẩm.	Tuyệt đối không sử dụng mùn cưa từ gỗ ngâm hóa chất bảo quản, mùn cưa ván ép dính keo phenolic hoặc phủ sơn công nghiệp.
	Bã mía phơi khô sau ép nước	50-100:1	15-25%	Nguồn cellulose sạch, tốc độ phân giải nhiệt vừa phải, tạo mùn toi xốp đồng nhất.	Phải kiểm soát độ thông khí để tránh hiện tượng nấm mốc trắng phát triển cục bộ do lượng đường dư.
	Vỏ quả cà phê xay thô	30-45:1	15-25%	Phụ phẩm dồi dào tại Tây Nguyên, giàu hợp chất kali và khoáng chất tự nhiên.	Chứa tanin và caffeine kháng khuẩn nhẹ; cần phối trộn cùng 0,5 - 1% vôi bột hoặc chế phẩm nấm đối kháng Trichoderma.

Phụ lục 4: Tiêu chuẩn đánh giá chất lượng mùn (ngưỡng tham khảo)

Thông số kiểm nghiệm	Phương pháp thử	Giới hạn theo TCVN 7185:2002	Giới hạn theo theo QCVN 106:2025/BNNMT
Màu sắc và trạng thái	Cảm quan trực quan	Hạt hoặc bột đồng đều, màu nâu sẫm đến đen	Dạng hạt toí xốp, không lẫn tạp chất ngoại lai
Độ chín hoại mục	10 TCN 526:2002 / TCVN 7185:2002	Đạt mức "Tốt"	Mùn hoại mục hoàn toàn, mất mùi chua thối
Chỉ số nảy mầm hạt giống (GI)	Thử nghiệm sinh học cải củ / đậu xanh	Không quy định cụ thể	Khuyến nghị bắt buộc
Độ ẩm thành phẩm (W)	TCVN 9297:2012 (Sấy ở 105°C)	Không lớn hơn 30% (dạng bột) hoặc 35%	Không lớn hơn 30% (dạng bột) hoặc 35%
Hàm lượng Hữu cơ tổng số	TCVN 9294:2012 (Phương pháp Walkley-Black)	Không nhỏ hơn 15% (tính theo chất khô kiệt)	Không nhỏ hơn 15% (cho phân hữu cơ truyền thống)
Tỷ lệ Carbon / Nitơ (C:N)	Khối phổ / TCVN 8557 & TCVN 9294	Không quy định cụ thể	Hạ sâu trong khoảng từ 12:1 đến 16:1
Độ chua (pH)	TCVN 5979:1995 (Tỷ lệ đất:nước 1:5)	Trong khoảng 6,0 – 8,0 ¹⁰	Trong khoảng 5,0 – 7,5 (tùy đăng ký lưu hành)
Asen tổng số (As)	TCVN 11403:2016 (AAS hoặc ICP-MS)	Nằm trong ngưỡng an toàn môi trường ²	Mức tối đa không quá 10 mg/kg
Cadimi tổng số (Cd)	TCVN 9291:2012 (AAS hoặc ICP-MS)	Giới hạn theo quy chuẩn nông nghiệp	Mức tối đa không quá 5 mg/kg
Chì tổng số (Pb)	TCVN 9290:2012 (AAS hoặc ICP-MS)	Nằm trong ngưỡng bảo vệ đất trồng trọt	Mức tối đa không quá 200 mg/kg
Thủy ngân tổng số (Hg)	TCVN 10676:2015 (CVAAS hoặc ICP-MS)	Không vượt quá mức cho phép	Mức tối đa không quá 2 mg/kg
Vi khuẩn Salmonella	TCVN 4829:2001 (ISO 6579: vi sinh học)	Không được phát hiện trong 25 g sản phẩm	Không được phát hiện trong 25 g mẫu thử

Phụ lục 5: Mẫu sổ Giám sát và vận hành cho quy mô Cụm hộ gia đình
SỔ NHẬT KÝ GIÁM SÁT VẬN HÀNH XỬ LÝ CHẤT THẢI HỮU CƠ

Cơ sở / Cụm hộ thực hiện: _____

Mã số lô ủ / Bể ủ: _____

Khối lượng cơ chất nạp: _____ kg

Ngày nạp liệu và phối trộn bắt đầu: ____ / ____ / ____

Ngày kết thúc dự kiến: ____ / ____ / ____

Công thức phối trộn ban đầu: _____

Ngày thứ	Thời gian đo	Nhiệt độ (°C)			Độ ẩm hiện trường (%) / Thử vắt tay	Thao tác kỹ thuật vận hành trong ngày	Đánh giá cảm quan màu sắc & mùi hôi	Tên sự cố kỹ thuật và Biện pháp khắc phục đã thực hiện	Chữ ký người kiểm tra
		Tầng mặt	Tâm lõi	Tầng đáy					
01	08:00	28,0	32,5	29,0	58% (Nắm chặt kết khối, không rỉ nước qua kẽ tay)	Băm cơ chất, trộn men EMUNIV	Màu sắc cơ chất tươi, mùi rác thực phẩm thoáng thoảng	Không có sự cố phát sinh	Nguyễn Văn A
02	08:00	37,5	47,0	39,0	56% (Đạt ẩm tối ưu)	Kiểm tra cửa ống đôi lưu, quét dọn rãnh nước rỉ rác	Đóng ủ bốc hơi ấm, bắt đầu thoang thoáng mùi men chua dịu	Khởi ủ gia nhiệt nhanh theo đúng chu kỳ pha ư a nhiệt	Nguyễn Văn A
03	08:00	53,0	61,5	55,0	55% (Ấm đạt)	Duy trì sục khí tĩnh, kiểm tra rò rỉ rãnh thu nước rỉ	Bốc hơi nước mạnh, không có mùi chua thối kỵ khí ³	Nhiệt tâm lõi vượt 55°C, bắt đầu tính chu kỳ diệt	Nguyễn Văn A

Ngày thứ	Thời gian đo	Nhiệt độ (°C)			Độ ẩm hiện trường (%) / Thử vắt tay	Thao tác kỹ thuật vận hành trong ngày	Đánh giá cảm quan màu sắc & mùi hôi	Tên sự cố kỹ thuật và Biện pháp khắc phục đã thực hiện	Chữ ký người kiểm tra
		Tầng mặt	Tâm lõi	Tầng đáy					
								khuẩn PFRP ngày 1	
04	08:00	56,5	64,0	57,0	54%	Tưới ẩm bù nhẹ lớp phủ biofilter trên mặt ³	Thoang thoáng mùi khai NH ₃ nhẹ tại phễu thoát khí ³	Tiếp tục chu kỳ khử khuẩn an toàn sinh học ngày thứ 2	Nguyễn Văn A
05	08:00	58,0	66,5	59,0	51%	Tăng công suất quạt thổi lên 35%, phun sương vi sinh khử mùi	Mùi amoniac xuất hiện đậm hơn cục bộ	Nhiệt độ tâm đồng >65°C, tăng thông khí 45 phút để giải nhiệt dư	Nguyễn Văn A
06	08:00	55,5	62,5	56,0	52%	Đạt 3 ngày liên tục ≥55°C, chuyển chế	Mùi êm dịu, hơi nóng bốc đều khắp bề mặt đồng	Hoàn thành chu kỳ khử trùng nhiệt sinh học theo	Nguyễn Văn A

Ngày thứ	Thời gian đo	Nhiệt độ (°C)			Độ ẩm hiện trường (%) / Thử vát tay	Thao tác kỹ thuật vận hành trong ngày	Đánh giá cảm quan màu sắc & mùi hôi	Tên sự cố kỹ thuật và Biện pháp khắc phục đã thực hiện	Chữ ký người kiểm tra
		Tầng mặt	Tâm lõi	Tầng đáy					
						độ quạt về bình thường ³		QCVN 01- 189	
15	08:00	45,0	49,0	44,0	49%	Thực hiện đảo xáo cơ giới toàn bộ lúống ủ, luân chuyển áo ngoài vào lõi	Hơi nước bốc mạnh khi xới, cơ chất chuyển màu nâu cánh gián ³	Lớp mặt ngoài hơi khô, phun hoàn lưu 40 lít nước rỉ rác tạo ẩm ³	Nguyễn Văn A
60	08:00	35,0	39,0	34,0	45%	Kiểm tra tiêu chí chuyển pha, gom đồng chuyển sang Giai đoạn 3 (Ủ chín)	Mùi thơm đất ngai ngái, xơ rom rạ mềm mủn, thể tích sụt 40%	Thử nghiệm nảy mầm GI đạt 68%, đủ điều kiện chuyển sang ủ chín	Nguyễn Văn A
75	08:00	28,5	30,0	28,0	28% (Đạt tiêu chuẩn sấy)	Chuyển mùn hoai mục sang máy	Mùi đất rừng (geosmin) thơm	GI đạt 89%, lấy mẫu đại diện gửi thử	Nguyễn Văn A

Ngày thứ	Thời gian đo	Nhiệt độ (°C)			Độ ẩm hiện trường (%) / Thử vắt tay	Thao tác kỹ thuật vận hành trong ngày	Đánh giá cảm quan màu sắc & mùi hôi	Tên sự cố kỹ thuật và Biện pháp khắc phục đã thực hiện	Chữ ký người kiểm tra
		Tầng mặt	Tâm lõi	Tầng đáy					
					khô tự nhiên)	sàng lòng quay mắt 5 mm ³	dịu, hạt mùn đen xốp đồng nhất ³	nghiệm vi sinh và kim loại nặng	

Lưu ý: Toàn bộ biểu mẫu nhật ký vận hành phải được ký xác nhận bởi kỹ thuật viên phụ trách bãi và người đứng đầu đại diện cụm hộ gia đình hoặc ban quản trị hợp tác xã; tài liệu này được lưu trữ tối thiểu 02 năm tại văn phòng cơ sở để phục vụ công tác hậu kiểm môi trường định kỳ.