

Ủ PHÂN Bùn THẢI TỪ HỆ THỐNG XỬ LÝ NƯỚC THẢI CỦA NHÀ MÁY CHẾ BIẾN THỦY SẢN VỚI CÁC VẬT LIỆU PHỐI TRỘN KHÁC NHAU

Nguyễn Thị Lan Hương* và Lý Cẩm Hùng

Khoa Khoa học ứng dụng, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh,
Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

*Tác giả liên hệ: Nguyễn Thị Lan Hương, Email: ntlhuong@hcmunre.edu.vn

Lịch sử bài báo

Ngày nhận: 29/9/2024; Ngày nhận chỉnh sửa: 04/11/2024; Ngày duyệt đăng: 06/11/2024

Tóm tắt

Nghiên cứu này tiến hành ủ phân bùn thải của hệ thống xử lý nước thải nhà máy chế biến thủy sản phối trộn với rơm và vỏ trấu. Bùn thải có độ ẩm cao, tỉ lệ C/N và độ xốp thấp được phối trộn với rơm và vỏ trấu để tạo hỗn hợp có độ ẩm 63-65%, tỉ lệ C/N 29-30, độ xốp phù hợp cho quá trình ủ phân hiếu khí. Ba nghiệm thức ủ phân với các tỉ lệ phối trộn theo khối lượng của các nguyên liệu, BR (Bùn : rơm = 1 : 0,3), BV (Bùn : vỏ trấu = 1 : 0,32) và BH (Bùn : rơm : vỏ trấu = 1 : 0,18 : 0,15), được thực hiện ở quy mô thùng ủ (thể tích 0,11 m³), có cấp khí cơ học và đảo xới định kì. Các thông số quá trình như nhiệt độ, độ ẩm, tỉ lệ C/N, pH, hàm lượng chất hữu cơ được theo dõi. Sản phẩm compost được đánh giá bằng phép đo khả năng nảy mầm của hạt. Hai nghiệm thức BR và BV đạt nhiệt độ tối đa dưới 55°C. Nghiệm thức BH đạt đến pha ưa nhiệt ở ngày thứ 6 của quá trình, nhiệt độ tối đa cao nhất (57°C) và khoảng thời gian duy trì trên 55°C là 3 ngày. Hàm lượng chất hữu cơ giảm 54,1%, hệ số hạt nảy mầm GI: 84,7%; cho thấy đây là nghiệm thức có quá trình phân hủy chất hữu cơ tốt nhất. Nghiên cứu cho thấy, thông qua việc chọn lựa vật liệu và tỉ lệ phối trộn, chất lượng sản phẩm compost có thể được điều khiển.

Từ khóa: Bùn thải, compost, hệ thống xử lý nước thải, chế biến thủy sản, rơm, vỏ trấu.

DOI: <https://doi.org/10.52714/dthu.14.2.2025.1431>

Trích dẫn: Nguyễn, T. L. H., & Lý, C. H. (2025). Ủ phân bùn thải từ hệ thống xử lý nước thải của nhà máy chế biến thủy sản với các vật liệu phối trộn khác nhau. *Tạp chí Khoa học Đại học Đồng Tháp*, 14(2), 3-12. <https://doi.org/10.52714/dthu.14.2.2025.1431>

Copyright © 2025 The author(s). This work is licensed under a CC BY-NC 4.0 License.

COMPOSTING SLUDGE FROM SEAFOOD PROCESSING WASTEWATER TREATMENT SYSTEM WITH DIFFERENT BULKING AGENTS

Nguyen Thi Lan Huong* and Ly Cam Hung

*Faculty of Applied Sciences, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment,
Ho Chi Minh City, Vietnam*

**Corresponding author: Nguyen Thi Lan Huong, Email: ntlhuong@hcmunre.edu.vn*

History article

Received: 29/9/2024; Received in revised form: 04/11/2024; Accepted: 06/11/2024

Abstract

This study composted sludge from the seafood processing wastewater treatment system mixed with straw and rice husks. Waste sludge with high moisture content, low C/N ratio and porosity, was mixed with straw and rice husks to create a moisture mixture of 63-65%, C/N ratio of 29-30, and porosity suitable for aerobic composting. Three composting experiments with different mixing ratios by mass of the ingredients, BR (Sludge : straw = 1 : 0.3), BV (Sludge: rice husks = 1 : 0.32) and BH (Sludge : straw : rice husks = 1: 0.18 : 0.15), were carried out at the scale of composting bins (volume 0.11 m³), with mechanical aeration and periodic turning. Process parameters such as temperature, humidity, C/N ratio, pH, and organic matter content were monitored. The compost product was evaluated by measuring the germination ability of seeds. The two treatments BR and BV reached a maximum temperature below 55°C. The BH treatment reached the thermophilic phase on the 6th day of the process, the highest maximum temperature (57°C) and the maintenance period above 55°C was 3 days. The organic matter content decreased by 54.1%, the germination coefficient GI: 84.7%; showing that this treatment was the best organic matter decomposition process. The study showed that through the selection of materials and mixing ratio, the quality of the compost product can be controlled.

Keywords: *Compost, rice husks, straw, seafood processing, sludge, wastewater treatment systems.*

1. Đặt vấn đề

Năm 2022, ngành thủy sản lập kỷ lục xuất khẩu 11 tỷ USD, mức cao nhất từ trước đến nay, đưa Việt Nam trở thành 1 trong 3 nước xuất khẩu thủy sản lớn nhất thế giới, chiếm trên 7% thị phần trên thị trường thế giới, chỉ đứng sau Trung Quốc và Na Uy (Nguyễn, 2024). Theo Tổng cục Thủy sản, hiện cả nước có 825 cơ sở chế biến thủy sản quy mô công nghiệp đủ điều kiện xuất khẩu và 3.280 cơ sở chế biến quy mô nhỏ phục vụ chế biến tiêu thụ nội địa. Tổng công suất chế biến xuất khẩu 4,5 triệu đến 5 triệu tấn nguyên liệu/năm, tương ứng với gần 2,1 triệu tấn sản phẩm/năm. Với công suất chế biến lớn như vậy, ngành thủy sản phải xử lý một khối lượng khổng lồ nước thải và bùn thải. Hiện nay, hầu hết các nhà máy chế biến thủy sản đều có hệ thống xử lý nước thải (HTXLNT) đạt quy chuẩn xả thải. Trong khi đó, đối với bùn thải các nhà máy phải tốn chi phí thuê đơn vị chức năng thu gom, xử lý (Trần, 2020).

Do chi phí xây dựng công nghệ xử lý bùn là khá lớn, chiếm khoảng 40-50% tổng chi phí cho quá trình xử lý nước thải tại các nhà máy, nên ở nước ta, bùn được chôn lấp ở các bãi chiếm khoảng 50-75%, chỉ khoảng 25-35% được tái sử dụng trong hoạt động nông nghiệp (Võ & cs., 2022). Hiện nay, để tận dụng nguồn chất hữu cơ và giảm những tác hại về môi trường từ bùn thải, trên thế giới bùn thải được xử lý theo các phương pháp cơ học, hóa học, sinh học và phương pháp nhiệt. Trước tiên, các phương pháp cơ học như nén, tách nước, ổn định và làm khô được sử dụng nhằm giảm hàm lượng nước trong bùn. Tiếp theo là các phương pháp hóa học, sinh học và phương pháp nhiệt được áp dụng. Xử lý bùn bằng các phương pháp sinh học có ưu điểm hơn các phương pháp khác là thu hồi được carbon và nitơ, phương pháp này cần ít năng lượng nên được xem là thân thiện với môi trường và đáp ứng nguyên tắc nền kinh tế tuần hoàn.

Nhận thấy bùn thải chứa các chất dinh dưỡng cho thực vật, với 3 nguyên tố cần thiết cho cây trồng là N, P, K và các nguyên tố vi lượng; kể từ năm 1973, tại Beltsville (Mỹ) đã xử lý bùn thải từ hệ thống xử lý nước thải sinh hoạt bằng phương pháp ủ phân với dăm gỗ (Diaz & cs., 2011). Theo các nghiên cứu về bùn thải từ HTXLNT thủy sản cho thấy, hàm lượng đạm, lân và các nguyên tố vi lượng là khá cao. Hàm lượng kim loại nặng Pb, Cd, As, Hg, và các vi sinh vật gây bệnh dưới ngưỡng gây hại cho phép theo

quy chuẩn Việt Nam (QCVN 50/2013/BTNMT) về ngưỡng nguy hại đối với bùn thải. Do đó, bùn thải từ HTXLNT thủy sản là nguồn nguyên liệu tiềm năng để ủ phân hữu cơ (Nguyễn & cs., 2016; Nguyễn & cs., 2023; Võ & cs., 2022).

Ủ phân được định nghĩa là một quá trình phân hủy hiếu khí của vi sinh vật có kiểm soát dẫn đến hình thành các vật liệu hữu cơ ổn định có thể được sử dụng làm chất điều hòa đất và làm phân bón hữu cơ (Epstein, 1997). Như vậy, ủ phân là phương pháp mô phỏng quá trình phân hủy sinh hóa trong tự nhiên, đẩy nhanh tốc độ quá trình này theo ý muốn với mục đích sau cùng là thu được sản phẩm phân bón có khả năng cung cấp dinh dưỡng cho cây trồng và cải tạo đất. Phân ủ là nguồn nguyên liệu quan trọng và không thể thiếu trong nông nghiệp hữu cơ. Trong quá trình ủ phân có sự tham gia của nhiều nhóm vi sinh vật khác nhau như: nấm, xạ khuẩn, vi khuẩn và tảo. Trong quá trình ủ phân, các phản ứng hóa học phân hủy chất hữu cơ xảy ra, các vi sinh vật như vi khuẩn và nấm giải phóng ra một số enzyme có khả năng phân giải những hợp chất hữu cơ phức tạp như protein, acid amin, cellulose, lignin, acid béo... thành những hợp chất đơn giản hơn. Đến cuối của quá trình này, là sự tạo thành các hợp chất acid humic, acid fulvic, acid ulmic và các muối của chúng được gọi là mùn, mùn có tính chất quý giá trong cải tạo đất và cung cấp dinh dưỡng cho cây trồng.

Các yếu tố chính ảnh hưởng đến quá trình phân hủy chất hữu cơ của vi sinh vật là oxy và độ ẩm. Nhiệt độ là yếu tố quan trọng trong quá trình ủ phân; tuy nhiên, nhiệt độ là kết quả của quá trình phân hủy chất hữu cơ của vi sinh vật. Các yếu tố quan trọng khác có thể thúc đẩy hoặc hạn chế quá trình ủ phân là chất dinh dưỡng và pH. Các chất dinh dưỡng, đặc biệt là carbon và nitơ, đóng vai trò quan trọng trong quá trình ủ phân, carbon là nguồn năng lượng chính và nitơ cần thiết cho quá trình tổng hợp tế bào (Epstein, 1997). Do đó, cần tạo cho nguyên liệu ủ có tỉ lệ C/N tối ưu để việc phân hủy chất hữu cơ được hiệu quả. Nếu tỉ lệ C/N quá cao thì mức độ phân hủy vật liệu hữu cơ sẽ chậm. Nếu tỉ lệ C/N quá thấp thì N dễ mất đi dưới dạng NH₃ và làm giảm chất lượng của phân ủ. Theo các nghiên cứu, độ ẩm tối ưu cho quá trình ủ phân là khoảng 50 - 65% (Mohee & Mudhoo, 2005), tỉ lệ C/N là 20 - 30 (Dume & cs., 2023), pH: 5,5 - 8,5 (Puyuelo & cs., 2011).

Như vậy, việc ủ phân bùn thải của HTXLNT nhà máy chế biến thủy hải sản làm giảm khối lượng chất thải hữu cơ, giảm chi phí xử lý và sản phẩm cuối cùng có thể mang lại lợi nhuận thương mại. Tuy nhiên, việc ủ phân từ bùn thải gặp rất nhiều khó khăn. Bùn thải có độ ẩm cao và tỷ lệ C/N thấp. Cấu trúc của bùn thải đặc và dẻo nên dễ bị nén, dẫn đến độ xốp và độ lưu thông không khí kém. Do đó, ủ phân bùn thải đòi hỏi phải bổ sung các vật liệu phối trộn nhằm tạo khối ủ có độ ẩm, tỷ lệ C/N tối ưu và độ xốp chứa đầy không khí cho quá trình ủ phân theo phương pháp hiếu khí. Tỷ lệ và loại chất độn không phù hợp trong hỗn hợp ủ phân, đặc biệt trong trường hợp chất nền có độ ẩm cao như bùn thải, dẫn đến hạn chế sự lưu thông không khí trong đồng ủ. Kết quả là sự phát thải các khí nhà kính và mùi hôi tăng lên đáng kể. Điều này gây bất lợi cho quá trình ủ phân và dẫn đến chất lượng phân trộn kém. Do đó, việc lựa chọn loại vật liệu và tỉ lệ phối trộn là yếu tố đầu tiên quyết định sự thành công của quá trình ủ phân bùn thải.

Ở nước ta đã có các nghiên cứu ủ phân bùn thải HTXLNT nhà máy chế biến thủy hải sản với rom, mặt cưa (Lê & Trần, 2015); với rom, chất thải xanh (Võ & cs., 2021); với bã mía, bùn mía (Nguyễn & Nguyễn, 2023), với dăm gỗ (Võ & cs., 2022).

Để đánh giá khả năng ủ phân của bùn thải và các vật liệu phối trộn là rom và vỏ trấu, nghiên cứu này tiến hành ủ phân ở quy mô phòng thí nghiệm. Sử dụng mô hình thùng ủ có cấp khí, theo dõi các yếu tố quá trình như nhiệt độ, độ ẩm, pH, tỉ lệ C/N, hàm lượng chất hữu cơ. Sản phẩm compost tạo thành được thử nghiệm đánh giá khả năng nảy mầm của hạt.

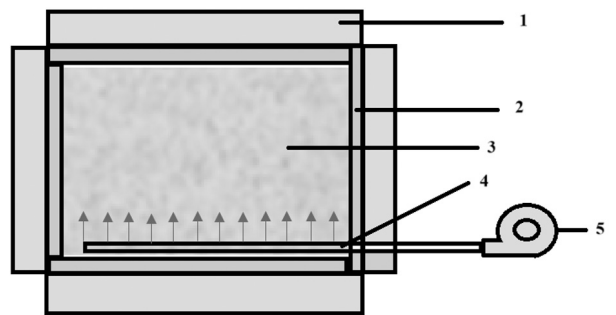
2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Nguyên liệu bùn sử dụng trong nghiên cứu này là bùn từ HTXLNT đã qua máy ép tách nước của Xí nghiệp chế biến hải sản COIMEX thuộc Công ty cổ phần Thủy sản & Xuất nhập khẩu Côn Đảo, tại địa chỉ 1738 Võ Nguyên Giáp, Phước Cơ, Thành phố Vũng Tàu, Bà Rịa - Vũng Tàu. Bùn được vận chuyển về phòng thí nghiệm Hóa Vô cơ của Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh và sử dụng nghiên cứu sau 1 ngày. Vật liệu phối trộn là rom rạ và vỏ trấu. Rom rạ được sử dụng trong thí nghiệm là rom tươi và được cắt nhỏ với kích thước ≤ 5 cm.

2.2. Mô hình thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm ủ phân là ủ trong thùng có cấp khí cơ học và đảo xới định kì (2 ngày/lần). Sử dụng các thùng hình chữ nhật làm bằng gỗ ép có kích thước 0,6 m × 0,45 m × 0,41 m. Bên ngoài có lớp xốp cách nhiệt. Đáy thùng được lắp đặt 3 ống thổi khí bằng nhựa PVC Φ 16 mm có khoan lỗ phân phối khí, khoảng cách giữa các lỗ là 25 mm. Các đường ống được che bằng lưới để ngăn chặn vật liệu lọt vào gây tắc nghẽn. Kết nối các ống với máy bơm không khí công suất 40 lít/phút và chế độ bơm khí 1 phút thổi - 58 phút nghỉ. Cấu tạo của mô hình được trình bày ở Hình 1.

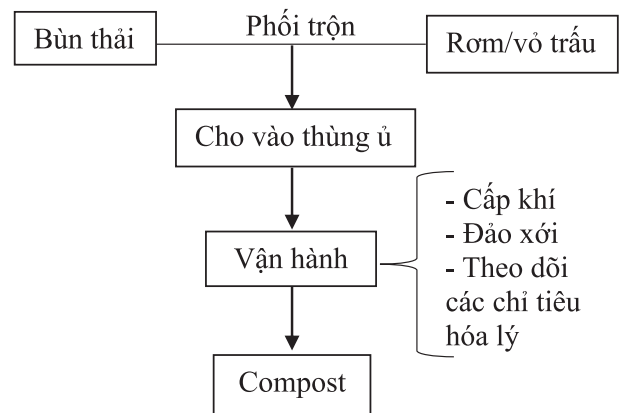


Hình 1. Sơ đồ cấu tạo của mô hình thùng ủ compost bùn thải

(1. Xốp cách nhiệt; 2. Thùng ủ làm bằng gỗ ép; 3. Vật liệu ủ compost; 4. Ống PVC dẫn khí; 5. Bơm thổi không khí)

2.3. Thí nghiệm ủ compost

Quá trình ủ phân được thực hiện từ tháng 5 đến tháng 6 năm 2024. Quy trình thí nghiệm được trình bày ở Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ quy trình ủ phân compost bùn thải và vật liệu phối trộn

Bùn thải từ HTXLNT nhà máy chế biến thủy

hải sản và rơm hoặc vỏ trấu được phối trộn để đạt độ ẩm dưới 70% và tỉ lệ C/N: 25-35. Tỉ lệ phối trộn của các mẫu được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Tỉ lệ phối trộn các mẫu ủ phân

Mẫu	Tỉ lệ phối trộn (theo khối lượng)
BR	Bùn : rơm = 1 : 0,3
BV	Bùn : vỏ trấu = 1 : 0,32
BH	Bùn : rơm : vỏ trấu = 1 : 0,18 : 0,15

Mỗi tỉ lệ phối trộn làm thí nghiệm 3 lần. Trộn đều hỗn hợp và cho vào thùng ủ. Sục không khí với chế độ đã đặt, đảo xới hỗn hợp định kỳ 2 ngày/lần. Theo dõi các chỉ tiêu hóa lý:

- Đo nhiệt độ: sử dụng nhiệt kế thủy ngân, đo hàng ngày vào khoảng thời gian 10 - 11 h. Nhiệt kế thủy ngân được đặt vào giữa khối nguyên liệu ủ.

- Tỉ lệ C/N: phân tích C theo TCVN 9294:2012 và N theo TCVN 8557:2010.

- Chỉ tiêu độ ẩm: phân tích theo TCVN 9297:2012.

- Chỉ tiêu pH_{H₂O}: phân tích theo TCVN 5979:2007.

- Chỉ tiêu chất hữu cơ: phân tích theo TCVN 9294 : 2012.

Thí nghiệm ủ phân được thực hiện cho đến khi nhiệt độ khối ủ bằng nhiệt độ môi trường, hàm lượng chất hữu cơ giảm đến không đổi.

Việc chọn lựa và tính toán tỉ lệ phối trộn bùn thải và vật liệu độn như trên nhằm tạo ra hỗn hợp ủ có tỉ lệ C/N và độ ẩm phù hợp cho quá trình ủ phân. Mô hình thùng ủ với thể tích 0,11 m³, cấu tạo có lớp xốp cách nhiệt, phối trộn theo tỉ lệ khối lượng ở Bảng 1 đảm bảo đủ sinh khối để gia tăng và duy trì pha ưa nhiệt trong thời gian cần thiết. Thùng ủ được cấp khí nhằm cung cấp oxy cho hoạt động hô hấp của vi sinh vật. Việc đảo xới định kỳ tạo sự lưu thông không khí và trộn đều vật liệu ủ nhằm thúc đẩy nhanh hơn quá trình phân hủy chất hữu cơ.

2.4. Đánh giá khả năng nảy mầm của hạt đối với sản phẩm compost

Thực hiện thí nghiệm đo khả năng nảy mầm của hạt và xác định chỉ số nảy mầm của hạt (GI) theo nghiên cứu của Lê và Trần (2015).

Thiết kế thí nghiệm đánh giá khả năng nảy mầm được tiến hành như sau:

Trộn compost thành phẩm với nước cất theo tỉ

lệ 1:10. Khuấy ly tâm hỗn hợp với tốc độ 180 vòng/phút, trong 1 giờ. Lọc lấy phần nước trong làm thí nghiệm. Vẽ bảng gồm 10 ô nhỏ trên tờ giấy lọc và đặt hạt đậu xanh vào mỗi ô. Thí nghiệm thực hiện ít nhất 4 lần. Cho vào mỗi đĩa petri (chứa giấy lọc + đậu xanh) 3 ml dung dịch chiết compost. Sử dụng nước cất đối với mẫu 0. Ủ các đĩa petri trong bóng tối ở nhiệt độ 28 - 30°C trong 48 giờ.

Tính toán tỉ lệ nảy mầm trên mỗi đĩa: Đo độ dài của rễ hạt giống đã nảy mầm trên mỗi đĩa và tính trung bình.

$$GI = \frac{\% \text{nảy mầm} \times \text{chiều dài rễ (hạt sử dụng dịch chiết compost)}}{\% \text{nảy mầm} \times \text{chiều dài rễ (hạt sử dụng nước cất)}} \times 100$$

Nếu GI ≥ 80% thì phân bón có thể sử dụng cho cây trồng.

2.5. Phương pháp phân tích xử lý số liệu

Nghiên cứu dùng phần mềm Microsoft Office Excell để quản lý số liệu, vẽ đồ thị, tính toán và so sánh các giá trị trung bình nghiệm thức.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc điểm của bùn thải và các vật liệu phối trộn

Ủ phân là quá trình phân hủy sinh học chất hữu cơ do vi sinh vật đảm nhiệm. Nguyên liệu ủ, vừa là thức ăn vừa là môi trường sống của cộng đồng vi sinh vật, do đó thành phần hóa lý của vật liệu ủ sẽ quyết định quá trình ủ phân có thành công hay không. Các chỉ tiêu hóa lý của bùn thải và các vật liệu phối trộn được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2. Các chỉ tiêu hóa lý của bùn thải và vật liệu phối trộn

Chỉ tiêu	Bùn	Rơm	Vỏ trấu
Độ ẩm	82,13±1,12	6,81±0,18	8,37±0,10
pH	7,19±0,21	7,78±0,14	6,86±0,15
C (%)	32,54±0,22	48,74±0,18	35,41±0,14
Nts (%)	2,63±0,17	0,71±0,13	0,34±0,06
Tỉ lệ C/N	12,52±0,20	69,62±0,15	118,02±0,09
Hàm lượng chất hữu cơ (%)	60,70±0,18	93,63±0,32	45,74±0,19

Độ ẩm của vật liệu bùn thải từ HTXLNT của Xí nghiệp chế biến hải sản COIMEX khá cao bằng 82,13±1,12%. Hàm lượng ẩm này tương đương với các nghiên cứu của Võ & cs. (2021) là 81,3% ở bùn thải HTXLNT nhà máy chế biến sản phẩm Surimi,

của Nguyễn & cs. (2023) là 76,9 - 86,2% ở bùn thải HTXLNT nhà máy chế biến thủy sản (Lê & Trần, 2015) ở bùn thải HTXLNT nhà máy chế biến cá da trơn là 85 %. Độ ẩm cao của bùn thải là một yếu tố gây khó khăn cho quá trình ủ phân, vì môi trường này không thuận lợi cho hoạt động sống của vi sinh vật hiếu khí. Do đó, bùn thải cần phải được phối trộn với các chất độn có độ ẩm thấp. Ngoài ra, tỉ lệ C/N của bùn thải khá thấp ($12,52 \pm 0,20$), không đủ để làm phân ủ. Rơm rạ và vỏ trấu là hai phụ phẩm nông nghiệp có độ ẩm thấp (rơm $6,81 \pm 0,18\%$, vỏ trấu $8,37 \pm 0,10\%$) và tỉ lệ C/N cao (rơm $69,62 \pm 0,15$; vỏ trấu $118,02 \pm 0,09$) phù hợp để phối trộn với bùn thải nhằm tạo ra hỗn hợp nguyên liệu có độ ẩm và tỉ lệ C/N tối ưu. Đồng thời, rơm rạ và vỏ trấu với hàm lượng cellulose, hemicellulose, lignin cao sẽ làm tăng độ toi xốp, thoáng khí, giúp cho hoạt động hô hấp của vi sinh vật hiếu khí thuận lợi hơn.

Bảng 3 trình bày tỉ lệ C/N và độ ẩm của các mẫu ủ phân. Tính toán tỉ lệ C/N, độ ẩm của mẫu ủ phân dựa trên trọng lượng khô và % C, % N ở Bảng 2.

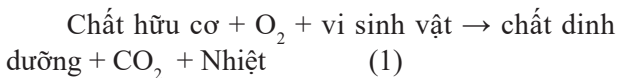
Bảng 3. Tỉ lệ C/N và độ ẩm của các mẫu ủ phân

Mẫu	Tỉ lệ C/N	Độ ẩm (%)
BR	$30,13 \pm 0,21$	$65,32 \pm 0,27$
BV	$29,32 \pm 0,30$	$64,05 \pm 0,25$
BH	$30,54 \pm 0,11$	$63,22 \pm 0,14$

3.2. Theo dõi các yếu tố ảnh hưởng quá trình ủ

3.2.1. Nhiệt độ

Nhiệt độ là một trong những thông số chính để đánh giá quá trình ủ phân, vì nhiệt độ ảnh hưởng đến tốc độ phân hủy hợp chất hữu cơ và tác động đến quần thể vi sinh vật. Trong quá trình oxy hóa, vi sinh vật sẽ phân giải các hợp chất hữu cơ và giải phóng CO_2 , nước và nhiệt (phản ứng 1) (Epstein, 1997).

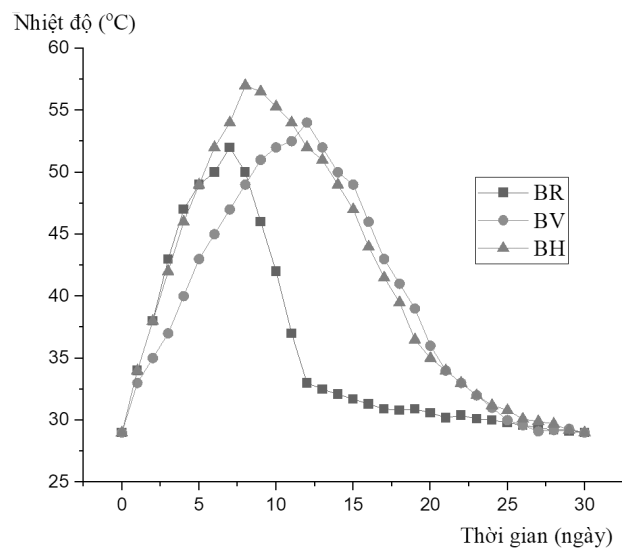


Quá trình ủ phân có thể được chia thành bốn giai đoạn, mỗi giai đoạn có phạm vi nhiệt độ, thời gian và quần thể vi sinh vật chiếm ưu thế riêng. Giai đoạn ưa nhiệt độ trung bình là giai đoạn bắt đầu của quá trình ủ phân. Các hợp chất dễ phân hủy của sinh khối (đường và protein) bị phân hủy bởi các vi khuẩn, nấm và xạ khuẩn, và hoạt động sinh học của chúng làm tăng nhiệt độ trong khối phân ủ. Giai đoạn thứ 2 là giai đoạn ưa nhiệt độ cao (35-65°C), sự gia tăng

nhiệt độ do các sinh vật ưa nhiệt ở Giai đoạn 1 gây ra sẽ ức chế sự phát triển của chúng và khiến chúng không hoạt động. Các vi sinh vật ưa nhiệt độ cao chiếm ưu thế trong Giai đoạn 2. Tốc độ phân hủy tiếp tục tăng cho đến khi đạt được nhiệt độ khoảng 65°C. Nhiệt độ vượt quá 55°C sẽ ức chế sự phát triển của nấm, do đó vi khuẩn và xạ khuẩn là các loại vi sinh vật chiếm ưu thế hoạt động trong khối ủ ở nhiệt độ trên 55°C. Giai đoạn cuối là giai đoạn ổn định và hoại mục, chất hữu cơ dễ phân hủy bị cạn kiệt và hoạt động của vi sinh vật giảm, khiến nhiệt độ trong khối phân ủ giảm. Các loại vi khuẩn và nấm bắt đầu phân hủy các hợp chất khó phân hủy hơn như tinh bột và cellulose. Tiếp theo, các hợp chất không thể phân hủy thêm, như phức hợp mùn - lignin, được tạo thành và trở nên chiếm ưu thế (Diaz & cs., 2011).

Nếu nhiệt độ tăng cao trên 66°C, các vi sinh vật sẽ rơi vào trạng thái bất hoạt hoặc chết. Do đó, nhiệt độ thích hợp cho quá trình ủ phân cần duy trì dưới 66°C. Cũng cần duy trì nhiệt độ trên 55°C trong khoảng 3 ngày để diệt hết vi sinh vật gây bệnh, đảm bảo an toàn cho sản phẩm compost tạo thành (Cesaro & cs., 2015).

Sự thay đổi nhiệt độ trong quá trình ủ phân bùn thải và các vật liệu phối trộn được trình bày ở Hình 3.



Hình 3. Sự thay đổi nhiệt độ trong quá trình ủ phân bùn thải với các vật liệu phối trộn

Nhiệt độ tăng lên sau một ngày ủ ở cả 3 nghiệm thức và tiếp tục tăng mạnh, sau đó giảm dần và ổn định. Với nghiệm thức BR, nhiệt độ tăng lên cao nhất là $52,3 \pm 0,5^\circ C$ ở ngày thứ 6, mức nhiệt cao trên $50^\circ C$ duy trì trong 3 ngày của quá trình, sau đó nhiệt độ

bắt đầu giảm. Với mẫu BV, nhiệt độ gia tăng chậm hơn mẫu BR, nhiệt độ đạt mức cao nhất là $54,7 \pm 0,2^\circ\text{C}$ ở ngày thứ 9, mức nhiệt cao trên 50°C được duy trì trong 6 ngày. Thí nghiệm ủ phân mẫu BH, nhiệt độ cao nhất đạt $57,0 \pm 0,6^\circ\text{C}$ đạt được ở ngày thứ 8 của quá trình, pha ưa nhiệt trên 50°C duy trì từ ngày thứ 6 đến ngày thứ 13. Khác với hai mẫu BR và BV, mẫu BH (phối trộn hỗn hợp cả rơm và vỏ trấu), đạt nhiệt độ cao nhất, thời gian đạt nhiệt độ cao sớm như mẫu BR, thời gian duy trì pha ưa nhiệt dài nhất.

Sự khác biệt về diễn biến nhiệt độ ở ba mẫu là do sự khác nhau về hàm lượng chất hữu cơ và độ xốp của hai loại vật liệu rơm và vỏ trấu. Do rơm là vật liệu có độ xốp và hàm lượng chất hữu cơ cao hơn vỏ trấu nên ở mẫu phối trộn với rơm, vi sinh vật sử dụng lượng chất hữu cơ trong môi trường nhiều oxy hơn, quá trình phân hủy diễn ra sớm hơn so với mẫu phối trộn với vỏ trấu. Do đó, mẫu BR nhiệt độ cao đạt được sớm hơn mẫu BV. Tuy nhiên, do rơm có độ xốp khá cao, nên nhiệt độ gia tăng nhưng cũng dễ thất thoát ra môi trường. Ở mẫu BH, kết hợp cả hai vật liệu rơm và vỏ trấu, có nhiệt độ tối đa là cao nhất ($57,0 \pm 0,6^\circ\text{C}$) và thời gian duy trì mức nhiệt trên 55°C là 3 ngày.

Trong quá trình ủ phân hiếu khí, nhiệt độ cao ở pha ưa nhiệt là yếu tố cần thiết để tiêu diệt vi khuẩn gây bệnh và hạt giống cỏ dại. Theo khuyến cáo của USAD, mức nhiệt cao trên 55°C cần được duy trì ba ngày để thực hiện quá trình tiêu diệt mầm bệnh hiệu quả (Cromell, 2010). Trong ba nghiệm thức, chỉ có nghiệm thức BH đáp ứng được nhiệt độ tối đa và khoảng thời gian duy trì, do nghiệm thức được phối trộn kết hợp cả rơm và vỏ trấu, tạo độ xốp và độ thoáng khí cho hoạt động hô hấp của vi sinh vật, trong khi đó vẫn đảm bảo giữ được nhiệt lượng.

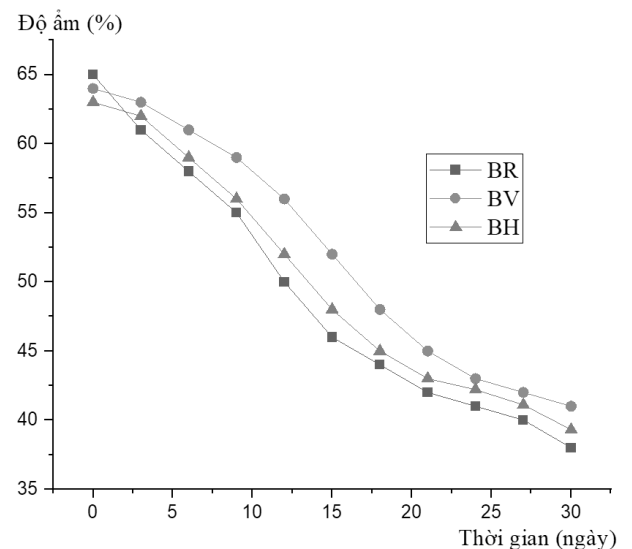
Ở nghiên cứu ủ phân bùn thải với rơm và mặt cưa của Lê và Trần (2015), nhiệt độ cao nhất đạt 57°C ở ngày thứ 10 của quá trình khi phối trộn 7 bùn: 3 mặt cưa; riêng mẫu bùn phối trộn với rơm nhiệt độ tối đa đạt được cao hơn (60°C), tuy nhiên thời gian giữ nhiệt ngắn hơn. Nghiên cứu của Võ & cs. (2021) mẫu phối trộn bùn thải với rơm đạt nhiệt độ tối đa cao hơn chất thải xanh, do chất thải xanh có độ ẩm cao không phù hợp ủ phân với bùn thải. Nghiên cứu của Nguyễn & cs. (2023), ủ phân bùn thải với bã mía và bùn mía, từ ngày thứ 7 đến ngày thứ 14 của quá trình, mức nhiệt cao gần 55°C được duy trì. Sự khác biệt về diễn biến nhiệt độ ở các nghiên cứu là do các nghiên

cứ khác nhau về loại, tỉ lệ vật liệu độn, khối lượng, thể tích khối ủ và mô hình thực hiện. Các nghiên cứu ủ phân quy mô phòng thí nghiệm khó đạt được và duy trì nhiệt độ cao so với quy mô công nghiệp, cho dù là sử dụng loại chất độn nào (Yañez, 2009).

3.2.2. Độ ẩm và pH

Nước cần cho mọi hoạt động sống của vi sinh vật với lượng vừa đủ. Khi độ ẩm hỗn hợp ủ xuống thấp hơn ngưỡng 35 - 40%, hầu hết các vi sinh vật sẽ chết hoặc rơi vào trạng thái không hoạt động. Độ ẩm ban đầu tối ưu cho quá trình ủ phân là từ 50 đến 60% (Guo & cs., 2012). Với các chất nền có độ ẩm cao như bùn thải, độ ẩm của quá trình ủ phân có thể từ 50 đến 70% (Richard & cs., 2002). Độ ẩm trên 70% sẽ chặn dòng khí lưu thông và hình thành nên môi trường kỵ khí với mùi khó chịu. Sự thay đổi độ ẩm của các mẫu ủ phân bùn thải và các vật liệu phối trộn được trình bày ở Hình 4.

Ở mẫu bùn thải phối trộn với rơm (BR), lúc đầu độ ẩm $65,32 \pm 0,27\%$, giảm xuống $28,34 \pm 0,31\%$ ở ngày 30 của quá trình ủ phân. Mẫu bùn thải phối trộn với vỏ trấu (BV), độ ẩm ban đầu $64,05 \pm 0,25\%$ giảm xuống $41,01 \pm 0,45\%$ ở ngày thứ 30. Mẫu bùn thải phối trộn với cả hai chất độn, độ ẩm lúc đầu $63,22 \pm 0,14\%$, giảm đến $39,43 \pm 0,39\%$ ở ngày thứ 30. Độ ẩm giảm là do quá trình nước bay hơi. Tốc độ giảm ẩm ở mẫu BR là nhanh và nhiều nhất, do rơm có độ xốp cao hơn vỏ trấu nên nước dễ bay hơi nhất.



Hình 4. Sự thay đổi độ ẩm của các mẫu ủ phân

Sự thay đổi pH trong quá trình ủ phân của các mẫu thể hiện ở Bảng 4.

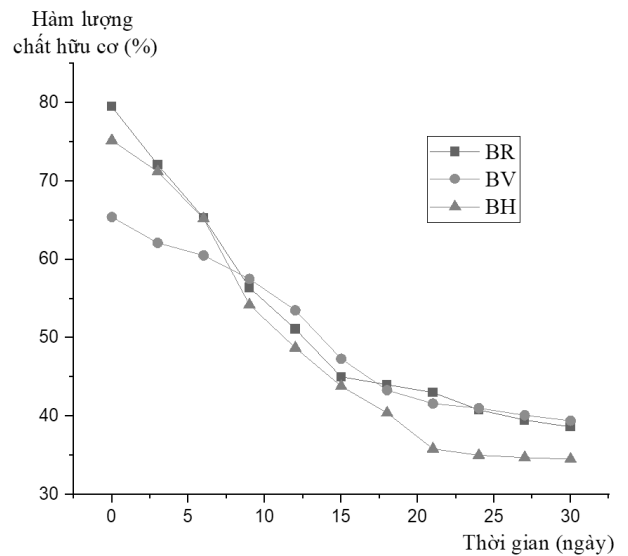
Bảng 4. Sự thay đổi pH và tỉ lệ C/N trong quá trình ủ phân

Thời gian ủ phân (ngày)	pH	Tỉ lệ C/N
BR		
0	7,51±0,10	30,13±0,21
4	7,84±0,12	27,43±0,21
11	8,16±0,20	20,34±0,30
18	8,13±0,15	17,92±0,11
24	7,43±0,14	16,34±0,17
30	6,87±0,21	14,45±0,13
BV		
0	7,04±0,12	29,32±0,30
4	8,03±0,13	28,23±0,19
12	8,62±0,11	24,03±0,11
18	7,88±0,10	20,04±0,17
25	7,21±0,18	16,89±0,13
30	7,04±0,12	16,32±0,15
BH		
0	7,30±0,14	30,54±0,11
4	7,51±0,16	26,78±0,20
10	8,09±0,15	23,57±0,19
17	8,04±0,18	20,06±0,13
24	7,55±0,23	14,70±0,16
30	7,14±0,19	12,71±0,14

Mẫu compost BR có pH ban đầu là 7,51±0,10; BV là 7,04±0,12; và BH là 7,30±0,14; giá trị pH này nhanh chóng tăng lên tối đa là 8,16±0,20 ở ngày thứ 11 ở mẫu BR; 8,62±0,11 đối với mẫu BV ở ngày thứ 12 và 8,09±0,15 ở mẫu BH ở ngày thứ 10. Bùn thải từ HTXLNT chế biến thủy sản chứa hàm lượng nitơ khá cao (Nguyễn, 2016), trong quá trình ủ phân, các hợp chất chứa nitơ được vi sinh vật phân hủy thành ammoniac, làm giá trị pH tăng lên. Kết thúc quá trình ủ, giá trị pH về trung tính do sự hình thành hợp chất mùn (Poincelot 1974; Arrau 1996). Các nghiên cứu khác cho thấy khoảng pH phù hợp cho vi sinh vật hoạt động trong quá trình ủ phân là từ 5,5 - 8,5 (Gou & cs., 2012). Trong khi, vi khuẩn ưa pH gần trung tính, nấm phát triển tốt hơn trong môi trường khá axit. Do đó, pH ảnh hưởng đến cộng đồng vi sinh vật của quá trình ủ. Nếu nguyên liệu ban đầu có pH cao kết hợp nhiệt độ cao, có thể gây thất thoát nitơ do quá trình bay hơi ammoniac. Hai mẫu bùn thải BR và BH đều có khoảng pH phù hợp cho sự phát triển của vi sinh vật, riêng mẫu BV có giá trị cao hơn.

3.2.3. Tỉ lệ C/N và hàm lượng chất hữu cơ

Trong các chất dinh dưỡng cần thiết cho vi sinh vật, carbon và nitơ là hai nguyên tố quan trọng nhất. Tỉ lệ C/N của nguyên liệu ủ đã được phối trộn theo tỉ lệ tối ưu cho hoạt động sống của vi sinh vật (Bảng 3). Trong quá trình ủ phân, tỉ lệ C/N giảm dần ở cả 3 mẫu. Kết thúc quá trình tỉ lệ C/N đạt giá trị 14,45±0,13 ở mẫu BR, 16,32±0,15 ở mẫu BV và 12,71±0,14 ở mẫu BH (Bảng 4). Các giá trị này thuộc khoảng tỉ lệ C/N: 10-20, cho thấy sản phẩm compost đã đạt độ ổn định (Ranalli & cs., 2001).



Hình 5. Sự thay đổi hàm lượng chất hữu cơ trong các mẫu ủ phân

Trong quá trình ủ phân, các chất hữu cơ được vi sinh vật phân hủy, trải qua quá trình mùn hóa, khoáng hóa và giải phóng khí carbonic vào khí quyển. Tốc độ phân hủy chất hữu cơ phản ánh trực tiếp tốc độ trao đổi chất của vi sinh vật trong quá trình ủ phân (Cai & cs., 2016). Hàm lượng chất hữu cơ của các nghiệm thức giảm nhanh trong 17 ngày đầu, tương ứng với giai đoạn phân hủy chất hữu cơ mạnh ở vùng nhiệt độ cao ở Hình 3. Sau đó, hàm lượng chất hữu cơ giảm chậm và ổn định. Hàm lượng chất hữu cơ của các nghiệm thức ban đầu, BR là 79,51±0,22%; BV là 65,43±0,40%; BH là 75,28±0,33% sau 30 ngày ủ đã giảm xuống BR là 38,65±0,14%; BV là 39,42±0,25%; BH là 34,61±0,36%. Như vậy, hiệu quả giảm chất hữu cơ ở ba nghiệm thức lần lượt là, BR là 51,9%, BV là 39,8% và BH đạt giá trị cao là 54,%.
 Ở nghiên cứu ủ phân của Lê và Trần (2015), sử dụng chất độn là rơm và mặt cưa, hiệu quả khử chất hữu cơ đạt 44-53% ở mô hình thổi khí cường bức cao

hơn mô hình thoáng khí tự nhiên (46-48%). Nghiên cứu của Meng và cộng sự (Meng & cs., 2021), các hợp chất chứa carbon được thêm vào nhằm cải thiện chất lượng và quá trình ủ phân bùn thải, cho thấy chất hữu cơ bị phân hủy nhanh chóng trong giai đoạn ủ phân ưa nhiệt và hàm lượng chất hữu cơ giảm xuống 45,8% (đôi chứng-bùn thải không thêm chất độn), 44,8% (thêm glucose), 47,1% (thêm sucrose), 49,2% (thêm tinh bột) và 51,3% (thêm xenlulo). Như vậy, hàm lượng chất hữu cơ bị mất ở nghiệm thức đôi chứng là 15,5% và nghiệm thức cellulose là 15,4%. Tuy nhiên, hiệu suất khử chất hữu cơ cao hơn ở nghiệm thức sử dụng glucose và sucrose so với các nghiệm thức khác: lần lượt là 21,9% và 20,2%. Sự khác biệt về giá trị hiệu suất giảm hàm lượng chất hữu cơ trong nghiên cứu của chúng tôi so với các nghiên cứu đã trích dẫn là do, nghiên cứu của Meng và cộng sự (Meng & cs., 2021) sử dụng các hợp chất chứa carbon nhằm tăng tỉ lệ C/N, còn nghiên cứu của chúng tôi và Lê và Trần (2015) là sử dụng các chất độn với thành phần chính là lignocellulose, ngoài việc tăng tỉ lệ C/N còn làm tăng độ thoáng khí và đóng vai trò là tiền chất cho quá trình mùn hóa (Epstein, 1997).

Trong ba nghiệm thức, nghiệm thức phối trộn với rom và vỏ trấu có hiệu quả giảm chất hữu cơ là cao nhất, tương ứng với diễn biến nhiệt độ ở Hình 3. Nghiệm thức BH đạt nhiệt độ tối đa cao nhất, thời gian đạt và duy trì mức nhiệt cao lâu nhất, do đó tốc độ phân hủy hợp chất hữu cơ là lớn nhất, và thời gian phân hủy trong pha ưa nhiệt kéo dài nhất, vì vậy hiệu suất giảm chất hữu cơ là tốt nhất.

3.3. Đánh giá khả năng nảy mầm của hạt

Sản phẩm phân ủ compost sau khi theo dõi các yếu tố quá trình và tính chất lý hóa như nhiệt độ, độ ẩm, pH, tỉ lệ C/N, hàm lượng chất hữu cơ, cho thấy compost sau khi ủ 30 ngày đã đạt đến độ ổn định. Một cách khác đánh giá độ ổn định và độ hoai mục của compost là thực hiện phép đo khả năng nảy mầm của hạt đối với các mẫu compost đã được thực hiện. Kết quả phép đo khả năng nảy mầm của hạt được trình bày ở Bảng 5.

Bảng 5. Hệ số hạt đậu xanh nảy mầm của các mẫu compost

Mẫu	Hệ số nảy mầm GI (%)
BR	81,5±0,25
BV	78,6±0,16
BH	84,7±0,22

Hệ số nảy mầm hạt đậu xanh đạt cao nhất của mẫu phối trộn bùn thải và cả loại hai vật liệu (BH) là 84,7±0,22%; mẫu phối trộn với vỏ trấu (BV) thấp nhất 78,6±0,16%; mẫu phối trộn với rom (BR) là 81,5±0,25%. Cả ba mẫu đều có hệ số hạt nảy mầm khá tốt. Trong quá trình ủ phân, nếu sản phẩm compost chưa đạt đến độ ổn định, sẽ chứa các axit hữu cơ gây độc thực vật (Meng & cs., 2021). Bằng phép đo hệ số hạt nảy mầm, sẽ nhận biết sự có mặt các axit hữu cơ, từ đó xác định được độ ổn định của sản phẩm compost tạo thành (Kong & cs., 2022).

4. Kết luận

Bùn thải từ HTXLNT nhà máy chế biến thủy sản có độ ẩm cao, tỉ lệ C/N thấp và độ xốp thấp được phối trộn với rom và vỏ trấu để tạo hỗn hợp ủ ban đầu có độ ẩm, tỉ lệ C/N, độ xốp phù hợp cho quá trình ủ phân. Tiến hành ủ phân quy mô thùng ủ, sục khí cơ học và đảo xới định kỳ.

Qua khảo sát các thông số quá trình ủ phân như nhiệt độ, độ ẩm, tỉ lệ C/N, hàm lượng chất hữu cơ và đánh giá khả năng nảy mầm của hạt, cho thấy sản phẩm compost ổn định sau 30 ngày ủ. Do đó, rom và vỏ trấu là các vật liệu phù hợp để phối trộn với bùn thải HTXLNT nhà máy chế biến thủy sản sản xuất compost.

Mẫu bùn thải phối trộn với rom đạt đến pha ưa nhiệt ở ngày thứ 6 của quá trình nhưng duy trì không lâu, độ ẩm giảm nhanh, hàm lượng chất hữu cơ giảm 51,9%. Mẫu bùn thải phối trộn với vỏ trấu chậm đạt đến pha ưa nhiệt, pH khá thấp, hàm lượng chất hữu cơ giảm 39,8%. Trong 3 mẫu, mẫu BH đạt đến pha ưa nhiệt sớm, nhiệt độ tối đa cao nhất (57°C) và khoảng thời gian duy trì trên 55°C là 3 ngày. Hàm lượng chất hữu cơ giảm 54,%. Nghiệm thức có tỉ lệ phối trộn theo khối lượng bùn : rom : vỏ trấu = 1 : 0,18 : 0,15 cho thấy tốc độ và quá trình phân hủy chất hữu cơ tốt nhất trong ba nghiệm thức.

Việc lựa chọn loại vật liệu và tỉ lệ phối trộn là bước đầu tiên quyết định quá trình và chất lượng của sản phẩm compost tạo thành. Trong ba yếu tố độ ẩm, tỉ lệ C/N và độ lưu thông khí, hiện nay chỉ có hai yếu tố là độ ẩm và tỉ lệ C/N được xác định. Cần có các nghiên cứu xác định sự tối ưu cả ba yếu tố, độ ẩm, tỉ lệ C/N và độ lưu thông khí trong nguyên liệu ban đầu.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được hỗ trợ kinh phí đề tài cấp cơ sở mã số CT.2024.10 của Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh.

Tài liệu tham khảo

- Arrau, A. H. (1996). *U.S. Patent No. 5,534,437*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Cai, L., Chen, T. B., Gao, D., & Yu, J. (2016). Bacterial communities and their association with the bio-drying of sewage sludge. *Water Research, 90*, 44-51.
- Cesaro, A., Belgiorno, V., & Guida, M. (2015). Compost from organic solid waste: Quality assessment and European regulations for its sustainable use. *Resources, Conservation and Recycling, 94*, 72-79.
- Cromell, C. (2010). *Composting for Dummies*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Diaz, L. F., De Bertoldi, M., & Bidlingmaier, W. (Eds.). (2011). *Compost science and technology*. Elsevier.
- Dume, B., Hanc, A., Svehla, P., Michal, P., Chane, A. D., & Nigussie, A. (2023). Composting and vermicomposting of sewage sludge at various C/N ratios: Technological feasibility and end-product quality. *Waste Management, 263*, 115-255.
- Epstein, E. (1997). *The Science of Composting*. CRC Press
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., & Shen, Y. (2012). Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource technology, 112*, 171-178.
- Kong, Y., Wang, G., Chen, W., Yang, Y., Ma, R., Li, D., Shen, Y., Li, G., & Yuan, J. (2022). Phytotoxicity of farm livestock manures in facultative heap composting using the seed germination index as indicator. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 247*, 114251.
- Lê, T. K. O., & Trần, T. M. D. (2015). Nghiên cứu sản xuất compost nhằm tái sử dụng bùn thải từ nhà máy xử lý nước thải chế biến cá da trơn. *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ, 18*(M2), 99-115.
- Meng, L., Li, W., Zhang, S., Zhang, X., Zhao, Y., & Chen, L. (2021). Improving sewage sludge compost process and quality by carbon sources addition. *Scientific Reports, 11*(1), 1319.
- Mohee, R., & Mudhoo, A. (2005). Analysis of the physical properties of an in-vessel composting matrix. *Powder Technology, 155*(1), 92-99.
- Nguyễn, H. (Ngày 24/08/2024). Việt Nam là quốc gia đứng thứ ba thế giới về xuất khẩu thủy sản. Công thương. Truy cập từ <https://congthuong.vn/viet-nam-la-quoc-gia-dung-thu-3-the-gioi-ve-xuat-khau-thuy-san-341147.html>.
- Nguyễn, T. P., Nguyễn, M. H., Đỗ, T. X., Võ, T. T. T., & Lâm, N. T. (2016). Đặc tính bùn thải từ hệ thống xử lý nước thải của nhà máy sản xuất bia và chế biến thủy sản. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ, (45)*, 74-81.
- Nguyễn, T. P., & Nguyễn, H. (2023). Assessment of physical and chemical characteristics of bio-organic compost from seafood sludge. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 1184.
- Poincelot, R. P. (1974). A scientific examination of the principles and practice of composting. *Compost Sci, 15*, 24-31.
- Puyuelo, B., Ponsá, S., Gea, T., & Sánchez, A. (2011). Determining C/N ratios for typical organic wastes using biodegradable fractions. *Chemosphere, 85*(4), 653-659.
- Ranalli, G., Bottura, G., Taddei, P., Garavani, M., Marchetti, R., & Sorlini, C. (2001). Composting of solid and sludge residues from agricultural and food industries. Bioindicators of monitoring and compost maturity. *Journal of Environmental Science and Health, Part A, 36*(4), 415-436. <https://doi.org/10.1081/ESE-100103473>.
- Richard, T. L., Hamelers, H. V. M., Veeken, A., & Silva, T. (2002). Moisture relationships in composting processes. *Compost Science & Utilization, 10*(4), 286-302.
- Trần, T. P. M. (Ngày 06/07/2020). Thực trạng môi trường ở các cơ sở chế biến thủy sản. *Tạp chí Thương mại thủy sản*. Truy cập từ <https://thuysanvietnam.com.vn/thuc-trang-moi-truong-o-cac-co-so-che-bien-thuy-san/>.
- Vo, D. N. K., Tokuoka, M., Phan, N. T., & Tran, V. Q. (2022). The Effect of Adding Wood Chips on The Decomposition of Sludge from Seafood Processing Wastewater Treatment System. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1009*(1), 012003. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1009/1/012003>.
- Võ, D. N. K., & Trần, V. Q. (2021). Áp dụng Quá trình Co-Composting ổn định bùn thải từ hệ thống xử lý nước thải Chế biến thủy sản. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng, 19*(11), 1-6.
- Yañez, R., Alonso, J. L., & Díaz, M. J. (2009). Influence of bulking agent on sewage sludge composting process. *Bioresource technology, 100*(23), 5827-5833.