

PROCESSING ORGANIC SOLID WASTE INTO ORGANIC FERTILIZER USING CONTINUOUSLY OPERATING EQUIPMENT

Dang Thi Hong Phuong^{1*}, Van Huu Tap²

¹Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center

²Center for New Technology Development - Thai Nguyen University

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	26/8/2025	The study was conducted to develop an automated, continuous module for processing organic waste into organic fertilizer, applied at a military unit stationed in Thai Nguyen province. Organic solid waste arises from daily activities and self-sufficiency production operations, such as pig farming, vegetable cultivation, and collective kitchens at the unit. According to the research team's survey results, organic waste accounts for 70% of the total waste volume generated. Based on the regular generation of organic waste at the unit, the study proceeded to design and install one automated composting system operating on a continuous mechanism with a capacity of 100–200 kg of waste per day-night cycle. The fertilizer product processed by this module meets the organic fertilizer standards as stipulated in QCVN 01-189:2019/BNNT. Specifically, it has a high organic matter content exceeding 30%, C/N ratio below 12, absence of pathogenic microorganisms such as <i>E. coli</i> and <i>Salmonella</i> , and heavy metal contents such as Pb, Cd, As, and Hg lower than permitted levels. For military units, the research results contribute to building units that perform well in environmental protection tasks and waste recycling to utilize as fertilizer for on-site self-sufficiency production activities.
Revised:	06/11/2025	
Published:	10/11/2025	
KEYWORDS		
Organic waste		
Organic fertilizer		
Automated composting		
Environmental protection		
Waste recycling		

XỬ LÝ CHẤT THẢI RẮN HỮU CƠ LÀM PHÂN BÓN HỮU CƠ BẰNG THIẾT BỊ VẬN HÀNH LIÊN TỤC

Đặng Thị Hồng Phương^{1*}, Văn Hữu Tập²

¹Trung tâm Nhiệt đới Việt – Nga, ²Trung tâm Phát triển công nghệ mới - ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	26/8/2025	Nghiên cứu này thực hiện nhằm xây dựng được mô đun xử lý chất thải hữu cơ tự động, liên tục làm phân bón hữu cơ áp dụng tại một đơn vị quân đội đóng quân trên địa bàn tỉnh Thái Nguyên. Chất thải rắn hữu cơ phát sinh từ sinh hoạt và hoạt động tăng gia sản xuất như chăn nuôi lợn, trồng rau màu, bếp ăn tập thể tại đơn vị. Theo kết quả khảo sát của nhóm nghiên cứu, rác thải hữu cơ chiếm 70% khối lượng rác thải phát sinh. Căn cứ vào lượng rác thải hữu cơ phát sinh thường xuyên tại đơn vị, nghiên cứu đã tiến hành thiết kế, lắp đặt 01 hệ thống ủ phân tự động theo cơ chế liên tục công suất 100 - 200 kg rác/ngày đêm. Sản phẩm phân bón được xử lý bằng mô đun này đạt tiêu chuẩn phân hữu cơ theo quy định tại QCVN 01-189:2019/BNNT. Cụ thể, hàm lượng chất hữu cơ cao đạt trên 30%, tỷ lệ C/N dưới 12, không còn các vi sinh vật gây bệnh như <i>E. coli</i> và <i>Salmonella</i> . Hàm lượng các kim loại nặng như Pb, Cd, As và Hg thấp hơn cho phép. Đối với các đơn vị quân đội, kết quả của nghiên cứu góp phần xây dựng đơn vị thực hiện tốt nhiệm vụ bảo vệ môi trường và tuần hoàn chất thải tận dụng làm phân bón cho hoạt động tăng gia sản xuất tại chỗ.
Ngày hoàn thiện:	06/11/2025	
Ngày đăng:	10/11/2025	
TỪ KHÓA		
Chất thải hữu cơ		
Phân bón hữu cơ		
Ủ phân tự động		
Bảo vệ môi trường		
Tuần hoàn chất thải		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.13491>

* Corresponding author. Email: hongphuong83@gmail.com

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và áp lực môi trường ngày càng gia tăng, việc bảo vệ môi trường không chỉ là nhiệm vụ thường xuyên mà còn là yếu tố chiến lược lâu dài đối với các đơn vị quân đội, nơi môi trường gắn chặt với hoạt động quân sự và đời sống bộ đội [1]. Từ năm 2011, thực hiện Nghị quyết số 11/NQ-CP ngày 24 tháng 02 năm 2022 của Thủ tướng Chính phủ về những giải pháp chủ yếu tập trung kiểm chế lạm phát, ổn định kinh tế vĩ mô bảo đảm an sinh xã hội, toàn quân đã đẩy mạnh phong trào tăng gia sản xuất (TGSX), tạo nguồn lương thực thực phẩm ổn định tại chỗ. Điều này không chỉ nâng cao khả năng sẵn sàng chiến đấu mà còn góp phần đảm bảo an ninh lương thực quốc gia. Tuy nhiên, sự phát triển mạnh mẽ của TGSX – từ chăn nuôi lợn, gà đến trồng rau màu và chế biến tập trung – đã dẫn đến lượng chất thải rắn hữu cơ (CTRHC) tăng vọt, chiếm tới 70% tổng chất thải phát sinh tại các đơn vị [2]. Nếu không xử lý kịp thời, các bãi rác này sẽ gây ô nhiễm môi trường doanh trại, mất mỹ quan. Tình trạng này còn gây lãng phí tài nguyên hữu cơ, và buộc đơn vị phụ thuộc phân bón hóa học đắt đỏ, tăng chi phí sản xuất cũng như rủi ro sức khỏe [3], [4].

CTRHC, bao gồm thức ăn thừa, lá cây, phân gia súc và các chất hữu cơ khác, chứa đầy các hợp chất các bon dễ phân hủy sinh học, nhưng việc quản lý chúng đòi hỏi quy trình phức tạp, phù hợp với từng điều kiện cụ thể [3]. Theo các nghiên cứu gần đây, Việt Nam sản sinh khoảng 25 triệu tấn chất thải hữu cơ hàng năm, với tỷ lệ tái chế chỉ đạt 10-15%, dẫn đến phát thải khí nhà kính và ô nhiễm nước ngầm [5], [6]. Trong môi trường quân đội với quỹ đất hạn chế và yêu cầu vệ sinh cao, việc xây dựng mô đun xử lý CTRHC quy mô nhỏ-vừa, tự động hóa với gia nhiệt và ủ liên tục sẽ giảm rủi ro môi trường, tiết kiệm diện tích, rút ngắn thời gian chuyển hóa chất thải thành phân bón hữu cơ chất lượng cao, hỗ trợ tuần hoàn kinh tế và giảm chi phí 30-50% so với phân hóa học [7], [8].

Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm thiết kế hệ thống ủ phân tự động liên tục công suất 100-200 kg/ngày, sản xuất phân bón hữu cơ đạt chuẩn QCVN 01-189:2019/BNNT [9], góp phần tái sử dụng chất thải cho hoạt động tăng gia sản xuất tại đơn vị quân đội đóng quân trên địa bàn tỉnh Thái Nguyên.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu nghiên cứu

- Chất thải rắn hữu cơ: Gồm phân lợn sau ép và rác thải rắn hữu cơ từ hoạt động tăng gia sản xuất (vỏ rau củ, vỏ trái cây, chất thải vườn, chất thải bếp ăn tập thể, v.v.) của một đơn vị bộ binh đóng quân trên địa bàn tỉnh Thái Nguyên.

- Hệ thống ủ phân hữu cơ liên tục chế tạo bởi Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga.

- Chế phẩm vi sinh: Chế phẩm Bio.HC22 là sản phẩm của đề tài nghiên cứu khoa học do Phân viện Công nghệ Sinh học/ Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga chủ trì. Chế phẩm vi sinh xử lý chất thải hữu cơ Bio. HC22 được xây dựng từ tổ hợp 5 chủng vi sinh vật đã được định danh và đăng ký mã số trên ngân hàng Genbank [10], [11] gồm: 1 chủng nấm men *Saccharomyces cerevisiae* TNY13.09, 2 chủng xạ khuẩn *Streptomyces* sp. TNA22.04 và *Streptomyces* sp. XM21, 2 chủng vi khuẩn *Azospirillum* sp. LT2 và *B. subtilis* V12. Các chủng giống sản xuất được bảo quản trong glycerol 20% ở -80 °C và được hoạt hóa, kiểm tra khả năng sinh trưởng phát triển, hoạt tính sinh học trước khi đưa vào sản xuất trong môi trường thích hợp.

2.2. Phương pháp điều tra, khảo sát thực địa và thu thập tài liệu

Điều tra tình hình phát sinh, hiện trạng công tác xử lý chất thải hữu cơ tại một số đơn vị bộ binh đóng quân trên địa bàn tỉnh Thái Nguyên. Phương pháp tiến hành: Khảo sát trực quan, phỏng vấn trực tiếp cán bộ chiến sĩ tại các đơn vị, thống kê lượng rác thải phát sinh hàng ngày bằng cách phân loại, cân và ghi chép số liệu.

2.3. Thiết kế, chế tạo hệ thống xử lý chất thải rắn hữu cơ tự động, liên tục để tạo phân compost phục vụ hoạt động trồng trọt tại đơn vị

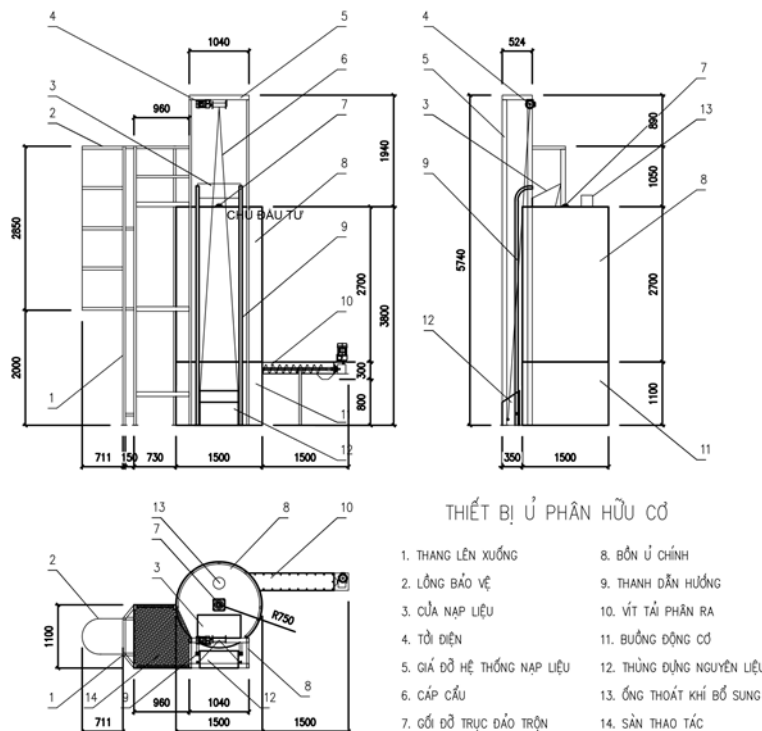
a) Xác định các thông số của mô hình

Các thông số về lượng phát thải và thành phần chất thải phát sinh từ sinh hoạt và các hoạt động tăng gia, sản xuất của đơn vị là số liệu đầu vào có sở cho việc thiết kế quy mô và các thông số, tính năng của mô đun. Chính vì vậy, việc điều tra khảo sát và xác định chính xác các thông số nói trên là hết sức quan trọng, thể hiện được sự tối ưu hoá và hiệu quả kinh tế, xã hội và môi trường của hệ thống.

Kết quả điều tra khảo sát tại các đơn vị cho thấy, công tác phân loại rác thải tại nguồn được thực hiện tương đối tốt. Lượng rác thải hữu cơ phát sinh hàng ngày với lượng tương đối ổn định, trung bình từ 120 - 150 kg/ngày. Nguồn rác chủ yếu gồm rác hữu cơ từ bếp ăn tập thể, vườn rau tăng gia và lượng nhỏ từ sinh hoạt của cán bộ, chiến sĩ, thiết bị ủ phân được thiết kế với quy mô ủ 100 - 200 kg rác hữu cơ/ngày. Do lượng rác thải hữu cơ có độ ẩm cao, để đảm bảo quá trình vi sinh vật phân hủy chất thải diễn ra tối ưu, thiết bị ủ được thiết kế hệ thống gia nhiệt, cấp khí và khuấy đảo tự động.

b) Xác định đặc tính nguyên liệu ủ compost

Rác thải hữu cơ được lấy mẫu về xác định các thông số hóa lý sinh như: độ ẩm, pH, chất hữu cơ (%), N tổng số (%), chì (Pb) (ppm), Asen, (As) (ppm), Cadimi (Cd) (ppm), thủy ngân (Hg) (ppm), *Salmonella*, và *E.coli* theo các tiêu chuẩn và hướng dẫn về phân tích trong môi trường hiện hành.



Hình 1. Sơ đồ thiết kế thiết bị ủ phân hữu cơ liên tục

c) Thiết kế và hoàn thiện mô hình

Thiết bị được thiết kế đảm bảo việc ủ phân được thực hiện theo các yêu cầu của ủ phân compost hiếu khí: Vật liệu ủ được đảo trộn, cấp khí và gia nhiệt đảm bảo tối ưu các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình ủ phân compost.

Thiết bị ủ phân liên tục được thiết kế như Hình 1, chế tạo bằng vật liệu inox. CTRHC được nạp vào hàng ngày qua thiết bị nạp phân, phân sau ủ được đưa ra bằng hệ thống vít tải. Tủ điều

hiện có thể điều chỉnh các thông số đảo trộn, cấp khí, nạp phân và lấy phân ra theo yêu cầu. Công suất ủ từ 100 - 200 kg rác thải hữu cơ/ngày.

Hệ thống ủ phân hữu cơ bao gồm các thiết bị chính với thông số kỹ thuật chi tiết như sau: Máy nghiền thô, xuất xứ Việt Nam, sử dụng động cơ 2,2 kW, điện áp 3P/380V/50Hz, kích thước 550x550x1100 mm, đạt năng suất 500-1500 kg/h, với số lượng 01 cái. Tháp ủ phân (inox 304, đường kính 1500 mm, cao 2700 mm, công suất 200 kg/ngày, 01 cái) được trang bị trục và cánh khuấy với 3 tầng. Động cơ đảo trộn sử dụng động cơ Tungle IE1-132M-4, công suất 7,5 kW, điện áp 3P/380V/50Hz, hộp số K87-86.34-132-60, tốc độ quay 2,3-11,6 vòng/phút, do hãng Parma (Trung Quốc) sản xuất năm 2022, số lượng 01 cái. Hệ thống nạp liệu gồm thùng chứa 0,1 m³, động cơ tời 0,75 kW, làm từ inox 304, số lượng 01 cái. Hệ thống ra liệu cũng sử dụng inox 304, với động cơ giảm tốc 0,75 kW, số lượng 01 cái. Máy thổi khí có công suất 1,1 kW, điện áp 1 P/ 220 V/ 50 Hz, lưu lượng khí 2,6 m³/phút, số lượng 01 cái. Thanh gia nhiệt công suất 2 kW, tích hợp timer điều chỉnh nhiệt độ tự động, số lượng 01 cái. Cuối cùng, tủ điện điều khiển được làm từ thép CT3, sơn Epoxy, tích hợp các thiết bị như atomat, rơ le, khởi từ, von kế, ampe kế, lắp đặt đồng bộ, với số lượng 01 hệ.

Trong quá trình vận hành, tùy thuộc vào chất lượng của phân đầu ra mà người sử dụng có thể điều chỉnh các thông số về lượng đầu vào, thời gian và tần suất đảo trộn. Ngoài ra, lượng nhiệt và lượng khí cấp cũng có thể được điều chỉnh để quá trình ủ phân cho ra sản phẩm theo mong muốn.

2.4. Đánh giá chất lượng phân ủ

Phân sau khi được ủ hoại thì lấy mẫu để phân tích thành phần các chất để đánh giá, bao gồm pH_{H₂O}, chất hữu cơ (%), tỷ lệ C/N, độ ẩm (%), nitơ tổng số (%), chì (ppm), Asen (ppm), Cadimi (ppm), thủy ngân (ppm), *E. Coli* (MPN/g), và *Salmonella* (MNP/g). Số lượng mẫu đã lấy và phân tích là 7 từ mẫu ban đầu cho đến mẫu ở các ngày ủ thứ 20, 25, 30, 35, 40 và 45 với số lần lặp lại 3 lần.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Đặc điểm thành phần rác thải tại đơn vị

Đơn vị điều tra khảo sát là một tiểu đoàn bộ binh đóng quân trên địa bàn tỉnh Thái Nguyên. Các hoạt động chuyên môn kỹ thuật phát sinh chất thải là không đáng kể, chủ yếu là chất thải rắn từ sinh hoạt và tăng gia sản xuất như chăn nuôi (lợn, gà, bò), chế biến thực phẩm (giết mổ lợn, làm đậu) và bếp ăn tập thể. Chất thải sinh hoạt gồm rác thực phẩm, giấy, bìa các tông, và lọ thủy tinh không nguy hại. Chất thải bể phốt được xử lý trong bể tự hoại khép kín. Các đơn vị đã thực hiện phân loại rác thải, tuy nhiên vẫn còn hiện tượng để lẫn rác thải. Chất thải hữu cơ từ sinh hoạt được thu gom và đổ đồng trong bể chứa (bể xây nửa nổi nửa chìm), rác tự thổi mục gây mất mỹ quan, mùi khó chịu và ruồi muỗi xung quanh. Chất thải từ hoạt động chăn nuôi của đơn vị chủ yếu là phân lợn và phân gà. Phân gà phát sinh không đáng kể, thường được thu gom bón lót cho vườn tăng gia. Phân lợn xả chung dòng nước rửa chuồng xuống bể thu gom và qua máy ép phân, phân lợn sau ép được tận dụng làm phân hữu cơ. Chất thải từ chế biến thực phẩm (bếp ăn tập thể) gồm rác vô cơ như túi nilon, vỏ chai lọ, v.v. được thu gom riêng và rác hữu cơ có khả năng phân hủy như thức ăn thừa, cọng rau, vỏ trái cây; thức ăn thừa một phần được tận dụng nuôi lợn, gà còn lại được đem đổ chung vào bể chứa rác thải hữu cơ sinh hoạt.

Nhìn chung, đơn vị đã thực hiện công tác phân loại rác tại khu tập kết rác, thuận lợi cho quá trình xử lý rác thải hữu cơ. Tuy nhiên, rác thải hữu cơ hiện mới chỉ đổ đồng trong các bể xây nửa nổi nửa chìm, che bằng bạt và tự phân hủy dẫn đến gây mùi hôi thối và ruồi muỗi cho khu vực xung quanh. Tính chất của CTRSH phát sinh đơn vị được thể hiện ở Bảng 1. Lượng lớn chất thải rắn hữu cơ phát sinh chủ yếu từ hoạt động tăng gia sản xuất và chế biến của đơn vị (chăn nuôi lợn, bếp ăn tập thể, trồng trọt), chiếm khoảng 70% lượng rác thải phát sinh và có độ ẩm tương đối lớn (từ 68,6 - 80,0%).

Bảng 1. Một số tính chất của CTRSH tại các đơn vị

TT	Thành phần	Tỷ lệ % (theo khối lượng)	Độ ẩm%
1	CTRHC phân hủy được (chất thải rắn hữu cơ từ chăn nuôi, thực phẩm thừa từ nhà bếp, sinh hoạt)	69,53	68,6-80,0
2	Chất thải tái chế (vỏ lon bia, chai lọ nhựa,...)	12,97	-
3	Chất thải vô cơ đốt được (Giấy, bia carton, túi nilong, lá cây cành cây khô...)	17,5	-
4	Chất thải khác (pin, thủy tinh vỡ,...)	4,85	-

3.2. Xây dựng và vận hành mô hình thiết bị ủ phân compost từ chất thải hữu cơ

3.2.1. Xây dựng mô hình thiết bị ủ phân compost từ chất thải hữu cơ

Mô hình hệ thống ủ phân compost được thiết kế và chế tạo với các thiết bị và thông số chính như mô tả ở mục 2.3. Hệ thống được đưa vào vận hành thử nghiệm và đánh giá thực tế tại đơn vị từ tháng 8 năm 2023 (Hình 2).

**Hình 2. Hệ thống thiết bị ủ phân compost quy mô 100 - 200 kg rác/ngày**

Các thành phần chính của mặt ngoài tủ điện: (1) Đèn báo pha, (2) Đồng hồ đo dòng điện, (3) Công tắc kiểm tra dòng điện - Điều khiển công tắc quay về hướng RS để đo dòng điện 380 V, (4) Đồng hồ đo hiệu điện thế, (5) Nút dừng khẩn. Khi bị sự cố bất ngờ thì bấm vào nút này để dừng cấp điện cho mọi thiết bị, (6) Công tắc điều khiển Máy ép phân, (7) Công tắc điều khiển bơm chìm. Các thành phần chính của mặt trong tủ điện: (1) Aptomat tổng gồm 3 pha nóng và 1 pha lạnh sắp xếp lần lượt từ trái qua phải, (2) Aptomat điều khiển từng thiết bị, (3) Role nhiệt, (4) Đầu đấu động cơ vào tủ điều khiển.

3.2.2. Vận hành mô hình thiết bị ủ phân compost từ chất thải hữu cơ

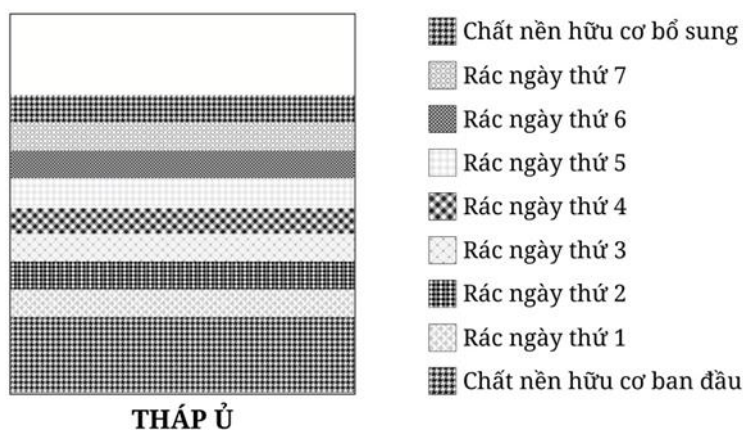
Quy trình ủ phân compost từ CTRHC gồm 4 công đoạn chính là: Phân loại, thu gom và xử lý sơ bộ bộ CTRHC; ủ CTRHC trong thiết bị ủ; ủ hoạt hóa; đóng bao thành phẩm phân compost (Hình 3).

a) Bước 1: phân loại, thu gom và xử lý sơ bộ

Chất thải từ chuồng nuôi lợn được hút từ bể gom và ép khô, thu khoảng 50-60 kg phân mỗi giờ ép mỗi ngày. Chất thải rắn hữu cơ từ sinh hoạt và trồng trọt, bao gồm rác từ bếp ăn, gốc cây, lá rau già, và lá cây từ các vườn, được thu gom hàng ngày. Các loại rác kích thước lớn như thân cây chuối, xương cá, hoặc gốc rau được nghiền thô bằng máy nghiền, đạt kích thước 2-3 cm. Để ủ phân compost, rác hữu cơ sau khi thu gom và nghiền được trộn với phân lợn ép khô theo tỷ lệ 70% rác hữu cơ và 30% phân lợn, đảm bảo tỷ lệ C/N tối ưu (25-30) cho quá trình phân giải vi sinh. Chế phẩm vi sinh Bio.HC22 được bổ sung với liều lượng 300 g/100 kg vật liệu, rắc đều vào mỗi lớp rác và phân lợn ngay khi bắt đầu ủ, giúp thúc đẩy phân hủy, rút ngắn thời gian và nâng cao chất lượng phân thành phẩm

b) Bước 2: ủ nóng

Rác hữu cơ sau khi bổ sung chế phẩm vi sinh Bio.HC22, được đưa vào tháp ủ thông qua hệ thống nạp liệu. Đối với lần ủ đầu tiên, đổ 1 m³ (khoảng 500-600 kg) phân hữu cơ đã ủ hoại mục (độ ẩm dưới 20%) vào tháp ủ để làm lớp chất nền. Hệ thống thiết bị được cài đặt hoạt động tự động: đảo trộn (15 phút, nghỉ 12 giờ), gia nhiệt đến 40-50 °C (30 phút, nghỉ 6 giờ), và thổi khí gián đoạn (30 phút, nghỉ 1 giờ). Nhiệt độ trong tháp ủ được duy trì tối thiểu 50 °C để vi sinh vật hoạt động mạnh, có thể đạt tới 70 °C khi vi sinh vật ưa nhiệt hoạt động cao nhất, thúc đẩy quá trình phân hủy chất thải. Những ngày tiếp theo, rác hữu cơ được thu gom, bổ sung chế phẩm vi sinh Bio.HC22 và đưa vào tháp ủ qua hệ thống nạp liệu. Nếu mỗi ngày đưa vào 100-200 kg rác thì sau 30 ngày vận hành, mỗi ngày thu khoảng 2 bao phân (25 kg/bao) từ vít tải, đổ đóng để ủ chín. Cứ sau mỗi tuần, lấy 2 bao phân và đổ trở lại tháp ủ làm lớp đệm cho nguyên liệu tiếp theo. Nhân viên vận hành cần kiểm tra hàng ngày hệ thống điện và các chế độ vận hành để đảm bảo thiết bị hoạt động ổn định.



Hình 3. Mô hình phân bố vật liệu ủ trong tháp ủ

c) Bước 3: ủ nguội

Sau khoảng 30 ngày ủ nóng trong tháp ủ liên tục, rác hữu cơ chuyển sang màu nâu đất và độ ẩm giảm, báo hiệu giai đoạn ủ chín. Phân được đưa ra khỏi tháp qua hệ thống vít tải, tiếp tục ủ nguội trong không gian riêng, bổ sung chế phẩm vi sinh Bio.HC22 (200 g/100 kg) và ủ hoạt hóa thêm 5 - 7 ngày để đảm bảo phân chín hoàn toàn. Tổng thời gian ủ compost từ khi thu gom rác là 30 - 35 ngày. Khi đóng ủ có màu nâu đen, vật liệu vụn hoàn toàn và nhiệt độ tương đương môi trường, quá trình ủ kết thúc. Phân compost được lấy mẫu, đánh giá theo Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng phân bón [9], sau đó đóng bao và sử dụng để bón cho cây trồng.

3.3. Đánh giá hiệu quả ủ phân compost từ chất thải hữu cơ

Trong vận hành thiết bị, nhiệt độ vật liệu ủ tăng từ ngày thứ 1, đạt đỉnh 70 °C sau 20 ngày, sau đó giảm dần – khoảng nhiệt độ tối ưu cho phân hủy sinh học. Đây là khoảng nhiệt độ tối ưu cho phân hủy sinh học. Các tuần tiếp theo, nhiệt độ đồng ủ thấp dần và tương đương nhiệt độ của môi trường và vật liệu ủ chuyển sang màu đen, cho thấy quá trình ủ đã hoàn thành và phân đã hoai. Hiệu quả ủ phân của hệ thống được đánh giá thông qua kết quả phân tích các chỉ tiêu mẫu vật liệu ủ trong thời gian ủ compost. Kết quả phân tích mẫu được trình bày ở Bảng 2. Vật liệu ủ gồm hỗn hợp phân lợn sau ép và rác hữu cơ khác được phối trộn có tỷ lệ C/N = 26,3, nằm trong khoảng 25 - 30 là rất lý tưởng cho quá trình phát triển và phân giải chất hữu cơ của vi sinh vật.

Kết quả từ Bảng 2 cho thấy, chế phẩm Bio.HC22 và thiết bị ủ phân mang lại hiệu quả khoáng hóa tốt. Sau 30 ngày, độ ẩm còn khoảng 40%; đến ngày 35, phân chín hoàn toàn với hàm lượng ổn định, không phát hiện vi khuẩn gây bệnh (*Salmonella*, *E. coli*) và kim loại nặng, đạt quy định QCVN 01-189:2019/BNNT [9]. Phân hữu cơ hoai cũng được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng đến sinh trưởng phát triển và độ an toàn của cây trồng (rau cải bẹ). Kết quả đánh giá ảnh hưởng của việc bón phân hữu cơ được ủ từ hệ thống nghiên cứu đến năng suất và các yếu tố cấu thành năng suất của cải bẹ cho thấy cải bẹ sống bình thường và có thể đạt được năng suất lý thuyết trên 40 tấn/ha và năng suất thực tế đạt trên 30 tấn/ha. Đối với quy mô phát sinh chất thải rắn hữu cơ như ở địa bàn nghiên cứu, việc sử dụng thiết bị ủ compost cho thấy nhiều ưu điểm so với phương pháp ủ đánh đồng truyền thống. Thời gian ủ được rút ngắn nhờ được bổ sung hệ thống gia nhiệt và thổi khí. Quá trình ủ không phát sinh ruồi muỗi, không có hiện tượng nước rỉ rác do nguyên liệu sau ủ được quay vòng làm chất độn giúp hấp thụ lượng nước phát sinh từ rác thải mới bổ sung. Ngoài ra, thiết bị không cần nhân công đảo trộn hàng tuần. Như vậy, quy trình ủ phân compost sử dụng chế phẩm Bio.HC22 với quy mô 100-200 kg/ngày phù hợp với hiện trạng rác thải tại đơn vị. Sản phẩm đạt tiêu chuẩn QCVN 01-189:2019/BNNT [9], với hàm lượng hữu cơ > 30%, C/N < 12, không vi sinh vật gây bệnh và kim loại nặng thấp hơn giới hạn.

Bảng 2. Kết quả phân tích mẫu phân compost ủ từ thiết bị ủ phân liên tục

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Thời gian ủ phân (ngày)							QCVN 01-189/2019 BNNT [9]
			Ngày đầu	20	25	30	35	40	45	
1	pH H ₂ O		7,4	7,8	7,6	7,7	7,2	7,3	7,1	
2	Chất hữu cơ	% chất khô	66,7	48,96	36,96	32,4	32,35	30,76	30,48	≥ 20
3	Tỷ lệ C/N	-	26,3			9,8	8,60	8,74	8,75	-
4	Độ ẩm	%	65,8	42,40	40,10	39,4	30,5	29,5	29,7	-
5	Nito tổng số	% chất khô	1,87	1,88	1,91	1,91	2,12	2,03	2,02	≤ 30
6	Chì (Pb)	ppm	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	≤ 1x10 ³
7	Asen, (As)	ppm	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH
8	Cadimi (Cd)	ppm	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH
9	Thủy ngân (Hg)	ppm	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH	≤ 200
10	<i>E.coli</i>	MPN/g	1,1x10 ³	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH	≤ 10
11	<i>Salmonella</i>	MPN/25g	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH	KPH	≤ 3

Hệ thống ủ phân liên tục vượt trội so với phương pháp ủ đánh đồng truyền thống. Thời gian ủ giảm từ 60 - 90 ngày (truyền thống) xuống 30 - 35 ngày, tiết kiệm 50 - 60% thời gian nhờ gia nhiệt và thổi khí tự động. Chi phí vận hành giảm 35 - 45% do loại bỏ nhân công đảo trộn (truyền thống cần 2 - 3 nhân công/tuần) và tiết kiệm 70% diện tích đất so với bãi ủ truyền thống. Hệ thống loại bỏ hoàn toàn nước rỉ rác (truyền thống phát sinh 10 - 15% khối lượng rác) và giảm 95% mùi hôi, ruồi muỗi, đảm bảo vệ sinh môi trường doanh trại [3], [5]. So với các mô hình ủ phân hiện đại, hệ thống ủ liên tục trong nghiên cứu có ưu thế nổi bật. Tại Việt Nam, mô hình ủ phân hộ gia đình [4] chỉ xử lý 10-50 kg/ngày, thời gian ủ 45 - 60 ngày và không kiểm soát được mùi hôi. Hệ thống trong nghiên cứu này (100-200 kg/ngày, 30-35 ngày) tiết kiệm 20-30% chi phí so với mô hình công nghiệp và loại bỏ hoàn toàn nước rỉ rác, phù hợp với điều kiện quân đội.

4. Kết luận

Nghiên cứu tại đơn vị quân đội ở Thái Nguyên cho thấy chất thải hữu cơ (chiếm 70%, độ ẩm 68,6 - 80,0%) từ chăn nuôi và chế biến thực phẩm có tiềm năng lớn để sản xuất phân compost. Hệ thống ủ phân compost quy mô 100-200 kg/ngày, sử dụng chế phẩm vi sinh Bio.HC22, đã được thiết kế và vận hành hiệu quả từ tháng 8 năm 2023. Quy trình ủ bao gồm phân loại, xử lý sơ bộ, ủ nóng, ủ nguội và đóng bao, hoàn thành trong 30-35 ngày, tạo ra phân compost đạt tiêu chuẩn. Phân hữu cơ đạt chuẩn QCVN 01-189:2019/BNNPTNT với chất hữu cơ > 30%, C/N < 12, không chứa vi khuẩn gây bệnh (*E. coli*, *Salmonella*) và kim loại nặng trong giới hạn. Hệ thống ủ liên tục với gia nhiệt và thổi khí giúp rút ngắn thời gian ủ, loại bỏ mùi hôi, ruồi muỗi và nước rỉ rác so với phương pháp ủ truyền thống. Kết quả thử nghiệm trên rau cải bẹ cho thấy phân compost hỗ trợ cây phát triển bình thường, đạt năng suất thực tế trên 30 tấn/ha. Mô hình này phù hợp với quy mô phát sinh rác thải tại địa bàn nghiên cứu, mang lại hiệu quả kinh tế và môi trường, góp phần quản lý chất thải bền vững và cung cấp nguồn phân bón chất lượng cho nông nghiệp.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của Trung tâm Nhiệt đới Việt - Nga thông qua đề tài cấp Tổng cục Hậu cần giao thực hiện từ năm 2022. Chúng tôi xin chân thành cảm ơn.

REFERENCES

- [1] M. A. Shpakovskaya, T. I. Ponka, and N. S. Kuklin, "Military Conflict in Vietnam: Environmental Consequences," in *The Handbook of Environmental Chemistry*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2025, pp. 1–18.
- [2] Ministry of Agriculture and Rural Development of Vietnam, "Military Conflict in Vietnam: Environmental Consequences," in *The Handbook of Environmental Chemistry*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2024, pp.1-18.
- [3] J. K. Seadon, "Integrated waste management – Looking beyond the solid waste horizon," *Waste Management*, vol. 26, no. 12, pp. 1327–1336, 2006.
- [4] D. B. Nguyen, F. Takeshi, D. C. Nguyen, and P. S. T. Pham, "Composting Activities in Vietnam -The Situation, Problems, and Challenges," *Chemical Engineering Transactions*, vol. 106, pp. 613–618, 2023.
- [5] M. Pergola, A. Persiani, A. M. Palese, *et al.*, "Composting: The way for a sustainable agriculture," *Applied Soil Ecology*, vol. 123, pp. 744–750, 2018.
- [6] H. Nguyen and H. N. Nguyen, "Current situation of greenhouse gas emissions in Vietnam: Opportunities and challenges," *Vietnam Journal of Hydrometeorology*, vol. 728, pp. 51–66, 2021.
- [7] H. N. Nguyen and H. Nguyen, "Implementing Circular Economy: International Experience and Policy Implications for Vietnam," *VNU Journal of Science Economics and Business*, vol. 35, pp. 68–81, 2019.
- [8] T. K. L. Tran and H. Q. Tran, "Developing a circular economy: international experience and recommendations for vietnam," *Banking Review*, vol. 30, pp. 50–59, 2025.
- [9] Ministry of Agriculture and Environment, "QCCV01-189:2019/BNNPTNT, National technical regulation on fertilizer quality," 2019.
- [10] T. H. P. Dang and T. T. Do, "Selection and identification of thermophilic yeast strains in leachate from the organic waste heap in Phu Luong district, Thai Nguyen province, Vietnam," in *E3S Web of Conferences*, 2023, Art. no. 01011.
- [11] T. T. Do, T. H. P. Dang, and V.T. Le, "Selection and identification of thermophilic actinobacterial strains with cellulase activity," *Journal of Tropical Science and Technology*, vol. 22, pp. 48–55, 2021.