

DOI:10.22144/ctujos.2023.173

SẢN XUẤT PHÂN HỮU CƠ TỪ RÁC THẢI SINH HOẠT

Nguyễn Xuân Hoàng^{1*}, Lê Minh Thuận¹, Trần Thảo Nguyên¹, Phan Thị Thanh Ngân¹, Trương Danh Nghiệp¹, Nguyễn Hoàng Nhân¹ và Trịnh Thị Long²

¹Trường Đại học Cần Thơ

²WWF Việt Nam

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Nguyễn Xuân Hoàng (email: nxhoang@ctu.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 30/12/2022

Ngày nhận bài sửa: 30/05/2023

Ngày duyệt đăng: 06/07/2023

Title:

Composting of municipal organic waste

Từ khóa:

Rác thải hữu cơ, nấm trichoderma, quy trình ủ phân

Keywords:

Municipal organic waste, trichoderma, operational composting process

ABSTRACT

Production of compost from municipal solid waste was conducted to evaluate the quality of organic fertilizer and its effect on plant. Input material was sorted organic waste and used *Trichoderma* fungi as additional microorganism. The experiment was carried out on an incubation batch of 0.144 m³, in two treatments without and with inoculum of *Trichoderma* at a dose of 20 g/m³. After 60 days of incubation, the operational parameters such as temperature, humidity, pH, volume loss, total carbon, and total nitrogen in the treatments decreased gradually over time; In contrast, total nitrogen and total digestible phosphorus increased. Compost product with pH, moisture, total carbon, total nitrogen and total phosphorus was pH 7.93, 34.2%, 15.18%, 1.52% and 2.65%, respectively. Large-scale batch composting with a volume of approximately 9.0 tons was also conducted and operational results were similar to those observed in the experimental scale. An operational composting process is recommended through the results of this study.

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá chất lượng phân hữu cơ và hiệu quả đối với cây trồng. Vật liệu ủ là chất thải hữu cơ được phân loại và có sử dụng nấm *Trichoderma*. Thí nghiệm thực hiện trên mẻ ủ thể tích 0,144 m³, ở hai nghiệm thức có bổ sung nấm *Trichoderma* với liều lượng 20 g/m³ và không dùng chế phẩm. Sau 60 ngày ủ, các chỉ số như nhiệt độ, ẩm độ, pH, sụt giảm thể tích, cac-bon tổng, ni-tơ tổng ở hai nghiệm thức giảm dần theo thời gian; ngược lại, tổng đạm, tổng lân dễ tiêu tăng. Sản phẩm phân sau ủ có pH, độ ẩm, tổng cacbon, tổng nito, tổng photpho theo thứ tự là 7,93, 34,2%, 15,18%, 1,52%, 2,65%. Mẻ ủ quy mô lớn ngoài thực tế với khối lượng ủ xấp xỉ 9,0 tấn cũng được thực hiện và cho kết quả tương đồng với kết quả ghi nhận ở thí nghiệm. Quy trình sản xuất phân compost được đề xuất thông qua kết quả nghiên cứu này.

1. GIỚI THIỆU

Lượng phát sinh chất thải rắn sinh hoạt (CTRSH) trung bình hàng ngày là 64.658 tấn/ngày;

trong đó, tỷ lệ thu gom và xử lý CTRSH tại khu vực đô thị trung bình đạt 92% và khu vực nông thôn đạt 66%, với khoảng 71% được chôn lấp (Bộ Tài nguyên Môi trường (TNMT), 2020). Lượng chất

thải rắn của khu vực đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) chiếm khoảng 14,6% cả nước (tương đương 9.429 tấn/ngày). Tỷ lệ thu gom CTRSH trung bình năm 2019 tại khu vực ĐBSCL thấp hơn của cả nước, chiếm 88,3% (khu vực đô thị) và 49,1% tại khu vực nông thôn. Ở tỉnh Long An, lượng chất thải rắn sinh hoạt đô thị thu gom hàng ngày là 585 tấn/ngày, phần lớn đang chuyển đổi sang công nghệ đốt rác phát điện với một phần đang kêu gọi đầu tư cho công nghệ ủ phân tại thị trấn Tân Hưng, huyện Vĩnh Hưng, huyện Mộc Hóa và thị xã Kiến Tường (Sở TNMT Long An, 2020).

Chôn lấp vẫn còn là giải pháp xử lý chính chiếm 54% so với lượng chất thải rắn phát sinh, khoảng 83% so với lượng chất thải rắn thu gom ở khu vực ĐBSCL và ước tính mỗi năm vùng này cần diện tích từ 26 đến 52 ha đất cho việc chôn lấp (Hoàng và ctv., 2014). Ở vùng ĐBSCL, chỉ có 2,93% rác thải sinh hoạt thu gom được ủ phân compost. Mặt khác, việc quy hoạch và chọn vị trí bãi rác cho khu vực đồng bằng rất khó khăn do vấn đề địa hình thấp và thiếu đất. Trong điều kiện đó, ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và nước biển dâng có thể sẽ làm cho các tác động môi trường sự thiếu hụt quỹ đất thêm nghiêm trọng (Hoàng và ctv., 2014).

Chất thải sinh hoạt ở tỉnh Long An có tỷ lệ hữu cơ chiếm 62% (Pfaff-Simoneit et al., 2021); với tỷ lệ hữu cơ cao thì phân hủy sinh học là giải pháp thích hợp nhất (Haug, 1991).

Các giải pháp thu hồi, tái chế trong đó có ủ phân compost gần đây được đề cập như một trong các giải pháp tiếp cận kinh tế tuần hoàn (Bekchanov & Mirzabaev, 2018; Sulewski, 2021). Tuy nhiên, Khu vực ĐBSCL hiện nay chỉ có duy nhất nhà máy xử lý chất thải rắn ở thành phố Sóc Trăng và vùng lân cận còn duy trì sản xuất (Sở TN&MT tỉnh Sóc Trăng, 2020) và chất lượng phân ủ cần phải được cải thiện để cung cấp cho thị trường. Phân compost hay phân hữu cơ là sản phẩm được tạo thành từ quá trình phân hủy chất hữu cơ (CHC), sử dụng để cải tạo đất trồng. Nhiều nghiên cứu phân hữu cơ sản xuất từ lục bình (Đức và ctv., 2014; Công và ctv., 2021), phân hữu cơ từ rác sinh hoạt (Toàn, 2010),... Tuy nhiên, hiện nay phân hữu cơ từ rác sinh hoạt vẫn chưa được sử dụng rộng rãi do thiếu thị trường và do thói quen sử dụng phân hóa học (Tùng, 2020).

Do đó, giải pháp hiệu quả để chuyển hóa chất hữu cơ thành phân compost là rất cần thiết và đó là cơ sở để thực hiện nghiên cứu này nhằm cải thiện chất lượng phân ủ góp phần đưa phân hữu cơ từ rác sinh hoạt vào thực tiễn và đóng góp cho tuần hoàn và tái chế rác thải hữu cơ.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Thí nghiệm ủ compost được bố trí từ rác sinh hoạt hữu cơ trên các khối ủ đồng nhất để xác định tốc độ hoại mục của vật liệu ủ và đánh giá chất lượng phân có so sánh với QCVN 01-189:2009/BNNPTNT và xây dựng quy trình sản xuất phân hữu cơ.

2.1. Phương tiện và phương pháp

2.1.1. Phương tiện nghiên cứu

Phương tiện nghiên cứu gồm: thùng nhựa 0,144 m³, cân; nhiệt kế, sàng kích thước lỗ 4 – 5 mm xác định kích thước hạt trong quá trình ủ.

a. Chuẩn bị vật liệu

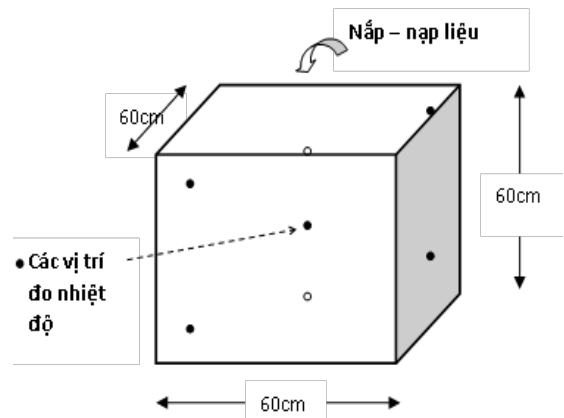
– Nguyên liệu: rác hữu cơ được thu gom từ dự án phân loại chất thải rắn tại thành phố Tân An (tỉnh Long An), vận chuyển về các điểm thí nghiệm tại Cần Thơ, phân loại lại và trộn đồng nhất;

– Chế phẩm sinh học nấm *Trichoderma* (Tricô-ĐHCT, Trường Nông nghiệp – Đại học Cần Thơ) có mật độ 10⁸ bào tử/g sản phẩm, dạng khô, liều lượng chuẩn 20g/m³, hạn sử dụng 1 năm.

– Hạt giống rau muống và cải ngọt được cung cấp bởi trang trại Trang Nông với thời gian thu hoạch rau muống là 23-30 ngày và cải ngọt 25-30 ngày. Đất sạch tại khu thực nghiệm của Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên. Phân compost là sản phẩm ủ thu được từ các nghiệm thức (NT) thực tế.

b. Bố trí thí nghiệm ủ phân

– Tiến hành bố trí thí nghiệm



Hình 1. Hình dạng khối ủ

Mô hình ủ thí nghiệm là các thùng xốp có kích thước 60 × 40 × 60 cm (V=0,144 m³), được bố trí ngẫu nhiên. Đáy thùng được thiết kế có vỉ lưới và có hệ thống thoát nước ra bên ngoài và hoàn lưu nước

ri (tươi ẩm). Nguyên liệu ủ được lên vừa chắt và với chiều cao 55 cm. Như vậy, thể tích của vật liệu chứa trong thùng ủ là $V=60\text{cm}\times40\text{cm}\times55\text{cm}$. Nguyên vật liệu ủ mỗi mẻ được chuẩn bị sẵn với khối lượng là 80 kg/nghiệm thức. Nghiệm thức thực nghiệm có kích thước luống $D_L\times R_L\times C_L=7,2\times2,5\times1,0$ m (khối lượng 8.908 kg).

Thí nghiệm được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với 3 lần lặp lại ở mỗi nghiệm thức, chất hữu cơ là nguyên liệu ủ chính kết hợp với nấm trichoderma. Nghiệm thức 1 (CHC): không sử dụng trichoderma; Nghiệm thức 2 (CHC-trico): có sử dụng *Trichoderma*; Nghiệm thức thực nghiệm (CHC-trico_tn): có sử dụng *Trichoderma*, 1 lần lặp. Nhiệt độ và ẩm độ trong quá trình ủ được ghi nhận hàng ngày ở thời gian đầu và 2-3 ngày/lần ở thời gian ổn định.

Thí nghiệm được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với 3 lần lặp lại ở mỗi nghiệm thức, chất hữu cơ là nguyên liệu ủ chính kết hợp với nấm trichoderma. Nghiệm thức 1 (CHC): không sử dụng trichoderma; Nghiệm thức 2 (CHC-trico): có sử dụng *Trichoderma*; Nghiệm thức thực nghiệm (CHC-trico_tn): có sử dụng *Trichoderma*, 1 lần lặp. Nhiệt độ và ẩm độ trong quá trình ủ được ghi nhận hàng ngày ở thời gian đầu và 2-3 ngày/lần ở thời gian ổn định.

– **Cách thức ủ:** Khu bố trí thí nghiệm rộng 24 m² nền bằng phẳng bằng bê tông và có mái che. Các nguyên liệu gồm CHC được trộn đều, cân khối lượng và cho vào thùng 144 L. Các nghiệm thức có sử dụng nấm *Trichoderma*–ĐHCT (Tricô-ĐHCT) với liều lượng 20 g/m³ ủ. Bạt được phủ quanh lên bề mặt nhằm hạn chế thoát nhiệt độ và giảm bốc thoát hơi nước. Các nghiệm thức ủ được bố trí ngẫu nhiên, khoảng cách nhỏ nhất giữa các nghiệm thức là 0,4 m.

– **Xới đảo:** xới đảo thủ công 1 lần/tuần hàng tuần nhằm cung cấp oxy để các vi sinh vật hiếu khí phân giải chất hữu cơ và đồng nhất các vật liệu trong mẻ ủ. Ngoài ra, xới đảo còn làm cho nguyên liệu tơi xốp, bốc thoát hơi nước được tốt hơn, các khu vực trong mẻ ủ được đảo trộn đều. Trong quá trình xới đảo, ẩm độ được kiểm tra và tiến hành thêm nước để điều chỉnh ẩm độ ở khoảng 60-70%, xới đảo 2-3 lần và bố trí vật liệu trở lại trong hộc ủ. Bắt đầu tuần thứ 5, ngưng thêm nước để giảm ẩm độ cho mẻ ủ kết hợp xới đảo cho đến ngày 60 và đến khi độ ẩm nhỏ hơn 35%. Đối với mẻ ủ thực tế, xới đảo thực hiện tương tự nhưng bằng xe cơ giới có gàu xúc lật.

c. Bố trí thí nghiệm trồng cây

– Thí nghiệm trong nhà lưới được bố trí theo thể thức khối hoàn toàn ngẫu nhiên với 3 nghiệm thức NT1 (100% phân ủ ~1,6 kg/m², NT2 (50% phân ủ ~0,8 kg/m² và NT3 (0% phân ủ - là nghiệm thức đối chứng). Cây được trồng, tưới 2 lần/ngày cho đến ngày thu hoạch (trừ ngày mưa); chỉ sử dụng phân hữu cơ, hoàn toàn không sử dụng phân hóa học và thuốc trừ sâu (bắt sâu khi phát hiện).

– Thời gian thực hiện 30 ngày (rau muống và cải ngọt). Chiều cao cây, đường kính thân, số lá, số chồi, độ dài lá, được theo dõi và lấy chỉ tiêu từ cây được 15 ngày đến 30 ngày (ngày thu hoạch) sau trồng. Năng suất cây trồng (kg/m²) được tính là khối lượng sản phẩm thu được trên 1 m² trong quá trình trồng.

Phân sinh học sau quá trình ủ được sử dụng để trồng cây, hai loại cây được chọn để trồng với phân là rau muống (RM) và cải ngọt (C) với 3 nghiệm thức khác nhau: NT1 (100% phân hữu cơ), NT2 (50% phân hữu cơ), NT3 (không dùng phân hữu cơ). Ký hiệu NT1_RM, NT2_RM, NT3_RM và NT1_C, NT2_C, NT3_C là các nghiệm thức 1, 2, 3 trên loại rau muống và cải ngọt.

2.1.2. Phương pháp thu và phân tích mẫu

a. Phương pháp thu mẫu

Vật liệu ủ phân sau khi phối trộn đều, mẫu được lấy theo phương pháp lấy mẫu và chuẩn bị mẫu đối với phân bón (10TCN 301-2005 của Bộ NN&PTNT); tiến hành lấy 10 mẫu nhỏ (khoảng 200 g/mẫu) riêng biệt tại các vị trí khác nhau của đồng ủ cho đến khi được khoảng 2 kg, trộn lại thành 1 mẫu, mẫu được lấy theo phương pháp đường chéo cho đến khi đủ 1 kg mẫu. Mẫu nguyên liệu đầu vào và mẫu trong quá trình ủ được lấy theo từng nghiệm thức ủ, chứa trong túi mẫu, ghi mã số và chuyển về phòng thí nghiệm.

b. Các chỉ tiêu phân tích

– Trong quá trình ủ, theo dõi và phân tích các chỉ số ẩm độ, pH, nhiệt độ, tổng cacbon, tổng nitơ, tổng photpho, kali và *Salmonella*. Thời gian thu mẫu và phân tích mẫu được thực hiện ở trước thí nghiệm, ngày thứ 15, 30, 45 và 60 sau khi bắt đầu thí nghiệm. Nhiệt độ và độ ẩm được theo dõi hàng ngày ở thời gian đầu, ở giai đoạn ổn định đo cách 2-3 ngày/lần. Các chỉ tiêu kim loại nặng (Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg, As), kích thước nguyên liệu và độ chín được đánh giá sau khi kết thúc quá trình ủ (ngày 60).

c. Phương pháp phân tích mẫu

Bảng 1. Phương pháp phân tích các chỉ số lý, hóa, sinh học

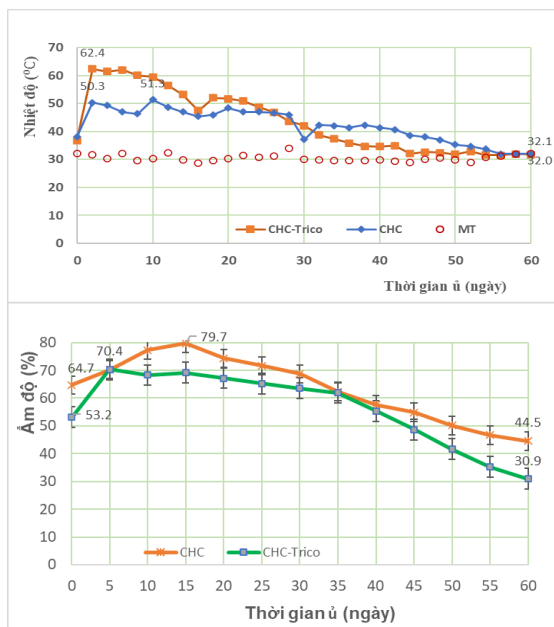
TT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Phương pháp xác định
1	Độ ẩm	%	Sấy ở 105°C đến khối lượng không đổi
2	Nhiệt độ	°C	Nhiệt kế
3	pH		Máy đo pH, tỉ lệ pha loãng 1:2,5
4	Chất hữu cơ	%C	Phương pháp Walkley-Black
5	TN	%N	Phương pháp Kjeldahl
6	TP	%P ₂ O ₅	Phương pháp so màu trên máy quang phổ ở bước sóng 880 nm
7	Kali	cmol(+)/kg	Trích bằng BaCl ₂ 0,1 M, đo trên máy hấp thụ nguyên tử Hitachi 180
8	<i>Samonella</i>	CFU/mL	Phương pháp đếm khuẩn lạc
9	Kim loại nặng (Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg, As)	mg/Kg	Phương pháp AOAC 975.03.
10	Đường kính	mm	Phương pháp rây sàng

Các thí nghiệm chất hữu cơ có và không có sử dụng trichoderma được thực hiện tại phòng thí nghiệm Xử lý chất thải rắn và Xử lý chất thải rắn tiên tiến (RLC); thí nghiệm thực tế (Ntt) bố trí tại nhà máy xử lý rác thải xã Đông Thắng, huyện Cờ Đỏ, thành phố Cần Thơ. Mẫu được phân tích tại trung tâm CATECH-Cần Thơ và tại phòng thí nghiệm Xử lý chất thải rắn và Xử lý chất thải rắn tiên tiến.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình ủ compost

3.1.1. Nhiệt độ và ẩm độ



Hình 2. Diễn biến nhiệt độ và ẩm độ của NT có và không có sử dụng *Trichoderma*

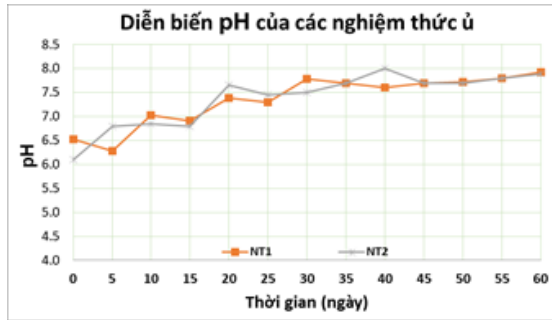
Ở giai đoạn sau (từ ngày thứ 26 trở đi), nhiệt độ ở nghiệm thức không có trichoderma còn duy trì cao hơn nghiệm thức có trichoderma. Điều này cho thấy rằng, ở NT có sử dụng *Trichoderma*, các quá trình phân hủy tốt hơn ở NT không có *Trichoderma* ở giai đoạn trước 26 ngày; vì vậy, giai đoạn sau ngày 26, các quá trình phân hủy chất hữu cơ không còn nên nhiệt độ ở giai đoạn sau ngày 26 giảm thấp hơn ở NT không có trichoderma. Nhiệt độ cao 50 – 62°C được duy trì trong hơn 3 tuần đầu ở NT sử dụng *Trichoderma* cho thấy các loài vi sinh vật ưa nhiệt phát triển mạnh và phân hủy chất hữu cơ rất nhanh (Marco de B, 1996); ngược lại ở NT không sử dụng *Trichoderma* có nhiệt độ thấp hơn và các vi sinh vật ưa nhiệt hạn chế hơn. Ban đầu NT không sử dụng *Trichoderma* có ẩm độ 70,4% còn NT sử dụng *Trichoderma* có ẩm độ 53,2% nên có bổ sung ẩm >60% nằm trong khoảng thích hợp cho vi khuẩn hiếu khí hoạt động (Konstanczak, 1999; Việt và ctv., 2013). Độ ẩm sau đó giảm dần theo thời gian và ở ngày cuối cùng đạt lần lượt là 44,5 và 30,9%. Ẩm độ của NT không sử dụng *Trichoderma* còn cao (44,5%) là do nhiệt độ của mẻ ủ này thấp hơn và kéo dài hơn. Ẩm độ NT sử dụng *Trichoderma* đạt yêu cầu và tương đồng với kết quả nghiên cứu của Phương (2011) là ẩm độ trong quá trình ủ giảm từ 53,28% đến 30,94% sau 60 ngày và Linh (2012) ẩm độ giảm từ 64% đến 31% sau 70 ngày.

3.1.2. pH

pH ở cả 2 nghiệm thức đều ở giá trị trung tính, dao động trong khoảng 6,1-7,9 (Hình 3).

Thường ở giai đoạn đầu, khi có sự chuyển hóa của chất hữu cơ thành a-xít hữu cơ, giá trị của pH sẽ giảm; nhưng có thể do thời gian ủ ban đầu chậm nên có thể ảnh hưởng đến quá trình sinh a-xít vì thế các

giá trị pH không giảm. Sau giai đoạn thích nghi, pH tăng dần và ổn định ở ngưỡng khoảng pH 7,6-7,9. Điều này cũng phù hợp với ngưỡng pH thích hợp cho quá trình phân hủy chất hữu cơ pH từ 5,5-9,0 (Robertet al., 1992).



Hình 3. Diễn biến pH theo thời gian giữa các nghiệm thức

Qua theo dõi các yếu tố ảnh hưởng đến sự phân hủy của chất hữu cơ trong các nghiệm thức về nhiệt độ, ẩm độ, pH cho thấy các yếu tố này đều thích hợp cho ủ compost có xới đảo. Không có sự biến động lớn về nhiệt độ, ẩm độ, pH giữa các nghiệm thức.

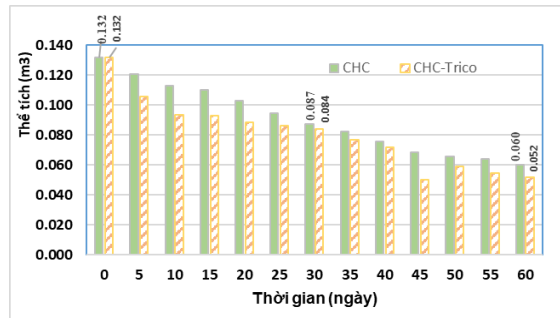
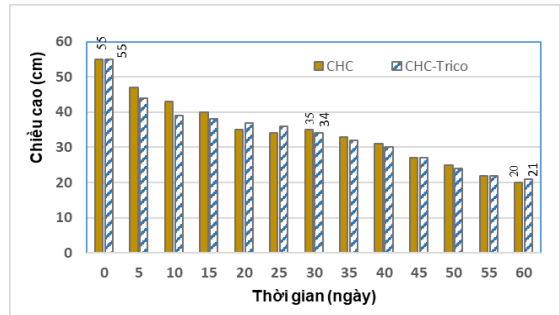
3.2. Khả năng hoại mục của chất hữu cơ trong các nghiệm thức

3.2.1. Sự thay đổi thể tích (% thể tích còn lại so với ban đầu)

Sụt giảm thể tích là một chỉ tiêu đánh giá khả năng phân hủy của các nguyên liệu ủ. Các giá trị chiều cao và thể tích được ghi nhận, tính toán và thể hiện trong Hình 4.

Trong giai đoạn ủ, chiều cao của NT không sử dụng *trichoderma* và NT sử dụng *trichoderma* ban đầu là 55 cm và 0,132 m³ giảm lần lượt ở ngày 30 là 35 cm và 0,084 m³ và đến ngày 60 là 21 cm và 0,052 m³ (Hình 4); tương ứng với tỷ lệ sụt giảm chiều cao ở ngày 30 là 33,93% và 36,36%, ở ngày 50 là 54,54% và 60,60%. Theo đó, thể tích ở NT có và không có sử dụng *trichoderma* cũng giảm ở tỷ lệ tương tự. Như vậy, sau 60 ngày ủ thì thể tích giảm hơn 60% ở cả hai nghiệm thức, kết quả này phù hợp với nghiên cứu trước đó ủ phân compost từ phân gà, bùn và rơm rạ với tỷ lệ giảm thể tích 59 – 66% (Nga và ctv., 2014). Từ sau ngày ủ 45 –60, nguyên liệu ủ ở các nghiệm thức đã chuyển sang màu nâu đen của mùn.

So sánh sự sụt giảm thể tích giữa các nghiệm thức cho thấy có sự khác biệt không lớn giữa chiều cao và thể tích; nhưng có thể có sự khác biệt về khối lượng thể tích do độ ẩm và độ chặt khác nhau.



Hình 4. Sụt giảm thể tích và chiều cao của NT có và không có sử dụng *Trichoderma*

3.2.2. Đường kính hạt (% lượng hạt lọt qua rây)

Đường kính hạt giúp xác định độ đồng đều và độ mịn của phân qua rây cỡ 4-5 mm. Do rác ban đầu có ẩm độ cao nên việc khảo sát đường kính hạt chỉ thực hiện ở giai đoạn ủ cuối cùng. Ở ngày thứ 60, tỷ lệ lọt qua rây sàng 5 mm của NT không sử dụng *trichoderma* và NT sử dụng *trichoderma* là 90,01% và 94,22%. Tỷ lệ này nhỏ hơn 95% theo TCN 526-2002 BNN&PTNT. Tuy nhiên, có thể do rác đầu vào chưa được phân loại tốt nên tỷ lệ còn lại có chứa nhóm không phân hủy phải thải bỏ. Tỷ lệ lọt qua rây sàng ở NT sử dụng *trichoderma* xấp xỉ đạt 95% là mức có thể chấp nhận được.

3.2.3. Tổng cacbon (%)

Cacbon tổng số của các nghiệm thức được tổng hợp trong Bảng 2. Bảng 2 cho thấy cacbon giảm dần theo thời gian và có khác biệt có ý nghĩa thống kê và phù hợp với ghi nhận của Trang (2012).

Sau 30 ngày ủ, cacbon tổng số ở các nghiệm thức giảm đáng kể, tốc độ giảm trung bình trong khoảng 27,5%- 29,5% do vi sinh vật đã phân hủy chất hữu cơ phức tạp thành đơn giản, làm cho các nguyên liệu ủ trở nên tối xốp và giải phóng khí CO₂. Giai đoạn từ 30 đến 60 ngày, hàm lượng cacbon ở nghiệm thức giảm chậm lại là do quá trình chuyển hóa chậm diễn ra ở giai đoạn ổn định, hàm lượng cacbon chuyển hóa trung bình khoảng 17,8%-18,5%, cụ thể TC của NT không sử dụng *trichoderma* và NT có sử dụng

trichoderma đạt lần lượt là 18,78% và 19,57%, đều lớn hơn 13% đạt 10TCN 526-2002.

3.2.4. Tổng ni-tơ (%)

Bảng 3 trình bày diễn biến tổng ni-tơ (TN) của các nghiệm thức theo thời gian. Bảng 3 cho thấy sau 15 ngày ủ TN ở các nghiệm thức có sự biến động nhưng không có nhiều khác biệt so với ban đầu. Ở NT không sử dụng *trichoderma*, TC còn có xu hướng giảm và tăng trở lại; còn ở NT có sử dụng *trichoderma* các giá trị của TN tăng dần. Ở nghiệm thức NT không sử dụng *Trichoderma* và sự hoạt động của mẻ ủ cũng không kiểm soát nên các diễn biến của ni-tơ không theo quy luật. Ở NT có sử dụng *trichoderma*, TN tăng dần đến khi kết thúc nghiệm thức ủ. Ở ngày 60, TN ở các NT không sử dụng *trichoderma* và có sử dụng *trichoderma* đạt lần lượt là 1,58% và 1,99%. Nhìn chung, đạm tăng dần nhưng cũng chưa đạt ngưỡng 2,5% (theo 10TCN 526:2002 nhưng có sự chuyển hóa đáng kể của đạm trong nghiệm thức ủ.

Trong quá trình ủ, vi sinh vật sử dụng cacbon nhiều gấp 20-40 lần nitơ, một phần được giải phóng dưới dạng CO₂, một phần được đồng hóa vào tế bào làm cho phần trăm TN tăng lên (Chiếm và ctv., 2006).

3.2.5. Tỷ lệ C/N

Bảng 4 cho thấy tỷ lệ C/N ban đầu của NT không sử dụng *trichoderma* và NT có sử dụng *trichoderma* là 35,05 và 35,40 nằm trong khoảng thích hợp cho quá trình ủ compost 20/1-40/1 (Việt, 2003). Theo thời gian, tỷ lệ C/N của các nghiệm thức giảm dần và nhanh chóng đạt giá trị lần lượt là 11,85 và 9,84. Các giá trị C/N này tương đồng nghiên cứu về rác thải hữu cơ C/N dao động trong khoảng 8,72 đến 11,72 (Toàn và ctv., 2010). Jiménez và García (1992) cho rằng tỉ lệ C/N nhỏ hơn 12 thể hiện độ chín phù hợp và có độ hoại mục tốt vì nó không làm thay đổi sự cân bằng hệ vi sinh trong đất (Allison, 1973). Tỉ lệ C/N giữa 9 và 10 được xem là phân hữu cơ bán hủy (hemi-compost) (Bernal et al., 1998; Zorpas et al., 1999).

Bảng 2. Diễn biến TC (%) giữa các nghiệm thức theo thời gian

Nghiệm thức	Ngày				
	1	15	30	45	60
CHC	33,06±0,02	28,54±0,20	23,34±0,10	23,41±0,01	18,78±0,16
CHC-Trico	32,90±0,11	25,39±0,08	23,82±0,01	19,96±0,14	19,57±0,08

Bảng 3. Diễn biến tổng ni-tơ (%) của các nghiệm thức theo thời gian

Nghiệm thức	Ngày				
	1	15	30	45	60
CHC	0,85±0,002	1,04±0,002	0,85±0,000	0,96±0,003	1,59±0,000
CHC-Trico	0,93±0,001	1,17±0,001	1,17±0,005	1,46±0,003	1,99±0,003

Bảng 4. Diễn biến tỷ lệ C/N giữa các nghiệm thức theo thời gian

Nghiệm thức	Ngày				
	1	15	30	45	60
CHC	35,05	27,61	21,17	24,43	11,85
CHC-Trico	35,40	21,70	20,40	13,68	9,84

Bảng 5. Diễn biến TP (%P₂O₅) và Kali theo thời gian

Nghiệm thức	Ngày				
	1	15	30	45	60
CHC_TP	0,43±0,001	0,68±0,004	0,89±0,003	1,81±0,004	1,81±0,001
CHC-Trico_TP	0,46±0,002	0,58±0,001	0,80±0,006	1,87±0,004	2,09±0,007
CHC_K	-	-	-	-	1,40±0,015
CHC-Trico_K	-	-	-	-	1,96±0,029

Ghi chú: Trung bình ± SD, n=3; “-”: các giá trị không khảo sát

Nhìn chung, các nghiệm thức hoại mục sau 30 ngày với tỷ lệ C/N dao động 9,58-10,36. Theo Larney & Hao (2007) tỷ lệ C/N xấp xỉ 10 thì mẻ ủ

được xem là ổn định. Tuy nhiên, các thông số về ẩm độ, nhiệt độ chưa đáp ứng yêu cầu của mẻ ủ thuận thực. Do đó, để đáp ứng các yêu cầu về chất lượng phân compost thì các nghiệm thức cần kết thúc sau

45 ngày. Tỷ lệ C/N sau 45 ngày ù dao động trong khoảng 5,87-6,29, phù hợp với chất lượng phân sau

ù theo quy định về phân bón và kết quả này cũng phù hợp với QCVN 01-189:2019 (C/N ≤ 12).

Bảng 6. Hàm lượng kim loại nặng trong phân compost

Nghiệm thức	Kim loại nặng (đầu ra, mg/kg)							
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg	As
CHC	10,56	0,44	31,95	44,66	15,77	165,29	KPH	KPH
CHC-Trico	11,05	0,47	30,23	53,93	14,2	202,85	KPH	KPH
QCVN 01-189:2019/BNNPTNT	<200	<5,0	-	-	-	-	≤2	≤10

Ghi chú: KPH: không phát hiện

3.2.6. Tổng phospho (%P₂O₅), tổng kali

Diễn biến của tổng lân (TP) và giá trị tổng kali được trình bày ở Bảng 5. Trong quá trình ù, hàm lượng TP tăng dần đặc biệt là ở ngày ù 45 và 60, các NT không sử dụng *trichoderma* và NT có sử dụng *trichoderma* đạt giá trị 1,81% và 2,09%. Hàm lượng lân hữu hiệu nằm trong khoảng giá trị TP ≥ 1,0% và <8 đạt QCVN 01-189:2019/BNNPTNT. Tuy nhiên, các giá trị TP này thấp hơn nghiên cứu đối với bùn và vật liệu phối trộn khác TP = 2,43-2,70% (Nga và ctv., 2014); và kết quả nghiên cứu về rác thải sinh hoạt với TP trong khoảng 1,30% – 1,85% (trước mùa gió mùa); 3,4 – 4,1% (trong mùa gió mùa) (Manohara & Belagali, 2014).

Tương tự, tổng kali ở ngày 60 của các nghiệm thức NT không sử dụng *trichoderma* và NT có sử dụng *trichoderma* lần lượt là 1,40% và 1,96%. Các giá trị kali này là khoáng chất cần thiết cho phân compost sau ù; nhưng trong quá trình ù, giá trị này không ảnh hưởng nhiều đến quá trình chuyển hóa của chất hữu cơ. Hàm lượng kali trong phân ở NT có sử dụng *trichoderma* ≥ 1,5% và đạt QCVN 01-189:2019/BNNPTNT.

3.2.7. Salmonella và các chỉ tiêu cảm quan khác

Salmonella được đánh giá ở cuối giai đoạn ù cho tất cả các nghiệm thức, xác định theo đơn vị log CFU/g. Kết quả phân tích *Salmonella* của NT không sử dụng *trichoderma* và NT có sử dụng *trichoderma* ở 3 lần lặp đều không phát hiện; điều này khẳng định rằng mẻ ù an toàn về vi sinh. Về các chỉ tiêu cảm quan cũng có những dấu hiệu tốt. Màu sắc chuyển từ màu của rác sang màu nâu – đen của mùn. Mùi ghi nhận giảm đáng kể từ mùi đặc trưng của rác (mùi hôi nồng kết hợp giữa mùi trứng thối, mùi bắp cải thối, cá ươn,...) sang mùi đặc trưng của phân compost hoại mục. Bên cạnh đó, ban đầu xuất hiện ruồi nặng, ruồi giấm ở nguyên liệu hữu cơ, nhưng sản phẩm phân compost không còn hấp dẫn ruồi nữa. Kích thước nguyên liệu ù giảm đáng kể, có thể nhìn và đánh giá bằng mắt thường (kết hợp với rây sàng ở trong quá trình sàng).

3.3. Hàm lượng kim loại nặng

Kim loại nặng là chỉ tiêu đánh giá chất lượng phân ù đầu ra và cũng là chỉ tiêu chất lượng phân nhóm chất thải sinh hoạt thông thường hay chất thải nguy hại. Do chất thải đầu tươi và thô rất khó đồng nhất nên chỉ phân tích và đánh giá cho phân sau khi ù. Có 7 kim loại nặng được khảo sát và kết quả phân tích được liệt kê trong Bảng 6, gồm Pb (chì), Cd (Cadimi), Cr (Crom), Cu (đồng), Ni (Niken), Zn (kẽm), Hg (Thủy ngân) và As (Asen).

Bảng 6 trình bày các giá trị kim loại nặng đều thấp và rất thấp so với ngưỡng kim loại nặng cho phép ở QCVN 01-189:2019/BNNPTNT của Bộ NNPTNT; trong đó, có Hg và As ở ngưỡng không phát hiện. Như vậy, xét về kim loại nặng thì phân hữu cơ đều an toàn cho môi trường.

Như vậy, từ kết quả phân tích chất lượng nêu trên kết hợp với các chỉ tiêu cảm quan về màu và mùi, ta thấy nghiệm thức NT có sử dụng *trichoderma* tốt hơn NT không sử dụng *trichoderma*.

3.4. Ủ phân thực tế và đánh giá chất lượng phân ù

Từ kết quả nghiên cứu trình bày ở mục 3.3, nghiệm thức thực tế được tiến hành theo tỷ lệ phối trộn của nghiệm thức NT sử dụng *trichoderma*. Diễn biến chất lượng của mẻ ù thực tế được đánh giá như sau:

3.4.1. Diễn biến của pH, độ ẩm, kích thước vật liệu của mẻ ù

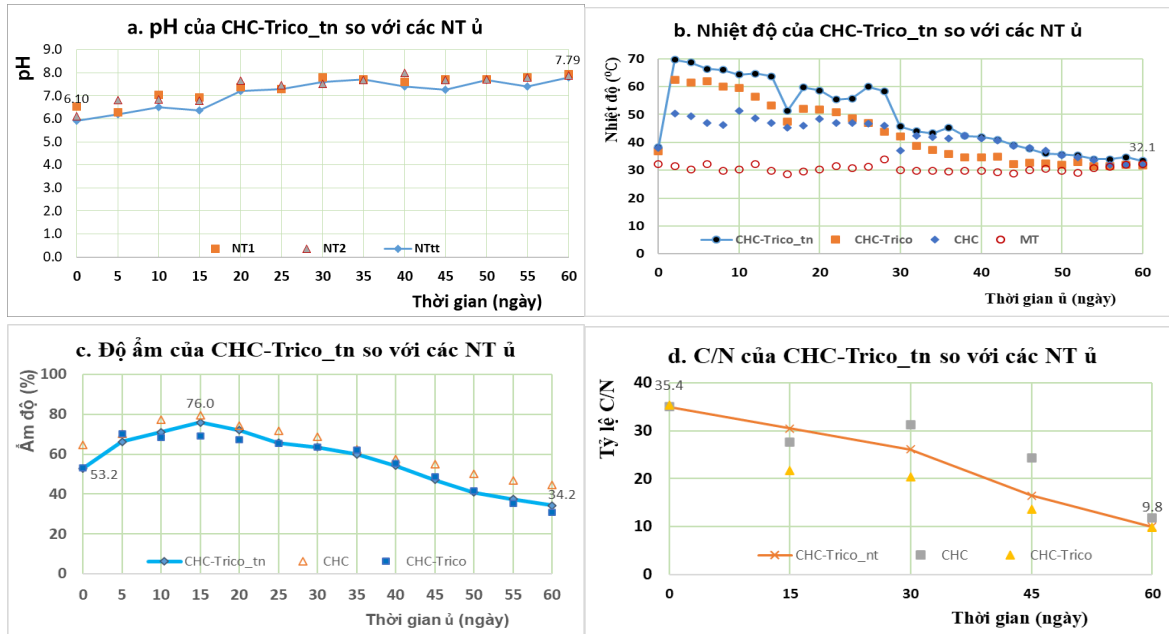
Tương tự quá trình ù ở PTN, nghiệm thức thực tế (CHC-Trico_tn) được vận hành ở mẻ ù lớn (khối lượng 8.908 kg. Diễn biến của các thông số vận hành được ghi nhận và thể hiện trên biểu đồ Hình 5.

Kết quả trình bày ở Hình 5 cho thấy pH của Nt tăng dần từ ngày ù đầu tiên pH 6,1 đến pH 7,8 ở ngày ù 60; các giá trị dao động của pH nằm trong khoảng pH 6,1 – 7,8 đều thích hợp cho quá trình ù phân. Trong đó, các giá trị pH theo xu hướng tăng; tại ngày thứ 10 pH 6,5 giảm nhẹ về pH 6,35 ở ngày thứ 15. Điều này cho thấy các nguyên liệu ù chất

hữu cơ từ rác thải sinh hoạt gần như không có sự ảnh hưởng của giai đoạn sinh a-xít (làm giảm pH) lên quá trình ủ.

Nhiệt độ của quá trình ủ cũng là một chỉ tiêu vận hành quan trọng. Căn cứ vào diễn biến của nhiệt độ ở Hình 5, nhiệt độ của mẻ ủ thực tế tăng nhanh và đạt nhiệt độ cao nhất (70°C) ở ngày thứ 2 và có xu hướng giảm dần từ đây cho đến ngày thứ 30 thì nhiệt

độ tiệm cận với nhiệt độ ghi nhận trong 2 nghiệm thức NT1 và NT2. Nhiệt độ cao từ 60 đến 70°C giữ ở ngày thứ 2 đến ngày 15 trong mẻ ủ (2 tuần) và trong khoảng 50 – 70 °C ở thời gian ngày thứ 2 đến ngày 29 (4 tuần). Điều này cho thấy rằng ở nghiệm thức ủ thực tế, nhiệt độ giữ ổn định và duy trì tốt hơn ở mẻ ủ thí nghiệm. Các vi sinh vật ưa nhiệt vì thế thích nghi và hoạt động tốt hơn.



Hình 5. Diễn biến các chỉ tiêu đánh giá trong nghiệm thức ủ thực tế CHC-Trico_tn

Với ảnh hưởng của nhiệt độ trong quá trình ủ, nhiệt độ ở nghiệm thức thực tế (Ntt) (Hình 5c.), độ ẩm của nguyên liệu ủ diễn biến thay đổi tăng ẩm từ 58,2% ở ngày 1 đến 76,0% ở ngày 15 và sau đó giảm dần về 34,2% ở ngày thứ 60. Điều này cũng là do quá trình ủ có nhiệt độ tốt hơn, ẩm độ của nghiệm thức vì thế cũng bốc thoát ra môi trường nhanh hơn làm cho độ ẩm giảm nhanh.

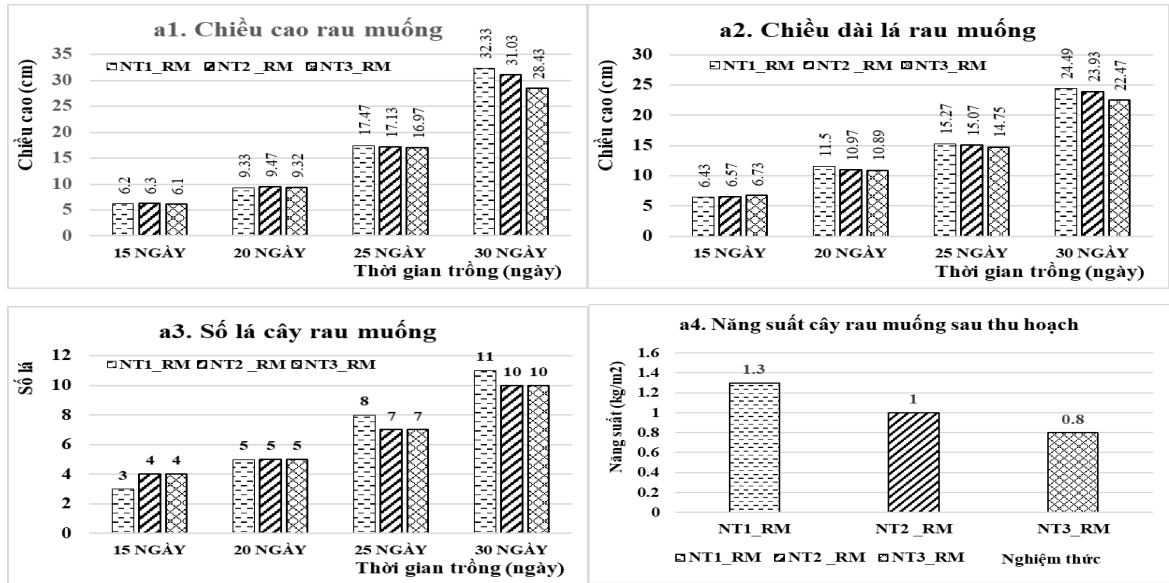
C/N của quá trình ủ ở NTtt cũng biến thiên giống như ở NT1 và NT2, ở ngày đầu tiên C/N đạt 35,4 và ở ngày 60 C/N đạt 9,8. Giá trị C/N cho thấy rằng mẻ ủ NTtt cũng đạt độ hoai mục cần thiết của mẻ ủ.

3.4.2. Đánh giá hiệu quả của phân đối với cây trồng

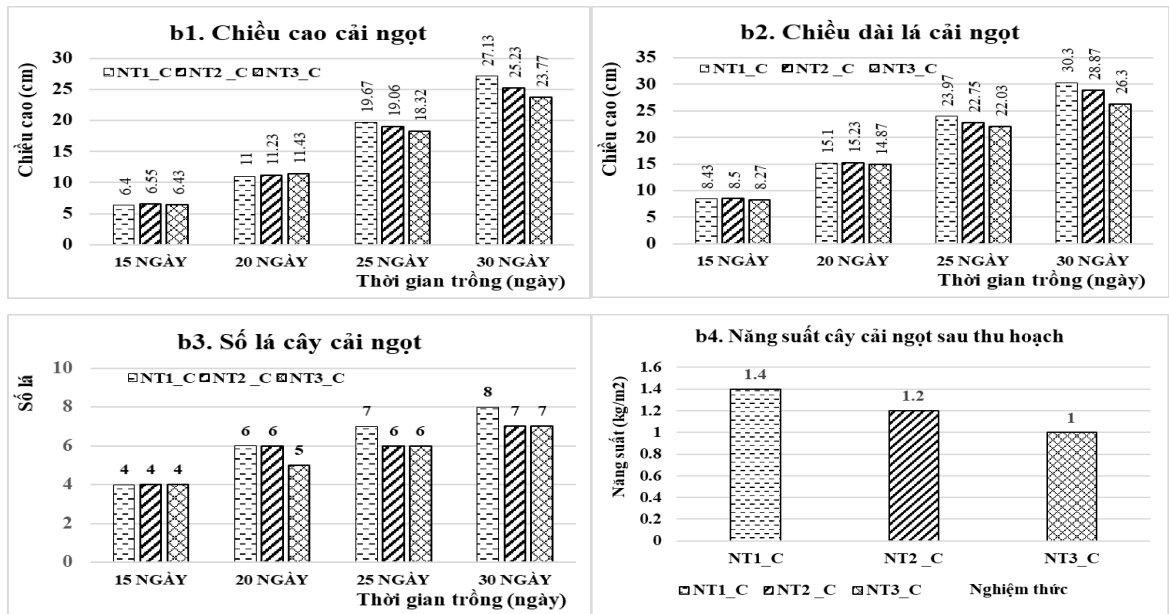
Quá trình khảo sát ổn định bắt đầu từ ngày 15, ở các mốc thời gian 15 ngày, 20 ngày, 25 ngày và 30 ngày. Chiều cao cây, chiều dài lá, số lá và năng suất

cây được khảo sát và mô tả thông qua biểu đồ Hình 6 và Hình 7.

Hình 6 và Hình 7 cho thấy rau muống và cải ngọt đều phát triển tốt hơn ở nghiệm thức 1 (NT1) sử dụng 100% phân hữu cơ. Cây trồng có sự phát triển liên tục từ ngày trồng đến ngày thu hoạch (30 ngày). Khác nhau không lớn về số lá, nhưng chiều cao cây, chiều dài lá và năng suất cây trồng có sự khác biệt. Cụ thể, ở ngày thu hoạch (30 ngày) cây rau muống ở các nghiệm thức NT1_RM, NT2_RM, NT3_RM có chiều cao lần lượt là 32,33 cm, 31,03 cm, 28,43 cm; chiều dài lá và số lá lần lượt là 24,49 cm, 23,93 cm, 22,47cm và 11 lá, 10 lá, 10 lá. Tương tự, cải ngọt NT1_C, NT2_C, NT3_C có chiều cao lần lượt là 27,13 cm, 25,23 cm, 23,77 cm; chiều dài lá và số lá lần lượt là 30,30 cm, 28,87 cm, 26,30 cm và 8 lá, 7 lá, 7 lá ở ngày thu hoạch (30 ngày).



Hình 6. Sự tăng trưởng của rau muống



Hình 7. Sự tăng trưởng của cải ngọt

Năng suất là chỉ tiêu quan trọng nhất trong đánh giá hiệu quả cây trồng, ngày thu hoạch cây rau muống ở các nghiệm thức NT1_RM, NT2_RM, NT3_RM có năng suất là 1,3 kg/m², 1,0 kg/m², 0,8 kg/m²; tương tự, cây cải ngọt ở các nghiệm thức NT1_C, NT2_C, NT3_C có năng suất là 1,4 kg/m², 1,2 kg/m², 1,0 kg/m². Như vậy, có thể thấy rằng rau muống cải ngọt ở nghiệm thức có phân hữu cơ có năng suất cao nhất và có các chỉ số về chiều cao cây, chiều dài lá, số lá trội hơn so với các nghiệm thức còn lại là NT2 (50% phân hữu cơ) và nghiệm thức

không dùng phân hữu cơ. Do đó, có thể kết luận rằng, phân hữu cơ có ảnh hưởng tích cực đến sự tăng trưởng và phát triển của cây trồng; cụ thể là rau muống và cải ngọt. Vì vậy, có thể nhận định rằng phân compost sử dụng thích hợp cho 2 loại cây trồng rau muống và cải ngọt.

3.4.3. Đánh giá chất lượng của phân ủ ở các nghiệm thức

Phân hữu cơ sau ủ đã được phân tích và đánh giá qua các nội dung trên, các chỉ tiêu quan trọng được

thống kê trong Bảng 7 nhằm so sánh và lựa chọn loại phân và đề xuất quy trình ủ. Phân hữu cơ ở nghiệm thức thí nghiệm NT2 được đánh giá là tốt nhất và được chọn thực hiện triển khai ở nghiệm thức thực tế NTtt. Các kết quả so sánh với QCVN 01-189:2019/BNNPTNT phần lớn đều đạt, một số giá

trị ghi nhận chưa đạt như độ ẩm, TN và TP (NT2). Hàm lượng TN rất khó đáp ứng do phụ thuộc vào nguyên liệu đầu vào; tương tự TP của nghiệm thức NT2 cũng còn thấp. Nhưng giá trị TP ở mẻ ủ thực tế ghi nhận cao hơn và đạt tiêu chuẩn.

Bảng 7. Tổng hợp các chỉ tiêu chất lượng của phân ủ

Chỉ tiêu	Nghiệm thức			QCVN 01-189:2019/BNNPTNT
	NT1	NT2	NTtt	
Đường kính hạt (% hạt lọt qua rây 4-5 mm)	90,01	94,22	93,31	≥ 90
Độ ẩm (không lớn hơn) (%)	44,50	30,90	34,20	≤ 30
pH	7,93	7,89	7,93	≥ 5
TC (%)	18,78	19,57	15,18	≥ 15
TN (%)	1,59	1,99	1,52	≥ 2,0
Tỷ lệ C/N	11,80	9,80	10,00	≤ 12
TP (%)	1,81	2,09	2,653	-
Kali tổng số (%)	1,403	1,957	2,133	-
Salmonella (CFU/g mẫu)	KPH	KPH	KPH	0
Pb (mg/kg)	23,23	25,57	17,92	≤ 200
Cd (mg/kg)	0,44	0,47	1,97	≤ 5,0
Cr(mg/kg)	31,95	30,23	34,55	-
Cu(mg/kg)	44,66	53,93	127,03	-
Ni(mg/kg)	15,77	14,20	16,85	-
Zn(mg/kg)	165,29	202,85	215,88	-
Hg(mg/kg)	KPH	KPH	KPH	<2 mg/kg
As(mg/kg)	KPH	KPH	KPH	<10 mg/kg

Ghi chú: KPH: không phát hiện

3.5. Quy trình sản xuất phân hữu cơ cho rác thải hữu cơ kết hợp nấm *Trichoderma*

Quy trình ủ phân hữu cơ được đề xuất dựa trên nghiên cứu ở Phòng thí nghiệm và vận hành thực tế. Quy trình ủ phân 6 bước, thời gian ủ là 60 ngày, được đề xuất cụ thể như sau:

Thuyết minh quy trình:

Bước 1 (Chuẩn bị): chuẩn bị nguyên vật liệu và kiểm tra các thông số ủ đầu vào: C/N (nếu có), độ ẩm, phân loại rác và chọn thành phần hữu cơ (loại bỏ các tạp chất và chất thải nguy hại, rác tái chế, rác xây dựng,...). Đánh giá sơ bộ các thông số nguyên liệu ủ. Chuẩn bị khu vực ủ (đảm bảo điện tích, thông thoáng, có mái che (tránh mưa),...)

Bước 2 (Ủ thô): công đoạn ủ cho nguyên vật liệu hữu cơ theo các nghiệm thức thiết kế, có/không sử dụng vi sinh vật *Trichoderma* và giá thể. Trong giai đoạn này, các thông số vận hành (âm, nhiệt độ) cần được theo dõi, đánh giá và điều chỉnh cho phù hợp với điều kiện ủ (thời gian ủ từ 20 - 22 ngày).

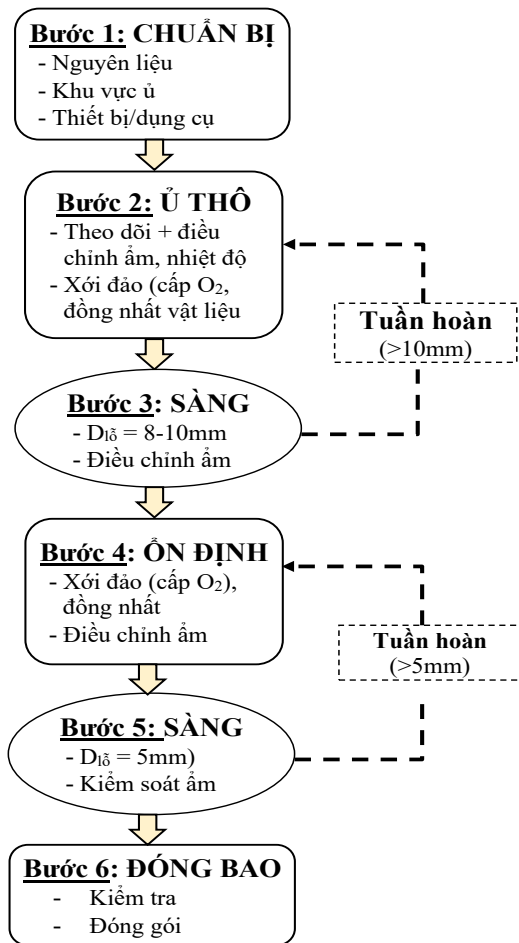
Bước 3 (Sàng): sàng và xác định tỷ lệ chất hữu cơ đã phân hủy (kích thước mắc sàng 8-10 mm). Các

nguyên vật liệu trên sàng một phần tạp chất có thể loại bỏ (không phân hủy); phần chất hữu cơ khó phân hủy có thể hoàn lưu lại. Công đoạn sàng vừa làm nhiệm vụ xới đảo, cấp khí và làm toai các nguyên liệu.

Bước 4 (Ổn định): tiếp tục ủ sau khi ủ thô; tuy nhiên tần suất theo dõi ẩm, nhiệt độ, xới đảo được thực hiện ít hơn giai đoạn ủ thô (do các chất hữu cơ đã chuyển hóa và VSV cũng như nhu cầu sử dụng oxy ít hơn). Thời gian ủ từ 38-40 ngày.

Bước 5 (Sàng): sàng và xác định tể chất hữu cơ đã phân hủy (kích thước mắc sàng 5 mm). Thông thường, quá trình ủ có hơn 95% hạt kích thước <5 m lọt qua sàng. Các nguyên vật liệu trên sàng có thể được hoàn lưu về quy trình ủ (hoàn lưu). Bước này vừa xới đảo, cấp khí và làm toai sản phẩm. Các nguyên liệu ủ lọt qua sàng là sản phẩm được chuyển sang bước tiếp theo.

Bước 6 (Đóng bao): sản phẩm ủ được lấy mẫu khảo sát và đánh giá chất lượng sản phẩm cuối cùng và đóng gói theo yêu cầu. Lưu kho và bảo quản.



Hình 8. Quy trình ủ phân compost

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Allison, F. E. (1973). Soil organic matter and its role in crop production. *Elsevier, New York*.

Bekchanov, M., & Mirzabaeov, A. (2018). Circular economy of composting in Sri Lanka: Opportunities and challenges for reducing waste related pollution and improving soil health. *Journal of Cleaner Production*. 202(20), 1107-1119. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.186>

Bernal, M. P., Paredes, C., Sanchez-Montero, M. A., & Cegarra, J. (1998). Maturity and Stability parameters of composts prepared with a range of organic wastes. *Bioresourse Technology*, 63(1), 91-99. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00084-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00084-9)

Bộ TNMT. (2020). *Báo cáo Hiện trạng môi trường Quốc gia giai đoạn năm 2016-2020*.

Chiếm, N. H., Phụng, B. T. M., Thuận, T. V., & Khoa, T. M. (2006). So sánh khả năng phân hủy chất hữu cơ khi sử dụng các chất môi khác nhau trong ủ phân compost, *Tuyển tập công trình*

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Rác hữu cơ hoàn toàn có thể sử dụng để sản xuất phân compost và sử dụng cho nông nghiệp. Nghiệm thức NT2 ủ rác hữu cơ kết hợp với *Trichoderma* cho chất lượng phân ủ tương đối tốt và có thể sử dụng cho mục đích trồng cây và cải tạo đất. Hàm lượng kim loại nặng Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn trong ứng trong hai mẻ ủ NT2 và NTtt dao động trong khoảng 17,92 - 25,57 mg/kg, 0,47 -1,97 mg/kg, 30,23-34,55 mg/kg, 53,93-127,03 mg/kg, 14,20-16,85 mg/kg, 202,85-215,88 mg/kg và không phát hiện Hg, As. pH dao động từ 6,1 - 7,9, độ ẩm 30,9 - 34,2%. Các chỉ tiêu chất lượng TC (15,18 - 19,59%), TN (1,52-1,99%), TP (2,09-2,65%), K_{tổng số} (1,95-2,13%) và không phát hiện *Samonella*.

4.2. Kiến nghị

Rác thải sinh hoạt từ đô thị rất lớn, việc nghiên cứu để cải thiện các dưỡng chất trong phân là cần thiết nhằm cải thiện chất lượng của phân hữu cơ đối với cây trồng và cải tạo đất nông nghiệp.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được thực hiện dưới sự tài trợ kinh phí của WWF-Việt Nam.

nghiên cứu khoa học Khoa Nông nghiệp & Sinh học ứng dụng, Đại học Cần Thơ.

Đức, T. T., Hoà, H. T. T., Huyền, T. T., Tuyết, T. T. A., Hạnh, T. T. D. (2014). Nghiên cứu sử dụng kết hợp rom rạ, bèo tây, phân lợn và chế phẩm trichoderma để sản xuất phân bón hữu cơ tại tỉnh Thừa thiên Huế. *Tạp chí khoa học Đại học Huế: Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, 91A(3), 5363. <https://doi.org/10.26459/jard.v91i3.3038>

Haug, R. T. (1991). *Compost Engineering: Principles and Practice*. CRC Press; 1st edition (ISBN-13: 978-0250403479).

Hoàng, N. X., Sang, N. H., & Trung, N. H. (2014). Phân tích hiện trạng quy hoạch, quản lý bãi rác khu vực Đồng bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 34, 119-127.

Jiménez., E. I., & Garcia, V. P. (1992). Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agricultural Ecosystem Environment*,

- 38, 331-343.
[https://doi.org/10.1016/0167-8809\(92\)90154-4](https://doi.org/10.1016/0167-8809(92)90154-4)
- Konstanczak, M. (1999). Utilisation of organic waste in (peri) Urban Center. *Published by Bonn/Eschborn. Module 2,3.*
- Linh, Đ. T. T. (2012). *Nghiên cứu sử dụng nấm Trichoderma ủ bùn công thải phối trộn với vật liệu hữu cơ* (Luận văn thạc sĩ). Trường Đại học Cần Thơ.
- Larney, Hao. (2007). A review of composting as a management alternative for beef cattle feedlot manure in southern Alberta, Canada. *Bioresource Technology* 98(17):3221-3227.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.005>
- Manohara, B., Belagali, S. L. (2014). Characterization of Essential Nutrients and Heavy Metals during Municipal Solid Waste Composting. *Int. journal of Inn. Res. Sci., Eng. and Technology (IJRSET). ISSN: 2319-8753 (Vol. 3), 9666-9672.*
- Nga, B. T., Khanh, L. N. T., & Hoàng, N. X. (2014). Sản xuất phân hữu cơ từ bùn công thải thu gom. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*, 12, 38-48.
- Công, N. V., Hoàng, N. X., Chiém, N. H., Kim, Đ. T., Nguyễn, P. Q., Yên, N. T. H., & Kiều, L. D. (2021). Ủ phân từ bèo tai tượng (pistia stratiotes L.) Và thử nghiệm trồng rau muống (ipomoea aquatica). *Nông nghiệp và phát triển nông thôn*, 22, 42-50.
- Pfaff-Simoneit, W., Ziegler, S., & Long, T. T. (2021). Separate collection and recycling of waste as an approach to combat marine litter - WWF pilot project in the Mekong Delta, Vietnam, in: Kuehle-Weidemeier, Matthias (2021): *Waste-to-Resources 2021, 9th International Symposium Circular Economy, MBT, MRF and Recycling, online conference*, ICP Ingenieurgesellschaft mbH, Karlsruhe 2021.
- Phuong, N. L. (2011). *Nghiên cứu xử lý bùn ao nuôi cá tra để làm phân hữu cơ* (Luận văn Thạc sĩ). Trường Đại học Cần Thơ.
- Robert, R., Maarten van de Kamp, George B, Willson, Mark E, Singley, Tom L, Richad, John J, Kolega, John, J., Gouin, Francis, R., Laliberty, Lucien, Kay, David, Murphy, Dennis, W., Hoitink, Harry, A. J., & Brinton, William, F. (1992). *On-Farm composting handbook, Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cooperative Extension, Ithaca, NY 14853-5701.*
- Sở TN&MT tỉnh Sóc Trăng. (2020). *Báo cáo Hiện trạng môi trường tỉnh Sóc Trăng giai đoạn 2016-2020.*
- Sở TNMT tỉnh Long An. (2020). *Báo cáo Hiện trạng môi trường tỉnh Long An 2020 giai đoạn 2016-2020.*
- Sulewski, P., Kais, K., Gołasz, M., Rawa, G., Urbńska, K., & Wąs, A. (2021). Home Bio-Waste Composting for the Circular Economy. *Energies* 2021, 14, 6164.
<https://doi.org/10.3390/en14196164>
- Toàn, H. T. (2010). Phân hủy rác thải hữu cơ bằng phương pháp sinh học: Thử nghiệm thùng lên men 10L. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, 15, 197-205
- Tùng, L. H., 2020. *Thực trạng ,giải pháp về công tác quản lý rác thải tại Sóc Trăng.*
<http://quanly.moitruongvadothi.vn/4/95/Thuc-trang-giai-phap-ve-cong-tac-quan-ly-rac-thai-tai-Soc-Trang.aspx>.
- Trang, N. M. (2012). *Ủ compost từ rơm với các chế phẩm sinh học và chất thải biogas* (Luận văn Thạc sĩ). Trường Đại học Cần Thơ.
- Việt, L. H., & Chiém, N. H. (2013). *Giáo trình Quản lý và xử lý chất thải rắn*. NXB Đại học Cần Thơ, Cần Thơ.
- Zorpas, A. A. (1999). *Development of methodology for the composting of sewage sludge using natural zeolite* (Ph.D thesis). National Tech. Uni. Of Athens, Greece.