

Đánh giá khả năng phân rã của bao bì thân thiện môi trường trong điều kiện ủ compost ở quy mô phòng thí nghiệm và quy mô pilot

Tưởng Thị Nguyệt Ánh, Lê Thị Thùy, Đoàn Hoàng Linh, Nguyễn Tiến Đạt, Nguyễn Ngọc Diệp,
Chu Xuân Quang, Trần Hùng Thuận, Đặng Thảo Yến Linh*

Trung tâm Công nghệ Vật liệu, Viện Ứng dụng Công nghệ, C6, phường Thanh Xuân Bắc, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 15/5/2023; ngày chuyển phản biện 18/5/2023; ngày nhận phản biện 12/6/2023; ngày chấp nhận đăng 15/6/2023

Tóm tắt:

Nhu cầu sản xuất ngày càng tăng và ứng dụng đầy hứa hẹn của nhựa phân hủy sinh học đã thúc đẩy sự quan tâm đến việc đánh giá khả năng phân hủy sinh học của vật liệu này. Phân rã là giai đoạn đầu tiên của quá trình phân hủy sinh học, do đó nó có ảnh hưởng quan trọng nhất đến khả năng phân hủy của vật liệu. Nghiên cứu này tập trung vào việc đánh giá và so sánh khả năng phân rã của bao bì thân thiện môi trường đang được sản xuất và tiêu thụ phổ biến tại Việt Nam trong điều kiện ủ compost công nghiệp ở quy mô phòng thí nghiệm theo tiêu chuẩn TCVN 12409:2020 và quy mô pilot theo tiêu chuẩn TCVN 12408:2020. Sự biến thiên nhiệt độ, độ ẩm, pH và ngoại quan được ghi lại trong quá trình ủ compost. Kết quả cho thấy, động thái phân rã của bao bì thân thiện môi trường là tương tự nhau ở cả hai quy mô. Mức độ phân rã của bao bì thân thiện môi trường ở cả hai quy mô thử nghiệm đều đạt trên 90% sau 84 ngày.

Từ khóa: điều kiện ủ compost công nghiệp, mức độ phân rã, nhựa phân hủy sinh học, TCVN 12408:2020, TCVN 12409:2020.

Chỉ số phân loại: 2.7

1. Đặt vấn đề

Các vấn đề liên quan đến ô nhiễm rác thải nhựa đã thúc đẩy sự phát triển mạnh mẽ của nhiều loại vật liệu thân thiện với môi trường, trong đó có vật liệu nhựa phân hủy sinh học do chúng có khả năng phân hủy thành H_2O , CO_2 , CH_4 và sinh khối dưới tác động của điều kiện môi trường và vi sinh vật trong một khoảng thời gian xác định [1]. Quá trình phân hủy sinh học có thể diễn ra trong môi trường hiếu khí cũng như môi trường kỵ khí. Môi trường thường được nghiên cứu là hiếu khí, phổ biến nhất là môi trường ủ compost do phần lớn nhựa phân hủy sinh học có khả năng tạo compost trong môi trường này. Do đó, quá trình ủ compost là một trong những lựa chọn ưu tiên nhất khi đề cập đến việc xử lý nhựa phân hủy sinh học [2]. Các nghiên cứu đánh giá khả năng phân hủy sinh học của vật liệu nhựa được thực hiện hầu hết theo các tiêu chuẩn ASTM D6400, ISO 17088, EN 13432, TCVN 13114:2020... nhằm cung cấp các chỉ dẫn về điều kiện môi trường, thời gian và quy mô của các thử nghiệm [3]. Một sản phẩm nhựa được xác định là có khả năng tạo compost nếu đáp ứng được các yêu cầu nhất định về: đặc tính hóa học; khả năng phân rã trong quá trình tạo compost; khả năng phân hủy sinh học hiếu khí hoàn toàn; không ảnh hưởng bất lợi đến khả năng hỗ trợ sự phát triển cây trồng của compost theo tiêu chuẩn TCVN 13114:2020 [4].

Phân rã là khả năng bị bẻ gãy và vỡ ra thành các mảnh nhỏ hơn trong các điều kiện môi trường khác nhau của vật liệu. Nói cách khác, sự phân rã của vật liệu liên quan đến hình dạng vật lý của sản phẩm và do đó bị ảnh hưởng mạnh mẽ bởi độ dày (khối lượng riêng và/hoặc mật độ) [5, 6]. Sản phẩm được coi là thỏa mãn yêu cầu về khả năng phân rã nếu sau 84 ngày trong phép thử

tạo compost có kiểm soát, có không quá 10% khối lượng khô ban đầu bị giữ lại sau khi được sàng qua sàng có mắt lưới 2,0 mm [4].

Đánh giá khả năng phân rã trong quá trình tạo compost có thể được thực hiện ở quy mô phòng thí nghiệm theo tiêu chuẩn TCVN 12409:2020 (ISO 20200:2015) hoặc quy mô pilot theo tiêu chuẩn TCVN 12408:2020 (ISO 16929:2013). Môi trường mô phỏng, phương pháp đánh giá, chất cấy (compost nền), thời gian thử nghiệm... là các thông số quan trọng ảnh hưởng đến quá trình phân hủy sinh học nói chung cũng như quá trình phân rã. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung đánh giá và so sánh các động thái, mức độ và tốc độ phân rã của bao bì thân thiện môi trường trong điều kiện ủ compost công nghiệp ở quy mô pilot và quy mô phòng thí nghiệm.

2. Vật liệu và phương pháp thực nghiệm

2.1. Vật liệu

Vật liệu thử nghiệm bao gồm: mùn cưa, thức ăn thỏ, phân bò ủ hoai, tinh bột ngô, urê, rác rau và trái cây, bao bì thân thiện môi trường (đang được sản xuất và tiêu thụ phổ biến tại Việt Nam).

2.2. Thử nghiệm

Hệ thống thử nghiệm phân rã cho hai quy mô được thiết kế như sau:

2.2.1. Chuẩn bị compost nền và màng thử nghiệm: Compost nền và mẫu màng sử dụng cho thử nghiệm phân rã ở quy mô phòng thí nghiệm và quy mô pilot được chuẩn bị phải đảm bảo theo yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 12409:2020 và TCVN 12408:2020. Thông số tính chất của compost nền được thể hiện ở bảng 1.

*Tác giả liên hệ: Email: dangthaoyenlinh@gmail.com

Evaluation of the disintegrability of eco-friendly packaging under laboratory and pilot-scale composting conditions

Thi Nguyet Anh Tuong, Thi Thuy Le, Hoang Linh Doan, Tien Dat Nguyen, Ngoc Diep Nguyen, Xuan Quang Chu, Hung Thuan Tran, Thao Yen Linh Dang*

Center for Advanced Materials Technology, National Center for Technological Progress, C6, Thanh Xuan Bac Ward, Thanh Xuan District, Hanoi, Vietnam

Received 15 May 2023; revised 12 June 2023; accepted 15 June 2023

Abstract:

The growing production demand and promising applications of biodegradable plastic have spurred interest in assessing the biodegradability of this material. Disintegration is the first stage of the biodegradation process and therefore it affects the most important on the biodegradability of materials. This research focuses on evaluating and comparing the disintegration ability of eco-friendly packaging, which is being produced and commonly consumed in Vietnam, under industrial composting conditions at laboratory scale according to TCVN 12409:2020 standard and pilot scale according to TCVN 12408:2020 standard. The variations in temperature, humidity, pH, and visual appearance were monitored during the composting process. The results showed that the disintegration behaviours of eco-friendly packaging are similar at both scales. The disintegration rate of eco-friendly packaging at both testing scales reached over 90% after 84 days.

Keywords: biodegradable plastics, disintegration rate, industrial composting condition, TCVN 12408:2020, TCVN 12409:2020.

Classification number: 2.7

Bảng 1. Kiểm soát các thông số trong quá trình thử nghiệm.

Thông số	Quy mô phòng thí nghiệm theo TCVN 12409:2020	Quy mô pilot theo TCVN 12408:2020
Nhiệt độ	Duy trì ở 58±2°C	Được kiểm soát để nhiệt độ tối đa trong thùng ủ compost duy trì: <75°C trong tuần đầu tiên và <65°C trong thời gian sau đó; >60°C trong ít nhất 1 tuần; >40°C trong ít nhất 4 tuần tiếp theo.
Độ ẩm	- Thêm nước để đạt đến khối lượng ban đầu của compost: ngày 1-4, 7-11, 14, 16, 18, 21, 23, 25, 28 với tần suất: hàng ngày. - Thêm nước để đạt đến 80% khối lượng ban đầu của compost: ngày 30-60 với tần suất: 2 lần/tuần. - Thêm nước để đạt đến 70% khối lượng ban đầu của compost: ngày 60 trở đi với tần suất: 2 lần/tuần.	Thêm nước khi độ ẩm của compost <40%.
Đảo trộn	Đảo trộn khi thêm nước trừ các ngày 8, 10, 16, 18, 21, 23, 25, 28	Hàng tuần trong 4 tuần đầu, 1 lần 2 tuần cho đến khi kết thúc phép thử.
Thời khí	Không	Thời khí khi nồng độ oxy <10%, với tỷ lệ dòng khí ≤15 l/kg chất rắn khô tổng số giờ.

2.2.2. *Hệ thiết bị thử nghiệm:* Đối với quy mô phòng thí nghiệm tủ sấy tuần hoàn không khí được sử dụng để duy trì nhiệt độ cao và thùng ủ được làm bằng nhựa PP có kích thước (dài x rộng x cao) 34,0x22,0x14,5 cm.

Đối với quy mô pilot, tủ ủ là hệ gồm đèn, quạt và bơm thổi khí được sử dụng để duy trì nhiệt độ và điều kiện hiếu khí đối với quy mô pilot. Thùng ủ làm bằng nhựa PE có dung tích 50 l.

2.2.3. *Quy trình thử nghiệm:* Mẫu màng thử nghiệm và compost nền sau khi phối trộn được đưa vào các thùng ủ compost. Số lượng thùng ủ đối với quy mô PTN bao gồm 3 thùng mẫu trắng (chỉ chứa compost nền, ký hiệu lần lượt là M01_L, M02_L, M03_L) và 3 thùng mẫu thử (chứa compost nền và mẫu màng thử nghiệm, ký hiệu lần lượt là M1_L, M2_L, M3_L). Số lượng thùng ủ đối với quy mô pilot bao gồm 1 thùng mẫu trắng (M0_P) và 1 thùng mẫu thử (M1_P).

Các thùng ủ compost sau đó được đặt vào tủ ủ trong thời gian tối đa 90 ngày. Trong quá trình thử nghiệm, nhiệt độ, hàm lượng nước, đảo trộn và thổi khí của các thùng ủ compost được kiểm soát theo tiêu chuẩn tương ứng theo bảng 1. Kết thúc thử nghiệm, compost cuối được sàng để tách các miếng cặn của mẫu màng thử còn lại có kích thước lớn hơn 2 mm. Xác định khối lượng khô của cặn mẫu màng thử nghiệm để tính toán mức độ phân rã. Ngoài ra, thông số của compost cuối cũng được phân tích để đánh giá chất lượng quá trình ủ compost.

2.3. Phương pháp thử nghiệm đánh giá

2.3.1. *Phương pháp phân tích phổ FTIR:* Các liên kết, nhóm chức đặc trưng của mẫu thử được phân tích thông qua phổ FTIR bằng thiết bị Nicolet™ iS20 FTIR Spectrometer.

2.3.2. *Phương pháp xác định mức độ phân rã:* Mức độ phân rã của mẫu thử nghiệm (D_i , %) được tính toán dựa trên khối lượng phân cặn của mẫu thử có kích thước lớn hơn 2 mm thu được sau sàng và khối lượng của mẫu thử nghiệm cho vào ban đầu được tính theo công thức sau:

$$D_i = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

trong đó: m_1 là khối lượng khô của mẫu thử nghiệm đầu vào (g); m_2 là khối lượng khô của mẫu thử nghiệm còn lại sau khi sàng (g).

2.3.3. *Phương pháp xác định hàm lượng carbon và hàm lượng nitơ:*

Hàm lượng carbon được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 6642:2000 trên thiết bị phân tích Multi N/C® 2100 S Duo [7].

Hàm lượng nitơ được xác định như sau: mẫu thử rắn được vỡ cơ hóa theo phương pháp Kjeldahl [8] để tạo thành mẫu lỏng và sau đó hàm lượng nitơ của mẫu lỏng được xác định trên thiết bị phân tích Multi N/C® 2100 S Duo.

2.3.4. *Phương pháp xác định độ ẩm, hàm lượng chất rắn bay hơi và pH:*

Độ ẩm của mẫu được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 6648:2000 sử dụng tủ sấy Memmert [9].

Hàm lượng chất rắn bay hơi được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 13114:2020 sử dụng lò nung WiseTherm [4]. pH của mẫu được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 5979:2007 sử dụng thiết bị HQ40d Portable [10].

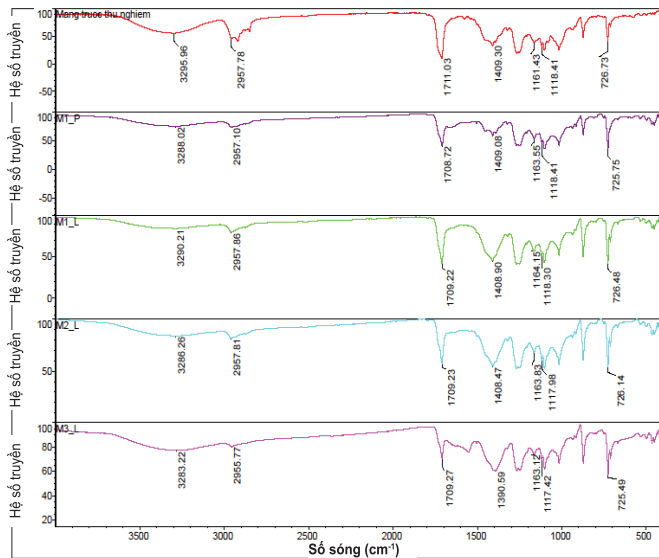
2.3.5. Phương pháp xác định độ giảm nồng độ chất rắn bay hơi: Độ giảm (R) của tổng hàm lượng chất rắn bay hơi giữa compost nền ban đầu và compost cuối trong mỗi bình tạo compost được xác định theo TCVN 12409:2020 [6].

2.3.6. Phương pháp xác định độ chín của compost: Độ chín của compost được xác định theo thang “Rottegrad” dựa trên cơ sở xác định nhiệt độ tối đa (Tmax) trong phép thử tự gia nhiệt trong bình Dewar [11].

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Phổ FTIR của mẫu màng thử trước và sau khi thử nghiệm

Phổ FTIR của mẫu màng thử nghiệm trước và sau khi phân rã được thể hiện trên hình 1. Đối với màng trước thử nghiệm, pic tại vị trí bước sóng 1712 và 728 cm^{-1} lần lượt ứng với dao động giãn của liên kết C=O trong nhóm este và dao động uốn ngoài mặt phẳng của liên kết =C-H trong vòng benzen. Pic ở vị trí 1118 và 1161 cm^{-1} tương ứng với dao động giãn của liên kết C-O. Các pic 728, 1118 và 1161 cm^{-1} là các pic đặc trưng để nhận biết nhựa polybutylene adipate terephthalate (PBAT) [12, 13]. Do đó, có thể xác định trong thành phần của màng thử nghiệm có chứa nhựa PBAT.



Hình 1. Phổ FTIR của mẫu màng trước và sau quá trình phân rã.

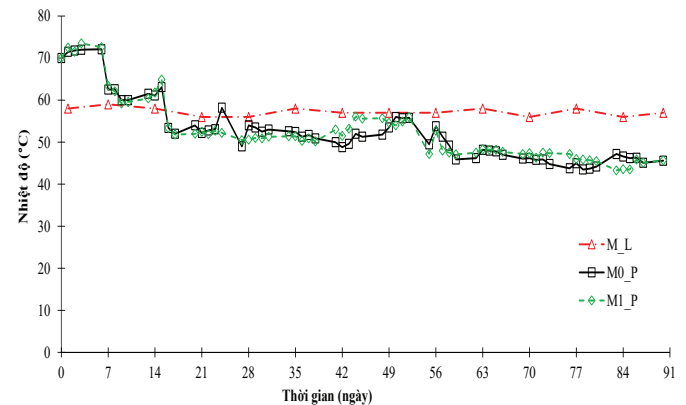
Hai pic 3295 và 2957 cm^{-1} lần lượt đặc trưng cho dao động giãn của liên kết -OH và dao động giãn của liên kết CH. Ngoài ra, pic 1409 cm^{-1} tương ứng với dao động cắt đối xứng của nhóm CH_2 . Các pic và dải hấp thụ này đặc trưng cho các liên kết của phân tử

trình bột. Theo đó, có thể dự đoán ngoài PBAT thì có thể có cả tinh bột trong mẫu màng thử nghiệm [14]. Từ việc phân tích phổ FTIR có thể dự đoán mẫu màng thử nghiệm có thể chứa PBAT và tinh bột. Đây đều là các loại nhựa có khả năng phân hủy sinh học.

Tiếp theo, so sánh phổ FTIR của màng thử nghiệm sau quá trình phân rã ở cả hai quy mô có thể thấy các pic hấp thụ không có sự khác biệt đáng kể. Ngoài ra, kết quả hình 1 cũng cho thấy, màng trước và sau khi phân rã cũng có các pic tương tự nhau, điều này chứng tỏ cấu trúc hóa học của mẫu màng thử nghiệm không thay đổi sau quá trình phân rã [15].

3.2. Biến thiên nhiệt độ trong quá trình thử nghiệm

Trong quá trình ủ compost, nhiệt độ trong thùng ủ compost sẽ thay đổi do quá trình trao đổi chất của vi sinh vật, điều này sẽ ảnh hưởng đến tốc độ phân hủy của compost và các mẫu màng thử nghiệm. Do đó, sự thay đổi nhiệt độ trong các thùng ủ compost đã được ghi lại trong hình 2. Đối với thử nghiệm phân rã theo quy mô phòng thí nghiệm (M_L), nhiệt độ trong tủ ủ được duy trì ở mức $58 \pm 2^\circ\text{C}$. Kết quả hình 2 có thể thấy, nhiệt độ của tủ sấy biến thiên tương đối ổn định xung quanh giá trị cài đặt.

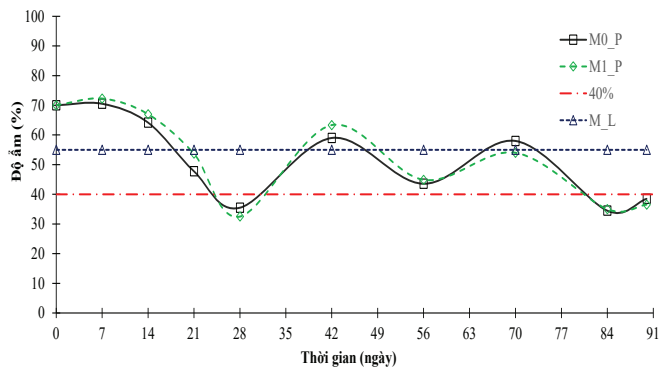


Hình 2. Biến thiên nhiệt độ trong quá trình ủ compost.

Ngược lại, thử nghiệm phân rã theo quy mô pilot chỉ định các yêu cầu hợp lệ đối với nhiệt độ như được nêu ở bảng 1. Do đó, nhiệt độ của tủ ủ phải được điều khiển trong quá trình thử nghiệm. Quan sát trên hình 2 có thể thấy, nhiệt độ cao nhất của thùng mẫu trắng tăng lên 72°C và sau đó giảm xuống khoảng 61°C sau 14 ngày. Trong khi đối với thùng mẫu thử, nhiệt độ đạt $73,5^\circ\text{C}$ sau 3 ngày, sau đó giảm xuống còn khoảng 63°C sau 7 ngày. Khoảng thời gian sau đó nhiệt độ ở cả 2 thùng mẫu trắng và mẫu thử nghiệm đều được duy trì trên 40°C [15]. Như vậy, nhiệt độ trong quá trình ủ ở quy mô pilot là đảm bảo hợp lệ theo tiêu chuẩn TCVN 12408:2020.

3.3. Biến thiên độ ẩm trong quá trình thử nghiệm

Độ ẩm là một thông số quan trọng trong quá trình ủ compost vì vi sinh vật cần độ ẩm thích hợp để tồn tại. Độ ẩm ảnh hưởng đến sự xâm nhập của không khí, chất dinh dưỡng, sự hấp thụ oxy, và nhiệt độ. Biến thiên độ ẩm của compost trong các thùng ủ trong quá trình thử nghiệm được thể hiện ở hình 3.



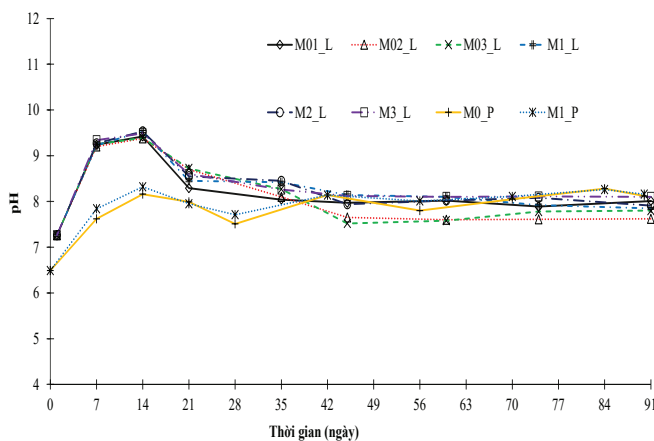
Hình 3. Biến thiên độ ẩm trong quá trình ủ compost.

Đối với thử nghiệm quy mô phòng thí nghiệm, độ ẩm trong các thùng ủ được duy trì $\geq 55\%$ bằng cách thêm một lượng nước đã mất đi tương ứng so với khối lượng compost ủ ban đầu theo từng giai đoạn của quá trình ủ như được nêu trong bảng 1. Nhìn chung, độ ẩm trong quá trình ủ compost được duy trì ở điều kiện ủ tối ưu.

Đối với thử nghiệm ở quy mô pilot, độ ẩm giảm dần trong quá trình ủ ở cả thùng mẫu trắng và thùng mẫu thử. Do trong giai đoạn ủ compost, sự bốc hơi sẽ tự nhiên xảy ra do nhiệt độ tăng cao và thổi khí. Độ ẩm khi bắt đầu thử nghiệm trong các thùng ủ là 70% và thay đổi trong khoảng 32-72% trong quá trình ủ. Quan sát trên hình có thể thấy, sau chu kỳ khoảng 4 tuần (28, 56 và ngày 84) thì độ ẩm giảm xuống dưới 40%. Do đó, khi độ ẩm $< 40\%$ thì nước được thêm vào các thùng ủ để đạt được độ ẩm 70% nhằm đảm bảo quy trình ủ diễn ra thuận lợi.

3.4. Biến thiên pH trong quá trình thử nghiệm

Kết quả hình 4 cho thấy, giá trị pH của compost trong quá trình thử nghiệm ở quy mô phòng thí nghiệm (7,26) là cao hơn ở quy mô pilot (6,49) do thành phần nguyên liệu đầu vào của compost nên là khác nhau.



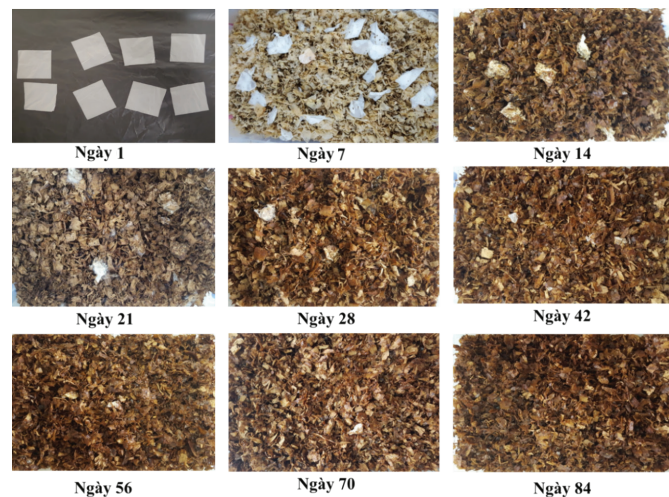
Hình 4. Biến thiên pH trong quá trình ủ compost.

Quan sát trên hình 4 có thể thấy, trong các thùng ủ ở quy mô phòng thí nghiệm, giá trị pH tăng dần trong tất cả các thùng ủ compost và đạt cao nhất sau 14 ngày với pH=9,5. Do khi bắt đầu quá trình ủ, giá trị pH giảm đi do hình thành các axit hữu cơ, nhưng sau đó pH tăng lên vì các axit hữu cơ chuyển hóa thành CH_4 , CO_2 . Việc tạo ra amoniac từ sự phân hủy các chất hữu cơ chứa nitơ làm tăng pH trong giai đoạn phân hủy nhiệt độ cao. NH_4^+ và HCO_3^- , các sản phẩm phân hủy khác hoạt động như chất đệm duy trì độ pH cao trong suốt quá trình ủ phân [16]. Khi quá trình ủ compost gần ổn định, pH của compost cuối dao động trong khoảng 7,5-8,5.

Ngược lại, ở quy mô pilot, giá trị pH tăng theo thời gian phân hủy. Giá trị pH cao nhất là 8,32 và thấp nhất là 6,49, tuy nhiên pH ổn định sau khoảng 42 ngày. So sánh giá trị pH trong quá trình thử nghiệm với các yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 12408:2020, có thể kết luận kết quả thử nghiệm là hợp lệ (pH tăng đến giá trị lớn hơn 7 trong quá trình thử và không giảm xuống dưới 5) [5].

3.5. Ngoại quan trong quá trình thử nghiệm

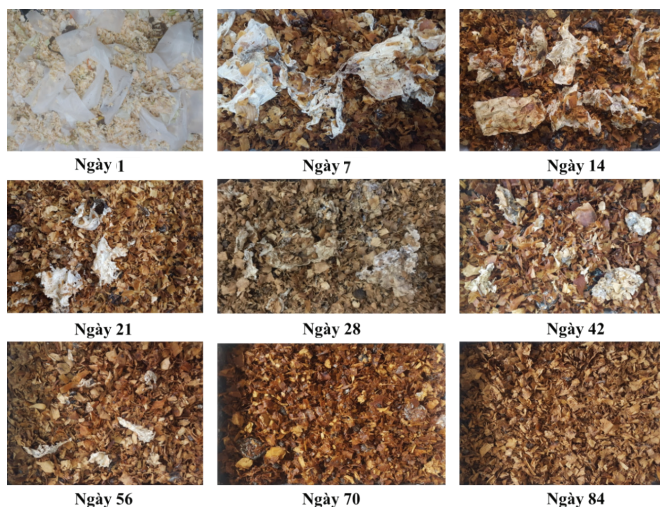
Ngoại quan của mẫu màng thử và compost nên được quan sát và ghi lại trong suốt quá trình thử nghiệm. Hình 5 thể hiện diễn biến quá trình phân rã của mẫu màng thử nghiệm ở quy mô phòng thí nghiệm trong khoảng thời gian 84 ngày.



Hình 5. Ngoại quan của compost và mẫu thử nghiệm trong quá trình thử nghiệm ở quy mô phòng thí nghiệm.

Về mùi, trong 2-3 ngày đầu compost có mùi chua và sau đó chuyển sang mùi khai trong vòng 5-10 ngày tiếp theo. Sau khoảng 14 ngày, compost có mùi gần giống mùi đất. Về ngoại quan, compost ban đầu có màu vàng nhạt do có nhiều mùn cưa sau khoảng 14 ngày thì chuyển dần sang màu nâu. Đối với mẫu màng thử nghiệm, trong tuần đầu tiên có các sợi nấm phát triển trên bề mặt màng và màng cũng có màu sậm hơn. Quá trình phân rã xảy ra nhanh trong khoảng 30 ngày đầu tiên và diễn ra chậm hơn sau đó. Sau khoảng 70 ngày chỉ còn một vài mảnh nhỏ của màng thử nghiệm và không thể phân biệt được mẫu màng và compost vào ngày 84.

Hình 6 thể hiện diễn biến quá trình phân rã của mẫu màng thử nghiệm ở quy mô pilot, sau khoảng thời gian 7 ngày mẫu màng bắt đầu bị mún ra và có màu sậm hơn. Tiếp đó, sau 14 ngày mẫu màng bắt đầu vỡ ra thành các mảnh nhỏ hơn. Quá trình phân rã diễn ra gần như hoàn toàn sau khoảng 2 tháng. Ngày 70, gần như không thể phân biệt được mẫu màng thử nghiệm và compost nền.



Hình 6. Ngoại quan của compost và mẫu thử nghiệm trong quá trình thử nghiệm ở quy mô pilot.

Từ diễn biến quá trình phân rã được mô tả ở trên có thể thấy, tốc độ phân rã của màng thử nghiệm ở quy mô pilot nhanh hơn so với quy mô phòng thí nghiệm do trong quá trình ủ compost, các điều kiện nhiệt độ, độ ẩm ở cả hai quy mô là khác nhau nên sẽ ảnh hưởng đến tốc độ phân hủy của mẫu [15, 17].

3.6. Mức độ phân rã và chất lượng compost sau quá trình thử nghiệm

Mức độ phân rã đối với quy mô phòng thí nghiệm và quy mô pilot lần lượt là 98,3 và 99,3% (bảng 2). Mức độ phân rã của mẫu màng thử nghiệm ở cả hai quy mô đều đạt >90%, điều này có nghĩa là đạt yêu cầu về độ phân rã theo tiêu chuẩn TCVN 13114:2020 [4].

Bảng 2. Mức độ phân rã của mẫu màng thử nghiệm.

Thông số	Quy mô phòng thí nghiệm			Quy mô pilot
	M1_L	M2_L	M3_L	M1_P
Khối lượng mẫu màng thử ban đầu (g)	20,009	20,001	20,000	85,000
Khối lượng mẫu màng thử còn lại sau sàng (g)	0,392	0,140	0,470	0,639
Mức độ phân rã (%)	98,04	99,30	97,65	99,25
Trung bình (%)	98,33			99,25

Ngoài ra, để xác định chất lượng của quá trình ủ phân, một số thông số của compost được xác định như hàm lượng chất rắn bay hơi, tỷ lệ C/N, độ giảm nồng độ chất rắn bay hơi và độ chín của compost như thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Thông số chất lượng của compost sau quá trình thử nghiệm.

Thông số	Quy mô phòng thí nghiệm						Quy mô pilot			
	Trước thử nghiệm	Sau thử nghiệm			Trước thử nghiệm	Sau thử nghiệm				
		M01_L	M02_L	M03_L	M1_L	M2_L	M3_L	M0_P	M1_P	
Hàm lượng C	35,18	31,42	32,65	33,24	32,57	32,02	33,64	31,89	29,58	30,31
Hàm lượng N	1,75	2,30	2,66	2,80	2,37	2,68	2,78	1,25	1,63	1,58
Tỷ lệ C/N	20,09	13,67	12,28	11,89	13,74	11,93	12,12	25,45	18,18	19,17
Chất rắn khô tổng số (%)	45,27	33,83	33,72	34,14	32,70	31,55	31,73	30,0	61,50	63,47
Hàm lượng chất rắn bay hơi (%)	94,60	83,02	82,81	83,43	79,88	79,93	80,15	92,73	82,59	80,55
Độ giảm nồng độ chất rắn bay hơi (%)	-	60,36	60,53	59,84	63,91	65,61	64,90	-	-	-
Độ chín của compost (Rottegrad)	-	-	-	-	-	-	-	-	V	V
pH	7,26	8,01	7,62	7,8	7,85	7,91	8,1	6,49	8,12	8,16

Hàm lượng chất rắn bay hơi của compost nền trước thử nghiệm đối với quy mô phòng thí nghiệm và quy mô pilot lần lượt là 94,6 và 92,73%. Có thể thấy, hàm lượng chất hữu cơ của compost nền tương đối cao điều này tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình ủ phân. Sau quá trình thử nghiệm, hàm lượng chất rắn bay hơi của compost cuối thấp hơn một chút so với trước thử nghiệm trong khoảng 80-83%, chứng tỏ một phần chất hữu cơ đã được chuyển hóa thành CO₂. Điều này cũng có thể xác nhận thông qua giá trị C/N của compost cuối giảm đi so với giá trị ban đầu đối với cả hai quy mô.

Độ giảm nồng độ chất rắn bay hơi trong thử nghiệm quy mô phòng thí nghiệm của tất cả các thùng ủ >30%. Kết quả thử nghiệm được xem là hợp lệ [6].

Độ chín của compost trong thử nghiệm quy mô pilot được xác định sử dụng thang đo Rottegrad. Compost trong thùng mẫu trắng và thùng mẫu thử đều có mức Rottegrad là V (T_{max} ≤30°C sau 2-5 ngày), điều này có nghĩa là compost đã chín và quá trình ủ compost đã ổn định.

4. Kết luận

Khả năng phân rã của bao bì thân thiện môi trường trong điều kiện ủ compost công nghiệp có kiểm soát đã được nghiên cứu và so sánh theo tiêu chuẩn TCVN 12409:2020 và TCVN 12408:2020. Diễn biến của các thông số nhiệt độ, độ ẩm, pH và ngoại quan trong quá trình ủ compost đã được so sánh đối với hai quy mô. Kết quả cho thấy, mức độ phân rã của bao bì thân thiện môi trường ở cả hai quy mô thử nghiệm đều đạt yêu cầu trên 90%. Nhìn chung, hai quy mô thử nghiệm này cho kết quả mức độ phân rã là tương đương nhau.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài cấp Bộ Khoa học và Công nghệ: “Nghiên cứu xây dựng quy trình thử nghiệm đánh giá khả năng phân hủy sinh học của vật liệu chất dẻo đang được sản xuất và tiêu thụ tại Việt Nam phù hợp với các tổ chức chứng nhận quốc tế” do Trung tâm Công nghệ Vật liệu chủ trì thực hiện. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D.K. Linh (2020), “Biodegradable plastic and development potential in Vietnam”, *Vietnam Journal of Science and Technology*, **10(62)**, pp.19-20.
- [2] A. Folino, A. Karageorgiou, P.S. Calabro, et al. (2020), “Biodegradation of wasted bioplastics in natural and industrial environments: A review”, *Sustainability*, **12(15)**, DOI: 10.3390/su12156030.
- [3] F. Ruggero, R. Gori, C. Lubello (2019), “Methodologies to assess biodegradation of bioplastics during aerobic composting and anaerobic digestion: A review”, *Waste Management and Research*, **37(10)**, pp.959-975, DOI: 10.1177/0734242X19854127.
- [4] Ministry of Science and Technology (2020a), *TCVN 13114:2020: Plastics - Compostable Plastics - Technical Requirements and Test Methods* (in Vietnamese).
- [5] Ministry of Science and Technology (2020b), *TCVN 12408:2020: Plastics - Determination of The Degree of Disintegration of Plastic Materials Under Composting Conditions in a Pilot Test* (in Vietnamese).
- [6] Ministry of Science and Technology (2020c), *TCVN 12409:2020: Plastics - Determination of The Degree of Disintegration of Plastic Materials Under Simulated Composting Conditions in a Laboratory Test* (in Vietnamese).
- [7] Ministry of Science and Technology (2000a), *TCVN 6642:2020: Soil Quality - Determination of Organic Carbon and Total Carbon Content After Dry Combustion (Elemental Analysis)* (in Vietnamese).
- [8] R.B. Bradstreet (1965), *The Kjeldahl Method for Organic Nitrogen*, Academic Press Inc., 241pp.
- [9] Ministry of Science and Technology (2000b), *TCVN 6648:2020: Soil Quality - Determination of Dry Matter and Water Content by Mass - Mass Method* (in Vietnamese).
- [10] Ministry of Science and Technology (2007), *TCVN 5979:2007: Soil Quality - Determination of pH* (in Vietnamese).
- [11] Federal Compost Quality Assurance Organization (1994), *Methods Book for The Analysis of Compost*, 94pp.
- [12] Y. Cai, J. Lv, J. Feng (2013), “Spectral characterization of four kinds of biodegradable plastics: Poly (lactic acid), poly (butylenes adipate-Co-terephthalate), poly (hydroxybutyrate-Co-hydroxyvalerate) and poly (butylenes succinate) with FTIR and raman spectroscopy”, *Journal of Polymers and Environment*, **21(1)**, pp.108-114, DOI: 10.1007/s10924-012-0534-2.
- [13] R. Muthuraj, M. Misra, A.K. Mohanty (2017), “Biodegradable biocomposites from poly(butylene adipate-co-terephthalate) and miscanthus: Preparation, compatibilization, and performance evaluation”, *Journal of Applied Polymer Science*, **134**, DOI: 10.1002/app.45448.
- [14] A.H.D. Abdullah, S. Chalimah, I. Primadona, et al. (2018), “Physical and chemical properties of corn, cassava, and potato starches”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **160**, DOI: 10.1088/1755-1315/160/1/012003.
- [15] Y.X. Weng, Y. Wang, X.L. Wang, et al. (2010), “Biodegradation behavior of PHBV films in a pilot-scale composting condition”, *Polymer Testing*, **29(5)**, pp.579-587, DOI: 10.1016/j.polymertesting.2010.04.002.
- [16] C. Lin, N.K. Cheruiyot, X.T. Bui, et al. (2022), “Composting and its application in bioremediation of organic contaminants”, *Bioengineered*, **13(1)**, pp.1073-1089, DOI: 10.1080/21655979.2021.2017624.
- [17] P. Intaraksa, Y. Rudeekit, P. Siriyota, et al. (2013), “Comparative study of the bio-disintegration behavior of polylactic acid under laboratory and pilot-scale composting conditions”, *Advanced Materials Research*, **747**, pp.678-681, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.747.678.