

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ ỔN ĐỊNH Bùn VỚI CÁC THỰC NGHIỆM Ủ HIẾU KHÍ CÓ PHỐI TRỘN VẬT LIỆU Độn

THE EVALUATION OF THE STABILIZATION EFFECTIVENESS OF SLUDGE IN AEROBIC INCUBATION EXPERIMENTS COMBINED WITH A BULKING AGENT

Võ Diệp Ngọc Khôi*, Trần Văn Quang, Phan Như Thúc, Nguyễn Phước Quý An

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam¹

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: vdnkhoi@dut.udn.vn

(Nhận bài / Received: 04/3/2023; Sửa bài / Revised: 20/4/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 25/4/2023)

Tóm tắt - Nghiên cứu trình bày kết quả so sánh hiệu quả ổn định bùn (B) từ hệ thống xử lý nước thải đô thị có phối trộn với vụn gỗ Xà cừ (XC) theo các chế độ ủ hiếu khí khác nhau. Ủ trong thùng xốp gồm MH1 (B-ủ hở); MH2 (B+XC-ủ hở); MH3 (B+XC-ủ kín) và ủ trong thùng quay MH4 (B+XC-ủ kín). Các yếu tố nhiệt độ, độ ẩm, pH, TDS và TOC được quan trắc liên tục để đánh giá diễn biến quá trình ổn định bùn trong các mô hình. Hiệu suất giảm khối lượng bùn sau 25 ngày ủ của các mô hình ghi nhận lần lượt là 91% (MH1), 80% (MH2), 76% (MH3) và 77% (MH4). So sánh về mức độ đáp ứng yêu cầu của các thông số quan trắc và hiệu suất giảm khối lượng bùn xác định mô hình ủ thùng quay có hiệu quả ổn định bùn cao hơn các mô hình ủ thùng xốp. Chỉ số GI của 7 mẫu dung dịch chiết bùn với nước cất theo tỷ lệ 1:10 có giá trị > 80% nên bùn đã ổn định và không chứa các thành phần gây độc.

Từ khóa - Bùn xử lý nước thải; vụn gỗ Xà cừ; co-composting; độ ổn định; hệ số nảy mầm

1. Đặt vấn đề

Ở Việt Nam, quy hoạch xử lý nước thải (XLNT) đô thị chưa thực sự chú trọng đến công nghệ xử lý hoặc vị trí tiêu hủy bùn phát sinh từ các nhà máy XLNT tập trung [1]. Bùn hiện tại chỉ được làm khô tự nhiên bằng sân phơi hoặc bằng các thiết bị ép cơ học sau đó chuyển đến các bãi chôn lấp đô thị [2]. Công đoạn xử lý bùn thực tế đã chiếm tỷ trọng lớn trong toàn bộ chi phí quản lý và vận hành của các nhà máy XLNT này [1].

Hiện tại, với đặc điểm nước thải từ hệ thống thoát nước chung có nồng độ thấp ở các đô thị của Việt Nam thì bùn phát sinh từ các hệ thống XLNT có đặc tính không phù hợp để xử lý theo phương pháp ủ kỵ khí thu hồi biogas (thực tế tại nhà máy XLNT Yên Sở - Hà Nội) [3]. Trong khi đó quá trình chế biến compost theo phương pháp ủ hiếu khí tại nhà máy XLNT Bình Hưng - Thành phố Hồ Chí Minh và nhà máy XLNT Đà Lạt - Lâm Đồng chủ yếu là làm khô và đảo trộn tự nhiên nên đa số công nghệ hiện nay còn khá đơn giản và chiếm diện tích [4]. Nếu không kết hợp chế phẩm vi sinh trong quá trình xử lý thì thời gian ủ sẽ kéo dài hoặc không bổ sung thêm các chất dinh dưỡng thì chất lượng compost sẽ không đảm bảo, cũng như quá trình ủ đã phát sinh thêm các vấn đề về môi trường. Từ năm 1980 trở đi, co-composting (đồng ủ compost) là quá trình đã được nghiên cứu nhằm xử lý các chất hữu cơ sử dụng nhiều hơn một nguyên liệu với mục đích cải thiện các hạn chế của quá trình ủ compost

Abstract - The study presents the results of comparing the stabilization efficiency of sludge (B) from the municipal wastewater treatment system combined with wood chips (XC) according to the different aerobic incubation methods (IM). In a styrofoam barrel, including MH1 (B-opened IM); MH2 (B+XC-opened IM); MH3 (B+XC-hermetical IM); and in the rotary drum, MH4 (B+XC-hermetical IM). Temperature, moisture, pH, TDS, and TOC are continuously monitored to evaluate the stabilization process. The sludge volume reduction efficiency (SVRE) of MH1, MH2, MH3, and MH4 after 25 days was 91%, 80%, 76%, and 77%, respectively. The comparison of the response levels of the monitored parameters and the SVRE has determined that the rotary drum model has a higher sludge stabilization efficiency than the foam barrel models. The GI of 7 samples of sludge extraction solution with distilled water at a ratio of 1:10 is >80%, so the stabilized sludge does not contain toxic components.

Key words - Wastewater treatment sludge; wood chip; co-composting; stability; generation index

truyền thống. Đặc biệt, tính hiệu quả về sự ổn định, yếu tố vệ sinh và chất lượng của phân trộn là những ưu điểm vượt trội của quá trình nên co-composting ngày càng được chú ý hơn từ những năm 2000 đến nay [5]. Những thay đổi cơ bản này có thể liên quan đến sự cải tiến về khoa học và công nghệ chế biến compost từ các loại rác thực phẩm, chất thải xanh, các phế phẩm nông nghiệp hoặc bùn hữu cơ từ các quá trình XLNT [6]. Bên cạnh đó, chất thải từ hoạt động cắt tỉa cây xanh định kỳ tại các đô thị là một nguồn thải đặc thù và chưa có hướng xử lý phù hợp. Hầu hết được đơn vị chức năng thu gom, vận chuyển, đổ thải ở những bãi đất trống ngoài thành tạo ra những nguy cơ về ô nhiễm môi trường và an toàn cháy rất cao. Điều này không những gây lãng phí nguồn vật liệu mà còn gây nhiều trở ngại cho công tác quản lý chất thải rắn đô thị [7].

Do đó, kế thừa nguyên lý quá trình co-composting, thực nghiệm ủ hiếu khí bùn từ hệ thống XLNT đô thị kết hợp vật liệu độn là chất thải cây xanh đường phố (cành cây Xà cừ) với các chế độ ủ khác nhau ở quy mô thử nghiệm được đề xuất. Bên cạnh quan trắc các yếu tố ảnh hưởng như nhiệt độ, độ ẩm, pH, TDS, TOC thì các phương pháp xác định độ ổn định bùn được thực hiện để đánh giá hiệu quả quá trình, làm cơ sở so sánh và lựa chọn mô hình thực nghiệm phù hợp nhằm phát triển các nghiên cứu nâng cao hiệu quả ổn định sinh hóa hiếu khí và tiềm năng tận dụng bùn sau xử lý tại các nhà máy XLNT đô thị ở Việt Nam.

¹ The University of Danang - University of Science and Technology, Danang, Vietnam (Vo Diep Ngoc Khoi, Tran Van Quang, Phan Nhu Thuc, Nguyen Phuoc Quy An)

2. Vật liệu và phương pháp

2.1. Mô hình thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện trên ba mô hình ủ dạng thùng xốp và một mô hình thùng ủ đảo trộn dạng quay. Thùng xốp (TX) hình chữ nhật có kích thước 60cm × 45cm × 40cm, phía trong được bọc một lớp nylon cách nhiệt. Mô hình thùng quay (TQ) dạng trụ tròn, vật liệu inox được bảo ôn bằng lớp bông thủy tinh cách nhiệt bên ngoài, đường kính trong 30 cm, dài 50 cm. Bên trong thiết bị được chế tạo các thanh inox cố định để đảo trộn vật liệu. Dưới đáy các mô hình được lắp đặt ống thổi khí bằng nhựa PVC đường kính 21 mm, có khoan lỗ phân phối khí với đường kính lỗ là 2 mm, khoảng cách giữa các lỗ là 30 mm. Bố trí van cấp khí và van xả nước rỉ đường kính 21 mm dưới đáy phía ngoài thành mô hình để điều chỉnh khí vào mô hình và thoát nước trong quá trình ủ vật liệu nếu phát sinh. Các mô hình được bố trí tại khu vực thực nghiệm như Hình 1.



Hình 1. Bố trí các mô hình tại khu vực thực nghiệm

Sử dụng máy thổi khí hiệu RESUN-ACO-008 (120W-220V-50Hz-0,032Mpa) với lưu lượng thổi điều chỉnh trung bình 10 m³/phút để cấp khí ổn định cho mô hình với chế độ thổi 2 phút thổi - 58 phút nghỉ. Sử dụng thiết bị đo nhiệt độ kết nối cảm biến bên trong các mô hình (DH.The 3009), cài đặt chế độ ghi và lưu dữ liệu tự động 2 phút/lần và một đầu dò bên ngoài để đo nhiệt độ môi trường.

2.2. Nguyên liệu

Bùn sau khi được khử nước tại nhà máy XLNT Sơn Trà, Thành phố Đà Nẵng được sử dụng làm nguyên liệu thực nghiệm. Hiện nay, hệ thống XLNT của nhà máy áp dụng quá trình sinh hoá hiếu khí (bể bùn hoạt tính theo công nghệ AO) để xử lý chất hữu cơ trong hỗn hợp nước thải đô thị và nước thải sau xử lý tại các nhà máy chế biến thủy sản. Ngoài các biện pháp cơ học bằng song chắn rác, bể lắng cát, hệ thống XLNT còn sử dụng biện pháp tuyển nổi áp lực để tách cặn không tan cũng như lượng mỡ trong nước thải thủy sản trước khi vào công đoạn xử lý sinh học. Bùn dư từ các bể bùn hoạt tính được đưa về bể nén ly tâm để giảm ẩm, bùn sau nén được bơm về khu vực ép bùn kiểu ly tâm [8]. Bùn sau khi qua máy ép được lấy mẫu và bảo quản kín trong túi đựng mẫu, sau đó vận chuyển về phòng thí nghiệm để xác định tính chất và thành phần. Tiến hành rây bùn bằng dụng cụ có đường kính lỗ rây < 1 mm để loại bỏ các tạp chất vô cơ có kích thước lớn trước khi thực hiện thí nghiệm.

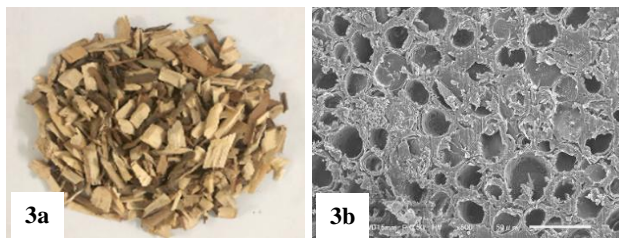
Vật liệu phối trộn lựa chọn sử dụng trong nghiên cứu là cành cây gỗ Xà cừ từ quá trình cắt tỉa cây xanh đường phố (tên khoa học là *Desr. A. Juss.*, thuộc họ *Meliaceae* có nguồn gốc từ Châu Phi [9]) được phơi khô và nghiền nhỏ thành

vụn gỗ đến kích thước 10mm x 10mm. Mẫu bùn và vụn gỗ được phân tích xác định tính chất và thành phần theo các phương pháp Tiêu chuẩn Việt Nam.



Hình 2. Bùn nhà máy XLNT (2a) và cành cây Xà cừ (2b)

Cấu trúc bề mặt của vụn gỗ Xà cừ xác định bằng thiết bị kính hiển vi điện tử (SEM), JSM-6010PLUS/V, độ phóng đại 500 lần. Phân tích ảnh SEM Hình 3b thể hiện bề mặt của vụn gỗ Xà cừ có hình tổ ong, kích thước lỗ đồng đều (40 - 50 μm). Đặc biệt, bề mặt vật liệu bên ngoài và bên trong có sự tương đồng về cấu trúc cho thấy khi trộn vụn gỗ Xà cừ vào bùn sẽ tạo môi trường thuận lợi để kích hoạt và tăng cường sự sinh trưởng của vi sinh vật trên bề mặt vật liệu.



Hình 3. Mẫu vụn gỗ Xà cừ 10mm x 10mm (3a) và ảnh SEM (3b)

Đồng thời, theo kết quả của thí nghiệm ổn định bùn từ hệ thống XLNT chế biến thủy sản có phối trộn vụn gỗ Xà cừ so sánh với các loại vật liệu khác như keo và mùn cưa ở chế độ ủ tĩnh cho thấy, sử dụng vụn gỗ Xà cừ thì thời gian duy trì được nhiệt độ tối ưu cho giai đoạn phân hủy sinh học của quá trình co-composting cao hơn các vật liệu khác [10]. Do đó, vụn gỗ Xà cừ được tiếp tục chọn làm vật liệu phối trộn cho các thực nghiệm trong nghiên cứu này.

2.3. Quy trình thực nghiệm

Bùn được trộn với vụn gỗ Xà cừ theo khối lượng tương ứng để hỗn hợp nguyên liệu có độ ẩm ban đầu khoảng 60% là 11,5 kg. Tỷ lệ trộn vật liệu và chế độ ủ trong các mô hình trình bày tại Bảng 1.

Bảng 1. Tỷ lệ trộn vật liệu và chế độ ủ trong các mô hình

Ký hiệu mô hình	Khối lượng (kg)		Chế độ ủ
	Bùn	Vụn gỗ	
MH1 (TX)	11,5	0	Ủ hở, cấp khí kết hợp đảo trộn
MH2 (TX)	9,2	2,3	Ủ hở, cấp khí kết hợp đảo trộn
MH3 (TX)	9,2	2,3	Ủ kín, cấp khí kết hợp đảo trộn
MH4 (TQ)	9,2	2,3	Ủ kín, cấp khí kết hợp đảo trộn

Sau khi nạp nguyên liệu, ngoài thông số nhiệt độ được quan trắc liên tục; các thông số khác như độ ẩm, pH, EC, TDS và TOC được kiểm tra định kỳ để theo dõi sự ảnh hưởng của các yếu tố vật lý và hóa học đến quá trình ủ. Theo dõi thí nghiệm cho đến khi nhiệt độ trong mô hình cân bằng với nhiệt độ môi trường thì kết thúc và tiến hành các khảo nghiệm đánh giá độ ổn định bùn của các mô hình.

2.4. Phương pháp

2.4.1. Quan trắc và phân tích

Phương pháp sử dụng nhằm lấy mẫu, phân tích xác định tính chất - thành phần bùn và vụn gỗ Xà cừ. Các thông số nhiệt độ, TDS được xác định bằng thiết bị đo. Các thông số quan trắc khác phân tích theo phương pháp Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) trình bày tại Bảng 2. Số lần lặp lại với mỗi phép đo là 3 lần/thông số.

Bảng 2. Các phương pháp phân tích theo TCVN

TT	Thông số	TCVN	TT	Thông số	TCVN
1	Độ ẩm	9297:2012	4	TOC	8941:2011
2	Độ tro	9297:2012	5	T-N	8557:2010
3	pH	5979:2007	6	T-P	8940:2011

2.4.2. Đánh giá độ ổn định bùn

a. Cảm quan về màu, mùi và kích thước hạt

Mặc dù cảm quan về màu, mùi và kích thước hạt không phản ánh chính xác độ ổn định của vật liệu sau khi ủ, nhưng các chỉ số này về cơ bản có thể cung cấp một đánh giá sơ bộ về mức độ phân hủy và hoại (chín) của mẫu bùn.

b. Khả năng tự sinh nhiệt

Độ hoại của bùn được xác định bằng phương pháp đo nhiệt độ của mẫu dựa trên cơ sở vật liệu khi đã ổn định thì lượng chất hữu cơ dễ phân hủy sinh học giảm gần như hoàn toàn, nhiệt phát sinh từ quá trình chuyển hóa các hợp chất khó phân hủy còn lại là không quá lớn [11]. Mẫu bùn sau khi kết thúc quá trình ủ (ngày cuối cùng) từ bốn mô hình cho vào đây bình cách nhiệt thể tích 500 mL. Theo dõi sự thay đổi nhiệt độ của các mẫu bùn trong thời gian 7 ngày liên tiếp, xác định mức chênh lệch nhiệt độ của bùn so với môi trường để đánh giá về độ ổn định của sản phẩm.

c. Khả năng nảy mầm của hạt

Xác định chỉ số nảy mầm của hạt Generation Index (GI) là một trong những phương pháp được sử dụng để đánh giá độ hoại của bùn cũng như đánh giá khả năng gây độc khi sử dụng bón cho cây trồng [12]. Quy trình xác định GI bao gồm ba bước chính: Đầu tiên, chuẩn bị dung dịch chiết bùn: nước cất theo tỷ lệ 1:10; thứ hai, ủ hạt đậu xanh với dịch chiết; thứ ba, đo lường và xác định tỷ lệ nảy mầm của hạt và đo độ dài của rễ hạt giống đã nảy mầm, tính trung bình. Thí nghiệm thực hiện lặp lại 2 lần. Tính toán hệ số nảy mầm bằng công thức GI.

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

Hệ số nảy mầm $\geq 80\%$ thì đạt chuẩn sử dụng bón cho cây trồng tùy theo nhu cầu sinh trưởng.

2.4.3. Phương pháp thống kê, phân tích và so sánh

Sử dụng trong nội dung tổng hợp, so sánh và phân tích kết quả nghiên cứu liên quan đến các thông số đánh giá hiệu quả ổn định bùn với mục tiêu lựa chọn được mô hình ủ phù hợp cho đối tượng nghiên cứu.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc điểm nguyên liệu ủ

Kết quả phân tích mẫu bùn nhà máy XLNT Sơn Trà sau khi được ép qua máy ép ly tâm trình bày tại Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả phân tích mẫu bùn XLNT Sơn Trà (Số mẫu: 04)

STT	Thông số	Khoảng giá trị	Trung bình
1	Độ ẩm (%)	84,7 - 86,3	85,4
2	Độ tro (%)	18,5 - 21,3	19,7
3	pH (-)	6,7 - 7,3	7,1
4	TOC (g/100g chất khô)	27,6 - 30,5	28,9
5	T-N (g/100g chất khô)	2,94 - 3,86	3,34
6	T-P (g/100g chất khô)	1,26 - 1,32	1,29

Bùn sau khử nước bằng máy ép nhà máy XLNT Sơn Trà có độ ẩm khá cao, trung bình 85,4% nhưng theo so sánh đã giảm được khoảng 11 - 13% so với độ ẩm ban đầu (bùn từ bể nén). Độ tro khoảng 18,5 - 21,3% và giá trị pH dao động từ 6,7 đến 7,3. Hàm lượng TOC không có sự biến động lớn về giá trị đo, trung bình gần 29%, cao hơn 7% so với bùn từ nhà máy XLNT Hòa Xuân khi quan trắc cùng thời điểm [13]. Đối với các thông số dinh dưỡng, bùn Sơn Trà có hàm lượng T-N cao hơn 2,5 lần và hàm lượng T-P cao gấp xấp xỉ 1,4 lần so với bùn Hòa Xuân. Do đặc thù hệ thống XLNT Sơn Trà vừa XLNT sinh hoạt vừa XLNT chế biến thủy sản nên tính chất và thành phần bùn có sự khác biệt về độ tro, hàm lượng cacbon hữu cơ và dinh dưỡng tính trong 100g chất khô khi so sánh với các nhà máy XLNT đô thị khác.

Kết quả phân tích mẫu vụn gỗ Xà cừ được trình bày tại Bảng 4, cho thấy sau khi được làm khô, độ ẩm vật liệu giảm còn khoảng 3%. Hàm lượng cacbon hữu cơ cao gấp xấp xỉ 50% trong khi hàm lượng T-N và T-P khá thấp. Với đặc điểm này, vụn gỗ khi trộn vào bùn sẽ có ưu điểm sẽ cân bằng độ ẩm của hỗn hợp vật liệu ủ, đồng thời sẽ cung cấp thêm lượng cacbon khi cần thiết cho quá trình ủ hiếu khí [14].

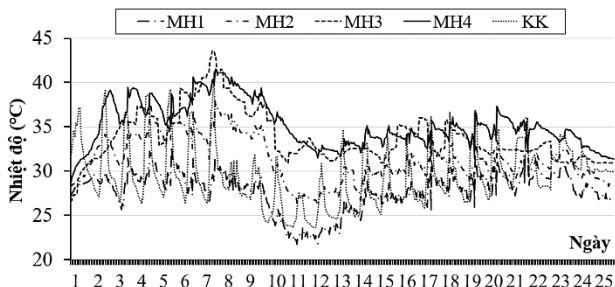
Bảng 4. Kết quả phân tích mẫu vụn gỗ xà cừ (Số mẫu: 02)

Độ ẩm (%)	Độ tro (%)	TOC (g/100g chất khô)	T-N (g/100g chất khô)	T-P (g/100g chất khô)
2,93	2,28	49,45	0,017	0,26

3.2. Kết quả theo dõi các yếu tố ảnh hưởng quá trình

- **Nhiệt độ:** Nhiệt độ là một trong các yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hoạt tính của vi sinh vật trong quá trình phân hủy sinh học và là chỉ thị để nhận biết các giai đoạn xảy ra trong quá trình ổn định bùn [13]. Biến thiên nhiệt độ trong bốn mô hình được thể hiện tại Hình 4. Nhiệt độ theo dõi trong các mô hình có biên độ cao hơn nhiệt độ môi trường do có quá trình phân hủy hiếu khí chất hữu cơ diễn ra trong hỗn hợp vật liệu ủ, riêng MH1 có nền nhiệt độ thấp nhất và có xu hướng phụ thuộc nhiệt độ môi trường. Nhiệt độ cao nhất MH1 ghi nhận ở ngày thứ năm là 32,8 °C trong khi ba mô hình MH2, MH3 và MH4 ghi nhận cao nhất vào ngày thứ bảy lần lượt ở các giá trị 38,1 °C, 43,6 °C và 41,5 °C. Tuy nhiên, chỉ có MH4 duy trì được mức nhiệt độ này ở hai ngày tiếp theo. Từ ngày 9 đến ngày 13, nhiệt độ trong các mô hình giảm xuống do đa số các chất hữu cơ dễ phân hủy trong bùn đã bị oxy hóa, đồng thời nhiệt độ môi trường hạ đột ngột, dao động dưới mức 25°C nên quá trình thổi khí tươi (nhiệt độ thấp) vào mô hình đã làm tụt thất nhiệt. Sau đó, các mô hình bước sang giai đoạn chuyển đổi (từ ngày 14 đến ngày 20), giai đoạn này diễn ra quá trình phân hủy các hợp chất có cấu trúc phức tạp hơn nên nhiệt độ có xu hướng tăng lên

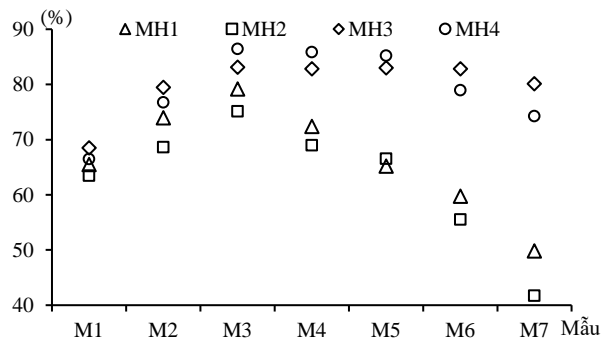
và duy trì ở mức 35 - 38 °C ở hai mô hình MH3 và MH4. Trong khi đó, MH1 và MH2 ủ hờ nên nhiệt sinh ra từ quá trình oxy hóa chất hữu cơ một phần bị thất thoát làm nhiệt độ luôn thấp hơn MH3 và MH4 từ 5 - 8 °C. Từ ngày 22, các mô hình chuyển sang giai đoạn ổn định, nhiệt độ giảm và không có sự thay đổi đáng kể ở ngày thứ 25, riêng MH1 và MH2 có nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ môi trường.



Hình 4. Biến thiên nhiệt độ trong các mô hình

Nhận xét chung, khi đạt được nhiệt độ tối đa, các mô hình có trộn vật liệu độn có thời gian giữ nhiệt là khá ngắn (khoảng 2 - 3 ngày), do vụn gỗ Xà cừ có độ rỗng cao làm tăng độ xốp trong vật liệu ủ nên khả năng khuếch tán khí tốt nhưng lại giữ nhiệt kém. Độ chênh lệch nhiệt độ trung bình trong các mô hình so với nhiệt độ môi trường trong khoảng 2 - 6,2°C. Mặc dù, nhiệt độ ở pha ưa nhiệt trong quá trình ổn định bùn chỉ đạt mức cao nhất ở MH3 (43,6°C), tuy nhiên biến thiên nhiệt độ trong các mô hình có phối trộn vụn gỗ Xà cừ về cơ bản diễn ra tương tự với nền nhiệt độ thuộc các giai đoạn sinh hóa của quá trình composting.

- **Độ ẩm:** Độ ẩm của vật liệu trong quá trình ủ có sự khác biệt rõ rệt giữa các mô hình, thể hiện tại Hình 5.



Hình 5. Biến thiên giá trị độ ẩm trong các mô hình

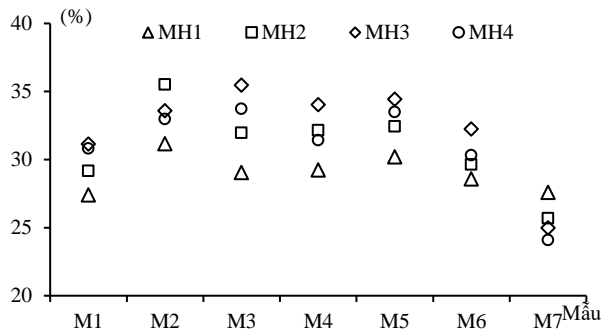
Độ ẩm các mô hình MH3 và MH4 dao động trong khoảng 66 - 79% trong khoảng thời gian từ ngày thứ 5 đến ngày thứ 10 do nhiệt độ trong các mô hình đạt ở mức cao nhất nên nước có khả năng bốc hơi và được đẩy ra ngoài ở các thời điểm thời khí. Từ ngày thứ 10 đến ngày thứ 15, độ ẩm các mô hình tăng 83 - 86% do quá trình oxy hóa các hợp chất hữu cơ dễ phân hủy chậm lại, kết hợp nhiệt độ không khí ở thời điểm này khá thấp, đồng thời hai mô hình được đậy kín đã làm giảm quá trình thoát hơi nước nên độ ẩm trong giai đoạn này khá cao. Đặc biệt MH3 ở những thời điểm mở nắp thùng để xáo trộn và lấy mẫu, quan sát có hiện tượng đọng sương trên nắp đậy mô hình. Từ ngày thứ 20, mô hình bắt đầu chuyển sang giai đoạn ổn định, quá trình phân hủy chất hữu cơ giảm nên độ ẩm ghi nhận ở thời

điểm cuối quá trình của MH3 và MH4 lần lượt là 80% và 74%. Trong khi đó, MH1 và MH2 có độ ẩm thấp hơn, lần lượt là 52% và 41,5% ở thời điểm cuối quá trình. Do MH2 có trộn vụn gỗ nên độ rỗng vật liệu cao hơn MH1, thuận tiện cho quá trình thoát hơi nước hơn nên kết thúc quá trình, độ ẩm MH2 thấp hơn MH1.

- **pH:** Giá trị pH ghi nhận ở mức 6 - 6,6 ở các mô hình sau 5 ngày đầu nên vật liệu có tính axit nhẹ trong giai đoạn đầu của quá trình ủ do diễn ra sự phân hủy các hợp chất chứa cacbon dạng carbohydrate đơn giản hình thành các axit hữu cơ, sau đó ổn định ở mức 6,8 - 7,1. Riêng đối với MH3 và MH4, pH tăng đến khoảng 7,3 - 7,5 ở những ngày cuối quá trình. Giá trị pH tuy có sự biến thiên theo thời gian nhưng nhìn chung pH biến thiên nằm trong giới hạn cho phép đối với điều kiện phân hủy hiếu khí, đảm bảo không diễn ra quá trình thất thoát nitơ dạng amoni gây mùi.

- **TDS:** Hàm lượng chất rắn hòa tan trong mẫu vật liệu ủ có xu hướng tăng dần trong khoảng 20 ngày đầu ở ba mô hình có phối trộn vụn gỗ, trong khi MH1 dao động không đáng kể. Giá trị TDS dao động từ 110 - 536 mg/l đối với MH1 và từ 657 - 963 mg/l đối với MH2, 728 - 1071 mg/l đối với MH3 và 710 - 1228 mg/l đối với MH4. Trong giai đoạn ổn định (5 ngày cuối), giá trị TDS là hầu như không thay đổi nhiều, giá trị TDS của bùn khoảng 1000 mg/l. Sự biến thiên này cho thấy, quá trình oxy hóa và khoáng hóa diễn ra mạnh trong các pha ưa nhiệt và pha ổn định, hình thành các hợp chất vô cơ và ion hòa tan trong vật liệu ủ.

- **TOC:** TOC là thông số cơ bản để đánh giá quá trình chuyển hóa chất hữu cơ và tổng hợp sinh khối vi sinh vật trong quá trình ủ sinh hóa hiếu khí. Hàm lượng tổng cacbon hữu cơ tính theo chất khô của MH1 là 29,8%, ba mô hình còn lại có trộn vụn gỗ nên giá trị TOC ban đầu trong hỗn hợp vật liệu là 33,01%. Diễn biến giá trị TOC trong 25 ngày ủ thể hiện tại Hình 6.





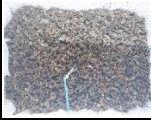





Hình 6. Biến thiên giá trị TOC trong các mô hình

Sự thay đổi hàm lượng TOC trong vật liệu ủ phụ thuộc vào quá trình oxy hóa các hợp chất cacbohydrate sinh năng lượng nên TOC ban đầu sẽ giảm ở giai đoạn thích nghi và giảm mạnh ở giai đoạn tăng trưởng. Sau đó vi sinh vật sẽ sử dụng năng lượng để tổng hợp tế bào mới, làm gia tăng lượng cacbon hữu cơ trong toàn bộ nguyên liệu ủ. Sự dao động của TOC có thể là do trong môi trường ủ diễn ra quá trình tiêu thụ cơ chất là một chất hữu cơ cụ thể, làm gia tăng số lượng của một chủng vi sinh vật hữu hiệu cho quá trình phân hủy tạo năng lượng và sinh khối tế bào từ loại chất hữu cơ đó. Sau một khoảng thời gian từ 2 đến 5 ngày, môi trường hết cơ chất sẽ xảy ra quá trình oxy hóa nội bào

khuyến cho số lượng các cá thể thuộc chủng vi sinh vật đó suy giảm, tạo điều kiện thuận lợi để chủng vi sinh vật khác sinh trưởng và phát triển theo cơ chế cạnh tranh nguồn thức ăn để phân hủy các hợp chất hữu cơ khác trong bùn thải, do đó giá trị TOC sẽ tăng giảm theo cơ chế quá trình vi sinh vật diễn ra trong vật liệu ủ. Trong thực nghiệm này, hiệu suất chuyển hóa các hợp chất cacbon hữu cơ trong quá trình ủ bùn xác định lần lượt là 7,5% (MH1), 13,75% (MH2), 15,95% (MH3) và 19% (MH4).

- Cảm quan về trạng thái của vật liệu ủ: Trong quá trình thí nghiệm, các hiện tượng thay đổi vật liệu bên trong bốn mô hình được ghi nhận và đánh giá, thể hiện tại Bảng 5.

Bảng 5. Bảng theo dõi trạng thái vật liệu ủ trong các mô hình

MH1	MH2	MH3	MH4
			
Cảm quan trạng thái vật liệu ủ trong các mô hình ở ngày thứ 5			
			
Cảm quan trạng thái vật liệu ủ trong các mô hình ở ngày thứ 25			

Sau 5 ngày đầu, MH1 và MH2 có hiện tượng khô ở bề mặt, MH3 và MH4 chưa có sự thay đổi rõ rệt. Từ ngày thứ bảy, MH1 xuất hiện vi nấm trắng và MH2 có hiện tượng bùn bắt đầu tách rời khỏi vụn gỗ khi đảo trộn. Từ ngày thứ 12, quan sát MH2, MH3, MH4 bắt đầu xuất hiện vi nấm, MH3 có hiện tượng đọng sương. Từ ngày thứ 20 đến khi kết thúc quá trình ủ, thể tích MH1 và MH2 giảm rõ rệt, bùn có trạng thái khô đồng đều, trong khi MH3 và MH4 độ ẩm bùn còn khá cao nhưng cảm quan thì bùn MH4 tối và xốp hơn MH3. Việc xuất hiện sớm vi nấm trong MH1 do quá trình oxy hóa chất hữu cơ dễ phân hủy trong bùn diễn ra chậm, vi khuẩn tăng trưởng kém nên bị ức chế. Ở MH2, MH3 và MH4, khi kết thúc pha ưa nhiệt, giá trị pH đảm bảo môi trường thích hợp cho vi nấm hình thành và sinh trưởng để phân giải các hợp chất có cấu trúc phức tạp hơn.

3.3. Hiệu quả giảm khối lượng bùn

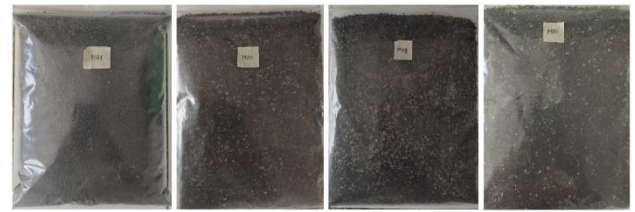
Về mặt vật lý, tỷ lệ giảm khối lượng hoặc thể tích là một trong những thông số đánh giá hiệu quả quá trình ổn định bùn. Theo tính toán, khối lượng bùn giảm trung bình (g/ngày) của các mô hình sau 25 ngày ủ lần lượt là 293 (MH1); 258 (MH2); 245 (MH3) và 248 (MH4), tương ứng với hiệu suất giảm khối lượng bùn là 91%; 80%; 76% và 77%. Như vậy, hiệu suất giảm khối lượng MH1 và MH2 cao $\geq 80\%$ chủ yếu do quá trình bay hơi nước tự nhiên chiếm ưu thế hơn so với quá trình phân hủy bùn. Các mô hình còn lại có hiệu suất thấp hơn 10 - 15% do vật liệu độn có khả năng giữ ẩm và MH3, MH4 ủ ở chế độ kín (đậy nắp) nên quá trình bay hơi nước bị hạn chế so với ủ hở như MH1 và MH2.

3.4. Kết quả đánh giá độ ổn định bùn

3.4.1. Màu, mùi và kích thước hạt

Bùn trong các mô hình sau khi kết thúc thí nghiệm được sàng tách vật liệu độn và bảo quản như Hình 7. Cảm quan

các mẫu bùn không còn mùi thối đặc trưng của bùn tươi sau khoảng gần bốn tuần thực nghiệm.



Hình 7. Các mẫu bùn sau khi sàng tách vật liệu độn

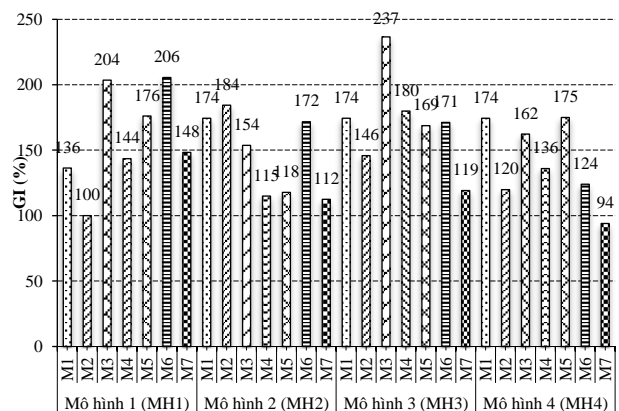
Quan sát thấy màu đen của bùn tươi đã chuyển sang màu nâu đất. So sánh bùn MH1 có màu nâu nhạt và hạt bùn bị vón trong khi bùn MH4 có màu nâu đậm và kích thước hạt nhỏ hơn các MH2 và MH3.

3.4.2. Khả năng tự sinh nhiệt

Kết quả ghi nhận nhiệt độ vật liệu sau khi ủ của bốn mô hình chênh lệch khoảng 0,2 - 1,1°C so với nhiệt độ môi trường, trong đó MH1 và MH2 có mức chênh lệch so với nhiệt độ môi trường ở mức cao hơn mô hình MH3 và MH4. Nhìn chung, vật liệu trong các mô hình có phối trộn vụn gỗ đã được ổn định, khả năng tự sinh nhiệt không đáng kể và có thể lưu trữ trong điều kiện nhiệt độ phòng [15].

3.4.3. Kết quả xác định chỉ số GI

Kết quả theo dõi mật độ nảy mầm của hạt và chiều dài của rễ mầm tương ứng với 7 thời điểm lấy mẫu trong 25 ngày ủ (trung bình 3 - 5 ngày/lần) là cơ sở xác định chỉ số GI, thể hiện tại Hình 8.



Hình 8. Kết quả xác định chỉ số GI (tỷ lệ chiết 1:10)

Hệ số GI của các mẫu theo tỷ lệ chiết xuất bùn sau ổn định thành dung dịch thí nghiệm là 1:10 của các mô hình có sự biến thiên lớn, dao động ở khoảng giá trị 94 - 237 và có xu hướng giảm dần về cuối quá trình. Điều này có thể giải thích theo tiến trình của các giai đoạn ủ, các hợp chất gây độc có thể hiện diện trong vật liệu ủ hoặc được chuyển hóa liên tục thành dạng ít độc hơn nên ảnh hưởng nhiều hoặc ít đến khả năng nảy mầm cũng như quá trình hình thành rễ của mầm. Đặc biệt ở cuối quá trình ủ, các mô hình đều đạt giá trị GI > 80% chứng tỏ vật liệu đang ở trạng thái cân bằng C/N [14], có thể không chứa độc tính [16]. Riêng MH1 ghi nhận giá trị GI cao nhất ở cuối quá trình là 148 (M7), do bùn XLNT Sơn Trà không chứa thành phần nguy hại, quá trình phân hủy MH1 diễn ra kém nên sẽ hình thành ít các sản phẩm chuyển hóa có khả năng gây độc cho quá trình nảy mầm của hạt. Do đó, cần thiết kiểm soát sự

hình thành các hợp chất độc tố trong tiến trình ủ nhằm duy trì sự sinh trưởng và phát triển hệ vi sinh vật trong vật liệu và đảm bảo yếu tố an toàn vệ sinh khi tái sử dụng bùn đã ổn định theo nhu cầu.

3.5. So sánh hiệu quả ổn định bùn của các mô hình

Mỗi chế độ ủ có ưu điểm và hạn chế riêng khi so sánh với các thông số đánh giá. Tuy nhiên, trên cơ sở đánh giá về khả năng phân hủy chất hữu cơ sinh nhiệt và thời gian duy trì nhiệt độ cao nhất của quá trình sinh hóa, kết hợp với hiệu suất làm giảm khối lượng bùn (chủ yếu từ quá trình phân hủy bùn chiếm ưu thế) và hiệu suất chuyển hóa TOC, thì ngoài MH1 là mô hình đối chứng, MH2 và MH3 không có sự khác biệt lớn về hiệu quả ổn định bùn. Ở chế độ ủ kín có phối trộn vật liệu độn như MH4 có hiệu quả hơn so với MH2 và MH3 về khả năng xáo trộn cơ học, nhiệt độ pha thích nghi tăng nhanh kể từ ngày thứ ba và mức độ ổn định nhiệt trên 40°C ở giai đoạn vi khuẩn ưa nhiệt nên MH4 là sự lựa chọn phù hợp hơn MH2 và MH3 khi thiết kế chế độ ủ theo phương pháp co-composting.

4. Kết luận

Bùn sau quá trình ép tại nhà máy XLNT Sơn Trà có độ ẩm cao (> 85%), hàm lượng tổng cacbon hữu cơ và tổng nitơ khá cao nên phù hợp xử lý theo phương pháp ủ sinh học trong điều kiện hiếu khí. Vụn gỗ Xà cừ có độ ẩm khá thấp (3%), hàm lượng tổng cacbon hữu cơ cao (xấp xỉ 50%), bề mặt cấu trúc vật liệu dạng hình tổ ong, đồng đều về kích thước các lỗ rỗng nên phù hợp làm vật liệu độn cho quá trình ổn định bùn. Việc phối trộn thêm vụn gỗ Xà cừ giúp cân bằng độ ẩm, tăng độ rỗng và duy trì tỷ lệ C/N thích hợp cho hỗn hợp vật liệu trong suốt tiến trình ủ hiếu khí.

Kết quả quan trắc về nhiệt độ và pH là hai chỉ báo quan trọng về trạng thái của quá trình phân hủy sinh học diễn ra trong thực nghiệm này. Với khối lượng hỗn hợp vật liệu ủ ban đầu là 11,5 kg (tương ứng tỷ lệ bùn : vụn gỗ là 4:1) thì tổng thời gian ổn định bùn là 25 ngày, giai đoạn tăng trưởng diễn ra trong khoảng 10 ngày (từ ngày 5 đến ngày 15), pH dao động trong khoảng 6 - 7,5 nên duy trì được chế độ sinh hóa trong điều kiện phân hủy hiếu khí.

Về tỷ lệ giảm khối lượng bùn, các mô hình có phối trộn vụn gỗ đạt trên 75% sau 25 ngày, tỷ lệ chuyển hóa TOC đạt trên 13% và cao nhất ở mức 19% đối với MH4. Giá trị GI của các mô hình đều đạt giá trị trên 80% nên khả năng bùn sau quá trình ổn định không chứa thành phần độc hại. Kết quả nghiên cứu chỉ ra quá trình co-composting ổn định bùn từ hệ thống XLNT có phối trộn với vụn gỗ Xà cừ có hiệu quả hơn trong điều kiện thổi khí kết hợp đảo trộn trong thiết bị thùng quay (MH4) so với các mô hình ủ tĩnh có đảo trộn thủ công (MH2 và MH3) khi so sánh các thông số quan trắc diễn biến quá trình ủ và tỷ lệ giảm khối lượng bùn sau quá trình ổn định bùn.

Để khẳng định hiệu quả quá trình co-composting đối với bùn sau quá trình khử nước tại nhà máy XLNT đô thị, mô hình ủ hiếu khí có đảo trộn bằng thiết bị thùng quay kết

hợp vụn gỗ Xà cừ sẽ được tiếp tục nghiên cứu để hoàn thiện các thông số quá trình. Đồng thời, chất lượng bùn sau khi ổn định và các khảo nghiệm trực tiếp trên cây trồng sẽ được triển khai nhằm đánh giá tiềm năng tận dụng bùn sau quá trình ổn định cho mục đích cải tạo đất hoặc bổ sung dinh dưỡng cho các cây trồng tùy theo nhu cầu.

Lời cảm ơn: Bài báo này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Đà Nẵng với đề tài có mã số T2022-02-43.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N. H. Tien, "Waste mud management in Vietnam: Challenges and proposed solutions", *Environment Magazine (VEM), Vietnam Environment Administration, Ministry of Natural Resources and Environment*, vol. 1+2, 2015.
- [2] Ministry of Natural Resources and Environment, *National Environmental Report - Waste Management*, Hanoi, 2017.
- [3] UNDP - *Wastewater management and Resource recovery - Vietnam*, 2018.
- [4] World Bank - *Assessment of Wastewater Management Activities in Vietnam*, 2013.
- [5] H. Hiroshan et al., *Organic Waste Composting through Nexus Thinking: Practice, Policies and Trend*, Springer ISBN: 978-3-030-36282-9, 2020.
- [6] J. Barthod, C. Rumpel, and M. F. Dgnac, "Composting with additives to improve organic amendments-A review", *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 38, no. 2, pp. 17, 2018.
- [7] H. Long, "Accumulation of polluted waste, Danang Green Trees Company requests an additional 5 billion for landfill relocation", *Labor Newspaper*, 2021. [Online] Available: <https://laodong.vn/xahoi/>, [Accessed 5/1/2021].
- [8] UPL Environment Engineers Ltd. and KHILARI Infrastructure PVT. Ltd. Consortium, *Technical design proposal for Contract Package B55B upgrading Son Tra wastewater treatment plant*, 2015.
- [9] Khaya senegalensis (Desr.) A. Juss, *Wikipedia - The free encyclopedia*, [Online] Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Khaya_senegalensis. [Accessed 7/1/2021]
- [10] D.N.K. Vo et al., *The Effect of Adding Wood Chips on The Decomposition of Sludge from Seafood Processing Wastewater Treatment System*, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 2022, doi:10.1088/1755-1315/1009/1/012003.
- [11] ADAS Consulting Limited, *Assessment of options and requirements for stability and maturity testing of compost*, Statistical Report on Test Method, The Waste and Resources Action Programme, 2005.
- [12] F. Zucconi, A. Monaco, and M. Debertoldi, "Biological evaluation of compost maturity", *Biocycle*, vol. 22, pp. 27-29, 1981.
- [13] D.N.K. Vo, M. Tokuoka, S. Tanaka, N.T. Phan, and V.Q. Tran, "Study on sludge treatment by the aerobic stabilization process combined with bulking agent and heated air supply", *Vietnam Journal of Science and Technology*, vol. 58, no. 5A, pp. 190-200, 2020.
- [14] The Environment Ministry of Canada, *Technical Document on Municipal Solid Waste Organics Processing*, Cat. No.: En14-83/2013E. ISBN: 978-1-100-21707-9, 2013.
- [15] L. Villalba et al., "Some biological parameters in the evaluation of the stability and maturity of two compost", *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, vol. 38, pp. 06-30, 2021.
- [16] Y. Luo, J. Liang, G. Zen, M. Chen, D. Mo, G. Li, and D. Zhang, "Seed germination test for toxicity evaluation of compost: Its roles, problems and prospects", *Waste Management*, vol. 71, pp. 109-114, 2018.