

KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA TẢI LƯỢNG HỮU CƠ ĐẾN QUÁ TRÌNH PHÂN HỦY KỶ KHÍ HAI PHA CHẤT THẢI RẮN SINH HOẠT HỮU CƠ

Phạm Văn Định^{a,*}, Trần Công Khánh^a, Lê Thọ Bách^a, Trần Thanh Liêm^b, Nguyễn Phú Gia^a

^aKhoa Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

^bCục Quản lý chất thải, Bộ Tài Nguyên và Môi Trường,
số 10 đường Tôn Thất Thuyết, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 18/8/2023, Sửa xong 28/01/2024, Chấp nhận đăng 01/02/2024

Tóm tắt

Mục tiêu nghiên cứu này là khảo sát ảnh hưởng tải lượng hữu cơ (OLR) của chất nền đến hệ thống phân hủy hai pha (TAD) chất thải rắn sinh hoạt hữu cơ. Hệ thống TAD bao gồm một bể thủy phân (HR) và một bể Mêtan (MR). Chất thải rắn hữu cơ được thủy phân trong bể HR ở điều kiện pH 6,5 với thời gian lưu 5 ngày. Sau đó, thành phần dịch thủy phân được tách khỏi chất nền và bơm vào bể Mêtan (MR) với các tải lượng 1,6-9,5 kg-COD/(m³.ngđ). Các bể phản ứng được duy trì ở nhiệt độ ấm (36-37°C). Ở bể HR, dịch thủy phân thu được có sản lượng đạt 1,26 g-COD/g-VS với tỉ lệ SCOD/TCOD = 0,63. Thành phần COD của VFAs (sản lượng 0,4 g-VFAs/g-VS) chỉ chiếm 74% so với SCOD, chứng tỏ 26% cơ chất đã bị thủy phân nhưng chưa thể chuyển hóa thành axit bay hơi ngắn mạch. Ở bể MR, sự gia tăng về tải lượng hữu cơ làm giảm hiệu suất của quá trình chuyển hóa. Tải lượng 6,45 kg-COD/(m³.ngđ) được coi là điểm tới hạn về tải lượng để có hiệu suất hoạt động cao. Tại đây, hệ thống đạt được sản lượng khí 358,6 Nml/g-COD với 69,6% CH₄ và hiệu suất loại bỏ chất hữu cơ tính theo COD đạt > 95%. Khi OLR vượt quá điểm tải lượng này thì có sự suy giảm nhanh chóng về chất lượng khí, sản lượng khí và khả năng loại bỏ chất hữu cơ.

Từ khóa: chất thải rắn hữu cơ; mêtan; phân hủy kỵ khí; phân pha; thủy phân.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ORGANIC LOADING RATES ON THE TWO-PHASE ANAEROBIC DIGESTION OF BIODEGRADABLE MUNICIPAL SOLID WASTE

Abstract

The objective of this study is to investigate the effect of organic loading rates (OLR) of the substrate on the two-stage anaerobic digestion (TAD) of biodegradable municipal solid waste (BSW). The TAD system contained one hydrolysis tank (HR) and one methane reactor (MR). The BSW was hydrolyzed in the HR at pH 6.5 condition with a retention time of 5 days. The liquid hydrolysate component was then separated from the substrate and pumped into the MR with an OLR in the range of 1.6-9.5 kg-COD/(m³.ngđ). The reactors were maintained at a temperature of 36-37°C. In the HR tank, the liquid hydrolysate had a yield of 1.26 g-COD/g-VS with the ratio SCOD/TCOD = 0.63. The COD of VFAs (yield of 0.4 g-VFAs/g-VS) accounted for only 74% of total SCOD, showing that 26% of the substrate was hydrolyzed but could not be converted to VFAs. In the MR tank, an increase in organic load reduces the efficiency of the conversion process. A load of 6.45 kg-COD/(m³.ngđ) is considered the critical load point for high performance. Here, the system achieves a gas output of 358.6 Nml/g-COD with 69.6% CH₄ and a COD removal efficiency of > 95%. When the OLR exceeds this point, there is a sharp decline in biogas quality, biogas quantity, and COD removal.

Keywords: organic solid waste; methane; anaerobic digestion; two-stage; hydrolysis.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18\(1V\)-14](https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18(1V)-14) © 2024 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: dinhpv@huce.edu.vn (Định, P. V.)

1. Đặt vấn đề

Quản lý chất thải rắn (CTR) đúng cách đã và đang là những thách thức lớn trong tiến trình phát triển của thế giới ngày nay [1]. Đặc biệt là quản lý CTR hữu cơ có khả năng phân hủy sinh học. Chúng chiếm một tỉ trọng rất lớn (khoảng 50-60%) trong thành phần chất thải và nhanh chóng bị phân hủy khi bị thải bỏ ra môi trường [2]. Do đó, chúng gây ra những hệ lụy ô nhiễm môi trường nghiêm trọng bởi các tác động trực tiếp và gián tiếp như: ô nhiễm nước mặt, ô nhiễm nước ngầm, ô nhiễm mùi, phát thải khí nhà kính, tạo nguồn lây nhiễm mầm gây bệnh. Theo thống kê 2019, Việt nam tạo ra 64.018 tấn rác thải sinh hoạt mỗi ngày. Hầu hết lượng rác thải này được đem đi chôn lấp và chỉ một số ít được chôn lấp theo quy trình chôn lấp hợp vệ sinh, gây ra các vấn đề ô nhiễm môi trường nghiêm trọng [3]. Nhận thấy hệ lụy của các vấn đề này, Luật môi trường mới được ban hành năm 2022 đã bắt buộc các địa phương phải phân loại và xử lý riêng thành phần chất thải rắn hữu cơ (CTRHC). Tuy nhiên, do thiếu những nghiên cứu về phương án xử lý và xây dựng hạ tầng, đến nay, việc triển khai theo luật định là không khả thi. Trong khi đó, nếu được thu gom và sử dụng đúng cách, CTRHC có thể trở thành cơ chất cho việc sản xuất năng lượng tái tạo thông qua quá trình phân hủy kỵ khí (PHKK) [1]. Do đó, quá trình PHKK cơ chất là CTRHC ngày càng được chú trọng nghiên cứu. Thực tế, quá trình PHKK đang trở thành một mắt xích quan trọng không thể thiếu trong hệ thống quản lý chất thải bền vững hiện đang được các nước phát triển áp dụng.

Quá trình PHKK có thể được chia thành ba bước cơ bản gồm: (i) Thủy phân/ Lên men axit, (ii) acetat hóa và (iii) sinh Mêtan. Trong đó, bước thứ nhất và bước thứ ba được thực hiện bởi các nhóm Vi sinh vật có đặc tính sinh trưởng rất khác nhau. Do đó, hiện nay các nghiên cứu hầu hết hướng đến việc phân tách hai bước phản ứng này trong các bể phản ứng riêng rẽ, hay còn gọi là PHKK hai giai đoạn (two-stage anaerobic digestion – TAD). Nhờ vào việc phân tách này mà quá trình TAD được cho là sẽ có nhiều ưu điểm vượt trội hơn so với các dạng công nghệ truyền thống như: độ ổn định cao hơn, cung cấp nhiều chế độ vận hành hơn, và hiệu suất chuyển hóa năng lượng cao hơn [1, 4]. Tải lượng hữu cơ là yếu tố cơ bản đánh giá hiệu quả năng lực hoạt động của một hệ thống. Có một số những nghiên cứu đã tối ưu điều kiện tải lượng cho TAD trong việc phân hủy chất thải hữu cơ. Rodríguez-Pimentel và cs. [5] sử dụng dịch nước rỉ từ bể thủy phân từ CTRHC có pH 4.9 để làm cơ chất cho bể MR với tải lượng trong khoảng 6.6-13 kg-COD/(m³.ngđ). Họ cho thấy bể MR đạt hiệu suất sản lượng khí tốt nhất 279 ml/g-VS tại OLR 9 kg-COD/(m³.ngđ). Boonsawang và cs. [6] sử dụng cơ chất là nước thải dầu sinh học để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số vận hành tới sản lượng khí biogas. Họ cho thấy rằng việc tăng tải lượng (4÷8 kg-COD/m³/ngđ) có ảnh hưởng tiêu cực đến quá trình hình thành khí sinh học, sản lượng khí đạt cao nhất với tải lượng 6,1 kg-COD/(m³.ngđ). Massanet-Nicolau và cs. [7] sử dụng chất nền cỏ xanh để kiểm nghiệm hệ thống TAD ở hai điều kiện tải lượng 4,4 kg-VS/(m³.ngđ) và 2,6 kg-VS/(m³.ngđ), kết quả ở điều kiện tải lượng thấp hơn cho năng suất khí sinh học và tỉ lệ loại bỏ COD cao hơn. Như vậy việc tối ưu tải lượng đến hệ thống TAD đã được nghiên cứu với nhiều dạng cơ chất. Tuy nhiên, các nghiên cứu đánh giá về tải lượng CTR sinh hoạt hữu cơ đến TAD vẫn còn hạn chế.

Do đó, nghiên cứu này nhằm bước đầu đánh giá ảnh hưởng của tải lượng hữu cơ đến hệ thống PHKK hai giai đoạn sử dụng cơ chất là CTRHC. Việc đánh giá hiệu suất các giai đoạn thử nghiệm với các tải lượng hữu cơ khác nhau được thực hiện thông qua hiệu suất sinh Mêtan và sự chuyển hóa chất hữu cơ của cơ chất.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp phân tích hóa lý

Thành phần tổng chất rắn (Total Solid - TS) được đo lường bằng cách xác định khối lượng khô với nhiệt độ sấy ở 105°C, trong khi đó thành phần chất rắn dễ bay hơi (Volatile Solid - VS) của cơ

chất được xác định dựa trên khối lượng khô bay hơi ở 350°C [8]. Hàm lượng Carbon (C) và nito (N) của cơ chất được đo trực tiếp bằng thiết bị phân tích các-bon SSM-500 tích hợp trên thiết bị phân tích TOC-Vcph (Shimadzu - Nhật Bản) [9].

Phân tích nhu cầu oxy hóa hóa học (COD) và COD hòa tan (SCOD) được thực hiện theo những mô tả bởi Định và Lê [10]. Điều kiện pH được đo lường bằng máy đo pH (Total Meter - Đài Loan). Thành phần axit béo dễ bay hơi (Volatile fatty acids) VFA được xác định bằng máy sắc ký khí (Shimadzu, Nhật Bản) được trang bị đầu dò ion hóa ngọn lửa và cột mao quản.

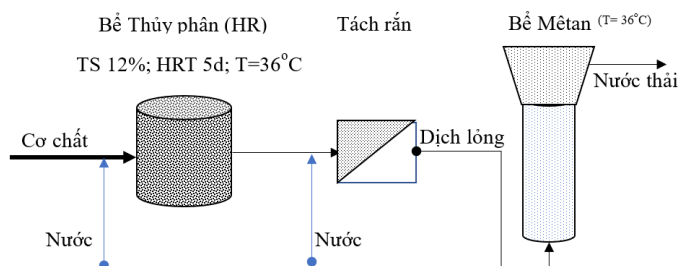
Thành phần khí sinh học được xác định bằng máy sắc ký khí (GC-2014, Shimadzu - Nhật Bản) có trang bị đầu dò điện dẫn và cột nhồi (Shincarbon ST 60/80). Điều kiện hoạt động cơ bản của GC: nhiệt độ đầu phun ở 250°C; khí mang là Heli với dòng 40 ml/phút; nhiệt độ đầu dò 200°C; nhiệt độ cột theo chế chương trình gia nhiệt từ 40°C đến 200°C (với tốc độ tăng 10°C/phút).

2.2. Cơ chất

Nguồn cơ chất CTRHC và quá trình tiền xử lý cơ chất được mô tả trong nghiên cứu của Định và Lê [10]. Kết quả cơ chất có đặc tính: TS = 27,39%, VS = 66,72%TS, C = 45,16%TS, N = 2,77%TS. Trong đó tỉ lệ C/N = 16,3 nằm trong khoảng tỉ lệ dinh dưỡng tối ưu thường được báo cáo trong các nghiên cứu gần đây. Do đó, việc điều chỉnh tỉ lệ dinh dưỡng đối với nguồn cơ chất là không cần thiết. Cơ chất được xay nhỏ bằng máy nghiền trước khi thực hiện quá trình phân hủy.

2.3. Mô hình thí nghiệm và quy trình khảo cứu

Hệ thống phân hủy kỵ khí phân pha bao gồm một bể thủy phân (Hydrolysis reactor - HR) và một bể Mêtan (Methane reactor - MR). Bể HR là một bể khuấy trộn liên tục, được vận hành theo cơ chế dạng mẻ. Trong khi đó, bể MR là một bể dòng chảy ngược được vận hành theo cơ chế liên tục. Nguyên lý hoạt động của hệ thống được mô tả trong nghiên cứu của Định và Lê [10] và Hình 1. Điều kiện pH trong bể được duy trì ở giá trị 6,5 trong suốt thời gian thủy phân (5 ngày) bằng dung dịch NaOH 10M và máy đo pH. Sau quá trình thủy phân, cơ chất được pha loãng với nước, đồng thời thành phần



Hình 1. Sơ đồ quá trình phân hủy hai pha

Bảng 1. Các giai đoạn thí nghiệm

Giai đoạn	Điều kiện thủy phân	Tỉ lệ pha loãng sau thủy phân	Thời gian lưu HRT (ngày)	Tải lượng kg-COD/(m ³ .ngđ)
EX1	HRT = 5 ngày	1:3	15,80	1,6
EX2	pH = 6,5	1:3	7,90	3,3
EX3	T° = 36°C	1:3	3,95	6,5
EX4	TS = 12%	1:2	5,26	6,3
EX5		1:2	3,21	9,4

không thủy phân được tách ra khỏi hệ thống. Dịch thủy phân thu được tiếp tục được bơm lên bể MR. Bể MR được duy trì ở điều kiện nhiệt ẩm bởi lớp nước nóng bao xung quanh bể.

Có tất cả 5 giai đoạn thử nghiệm tương ứng với các điều kiện tải lượng trong bể mê tan lần lượt là 1,63, 3,29, 6,45, 6,30 và 9,35 kg-COD/(m³.ngđ). Mỗi giai đoạn thử nghiệm được duy trì trong thời gian 12 ngày, tổng có 60 ngày chạy mô hình liên tục (Bảng 1).

2.4. Phương pháp đánh giá

Ở bể phản ứng thủy phân, hiệu suất thủy phân được đánh giá thông qua chỉ số nồng độ và sản lượng tổng COD và SCOD (g/g-VS). Còn hiệu suất lên men axit được đánh giá thông qua sản lượng VFAs (g/g-VS) thu được.

Ở bể Mêtan, hiệu suất ở các điều kiện thực nghiệm khác nhau được đo lường thông qua sản lượng khí (ml/g-VS) và chất lượng khí (% CH₄) thu được. Ngoài ra hoạt động của bể phản ứng Mêtan cũng có thể được tính toán dựa trên quá trình loại bỏ COD trong dòng cơ chất. Phương pháp tính toán chi tiết được mô tả trong nghiên cứu của Định và Lê [10].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Ở bể phản ứng thủy phân/ lên men axit

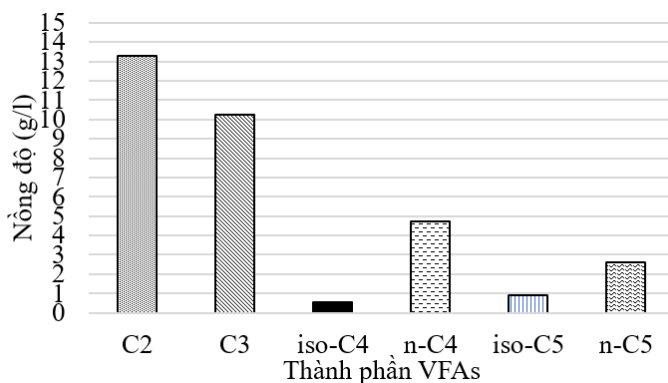
Sản phẩm thủy phân bao gồm phần dịch thủy phân và phần cơ chất không thủy phân. Phần cơ chất không thủy phân ở điều kiện pH 6,5 chiếm 26% khối lượng khô của chất nền. Tương tự, một số các nghiên cứu trước đây báo cáo quá trình thủy phân chất thải rau củ quả ở điều kiện nhiệt ẩm, pH 6,0 – 7,0 thì hàm lượng chất rắn không thủy phân chiếm 24% - 30% tổng chất rắn ban đầu [11–13]. Kết quả này là hoàn toàn phù hợp với những phân tích về thành phần hóa của CTRHC sinh hoạt. Loại chất thải này chứa một hàm lượng lớn các chất xơ (13,6% - 40%) có cấu trúc lignocellulose nên rất khó thủy phân trong điều kiện thông thường [12, 14]. Như vậy, một lượng lớn cơ chất không thể chuyển hóa trong hệ thống cũng là nhược điểm của các hệ thống PHKK nói chung và TAD nói riêng. Tuy nhiên, quá trình thủy phân thành phần các chất xơ có thể được đẩy nhanh nếu sử dụng các phương pháp tiền xử lý [15]. Các giải pháp này hoàn toàn có thể được tích hợp ngay trong bể thủy phân trong hệ thống TAD. Do đó, công nghệ TAD lại cho thấy sự linh động trong vận hành.

Bảng 2. Đặc tính dịch thủy phân (điều kiện TS12%)

STT	Đặc tính	Nồng độ	Sản lượng
1	TCOD	102 g/L	1,26 g/g-VS
2	SCOD	64 g/L	0,79 g/g-VS
3	VFAs	32,4 g/L	0,40 g/g-VS

Phần dịch thủy phân thu được ở điều kiện TS 12% có nồng độ SCOD là 102 g/l, tương đương với sản lượng 0,8 g-SCOD/g-VS. Năng suất thủy phân trong nghiên cứu này có thể so sánh với kết quả thu được bởi Jiang và cs. [16]. Họ thực hiện quá trình thủy phân trong cùng điều kiện về nồng độ chất rắn với nghiên cứu này và thu được dịch với sản lượng 0,76 g-SCOD/g-VS (nồng độ 84,2 g-COD/l). Hiệu suất quá trình thủy phân trước tiên có thể được đánh giá bằng tỉ lệ giữa SCOD và TCOD, tỉ lệ này khoảng 63% chứng tỏ cơ chất sau khi đã loại bỏ phần chất sơ thì phần lớn vẫn ở dạng cấu trúc hạt lơ lửng chưa thể thủy phân. Quá trình thủy phân bị tác động lớn bởi các thông số vận hành như thời gian lưu hay điều kiện chất rắn (TS) [1, 17, 18]. Trong đó, Việc tăng thời gian lưu HRT hoặc giảm điều kiện chất rắn đều có thể tăng hiệu suất thủy phân nhưng lại làm gia tăng thể tích bể phản ứng. Do đó, việc nâng cao tỉ lệ thủy phân trên thực tế cần cân nhắc kỹ bài toán kinh tế.

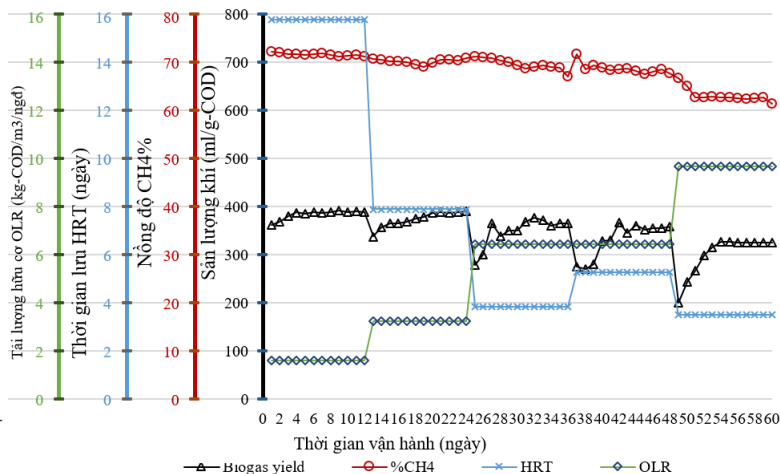
Hiệu quả của quá trình chuyển hóa axit được đánh giá thông qua sản lượng axit hữu cơ thu được. Tổng nồng độ VFAs thu được trong dịch thủy phân là 32,4 g/L, tương đương với sản lượng 0,4 g-VFA/g-VS. Tỷ lệ COD từ thành phần VFAs chỉ chiếm 74% so với SCOD, chứng tỏ quá trình axit hóa là quá trình không hoàn toàn. Thành phần VFAs được thể hiện trong Hình 2, theo đó, axit acetic và axit propionic chiếm chủ đạo (73%). Kết quả này có thể so sánh với kết quả thu được từ nghiên cứu của Jiang [16], họ thu được sản lượng 0,316 g-VFA/g-VS. Ngoài điều kiện về thời gian lưu và điều kiện chất rắn như đã nêu ở trên, pH cũng ảnh hưởng lớn đến sản phẩm lên men. Sự ảnh hưởng này được trình bày trong nghiên cứu của Dinh và Fujiwara [19].



Hình 2. Thành phần VFAs thu được trong dịch thủy phân (TS12%)

3.2. Ở bể sinh Métan

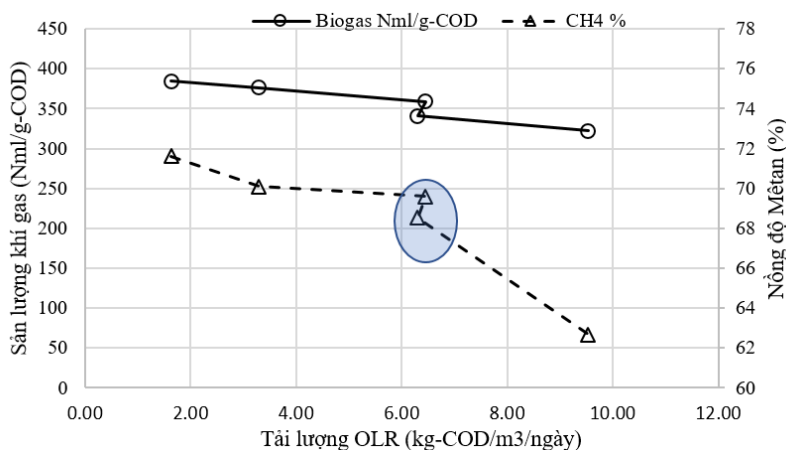
Kết quả chất lượng và sản lượng khí sinh học thu được trong các giai đoạn thí nghiệm với tải lượng khác nhau được thể hiện trong Hình 3. Ở điều kiện tải lượng cao nhất, hệ thống đạt hiệu suất thấp nhất với sản lượng 322 Nml/g-COD và tỷ lệ Métan 62,7%. Trong khi đó, ở điều kiện tải lượng thấp nhất thì hệ thống đạt sản lượng và chất lượng khí tốt nhất lần lượt là 385 ml/g-COD và 71,6% CH₄. Như vậy việc giảm tải lượng hữu cơ OLR trong khoảng 9,3÷16,3 kg-COD/m³/ngđ dẫn tới tăng 19,6% sản lượng khí và giảm 14,2% nồng độ Métan. Mỗi khi thay đổi điều kiện vận hành về tải lượng (hoặc nồng độ cơ chất), có sự suy giảm đáng kể về sản lượng khí gas. Sự dao động này càng rõ nét khi sự thay đổi ở các điều kiện tải lượng cao (Hình 3). Kết quả này phản ánh hiện tượng sốc của hệ thống



Hình 3. Ảnh hưởng của tải lượng hữu cơ đến sản lượng và chất lượng khí sinh học

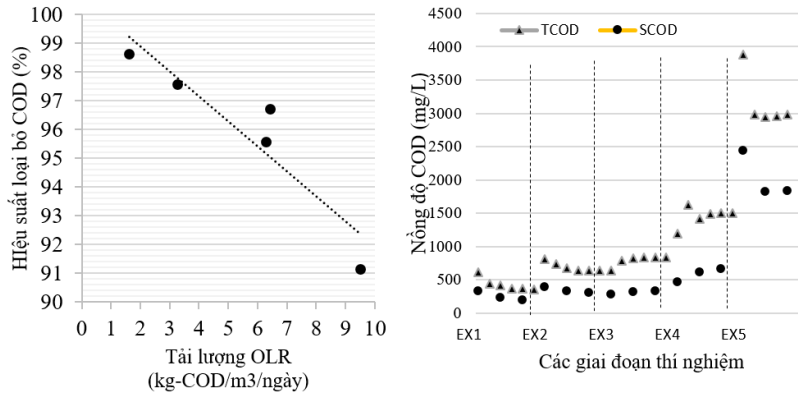
vi sinh bởi sự thay đổi về thời gian tiếp xúc (thời gian lưu) hoặc nồng độ cơ chất. Tuy nhiên ngay sau đó trong khoảng thời gian từ 4 đến 6 ngày, sản lượng khí dần tăng lên đạt trạng thái cân bằng. Chứng tỏ hệ thống vi sinh trong bể phản ứng mê-tan có khả năng thích nghi với sự thay đổi về tải lượng.

Sự ảnh hưởng của tải lượng đến quá trình hình thành khí gas được thể hiện rõ hơn trong Hình 4. Phân tích thống kê cho thấy mối tương quan giữa sản lượng khí biogas với tải lượng hữu cơ OLR là mối tương quan chặt theo dạng hồi quy tuyến tính âm ($R^2 = 0,9257$; giá trị $P < 0,05$). Ảnh hưởng của OLR tới nồng độ khí Mêtan có sự khác biệt so với sản lượng khí gas. Mối tương quan tuyến tính chỉ thể hiện trong khoảng tải lượng 1,63-6,45 kg-COD/(m³.ngđ). Có sự đứt gãy xu hướng ở điểm tải lượng 6,45 kg-COD/(m³.ngđ), khi tải lượng tiếp tục gia tăng thì sự ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng khí biogas càng mạnh hơn. Với tính chất cộng hưởng suy giảm cả về chất lượng và sản lượng khí biogas, sản lượng Mêtan thu được ở điều kiện tải lượng 9,53 kg-COD/(m³.ngđ) thấp hơn 33% so với ở điều kiện tải lượng 6,45 kg-COD/(m³.ngđ). Do đó, có thể coi tải lượng 6,45 kg-COD/(m³.ngđ) là điểm giới hạn hiệu quả thu hồi khí biogas của hệ thống. Xét về tổng thể, ảnh hưởng của tải lượng OLR đến sản lượng CH₄ vẫn là một đường cong bậc hai. Kết quả tương tự cũng được chỉ ra trong một số nghiên cứu gần đây (tham khảo Bảng 3). Jiang và cs. [20] đánh giá ảnh hưởng của tải lượng trong khoảng 0,75-11 kg-VS/(m³.ngđ) đến hệ thống phân hủy một pha, sản lượng Mêtan cao nhất đạt được ở tải lượng 9 kg-VS/(m³.ngđ). Boonsawang [6] nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số vận hành tới sản lượng khí biogas và cũng cho thấy rằng việc tăng tải lượng (4÷8 kg-COD/m³/ngđ) có ảnh hưởng tiêu cực đến quá trình hình thành khí sinh học, sản lượng khí đạt cao nhất với tải lượng 6,1 kg-COD/(m³.ngđ). Rodríguez-Pimentel [5] sử dụng dịch nước rỉ từ bể thủy phân CTRHC có pH 4.9 để làm cơ chất cho bể MR với tải lượng trong khoảng 6.6-13 kg-COD/(m³.ngđ). Họ cho thấy bể MR đạt hiệu suất sản lượng khí tốt nhất 279 ml/g-VS tại OLR 9 kg-COD/(m³.ngđ).



Hình 4. Mối liên hệ giữa tải lượng với sản lượng và chất lượng khí gas

Ảnh hưởng của tải lượng đến khả năng loại bỏ COD trong bể Mêtan được thể hiện trong Hình 5. Hiệu suất khử COD cao nhất đạt 98,6% với tải lượng thấp nhất ở giai đoạn EX1. Sự gia tăng tải lượng tất nhiên làm suy giảm khả năng loại bỏ COD. Tuy nhiên, tải lượng 6,3 bể phản ứng vẫn đạt được tỉ lệ loại bỏ COD > 95%. Hiệu suất loại bỏ COD có xu hướng giảm mạnh hơn khi tải lượng vượt 6,3. Ở giai đoạn này, COD sau bể mê tan có nồng độ TCOD < 500 mg/L. Ở tất cả các giai đoạn tỉ lệ SCOD/TCOD = 0,39 – 0,62, điều này chứng tỏ hàm lượng chất lơ lửng chiếm tỉ trọng lớn. Nguyên nhân được cho là do sự xáo động mạnh trong bể phản ứng gây lôi cuốn bùn ra khỏi bể.



Hình 5. Ảnh hưởng của tải lượng hữu cơ đến chất lượng khí gas và khả năng loại bỏ COD

Bảng 3. Ảnh hưởng của tải lượng đến hoạt động của hệ thống TAD

STT	Loại cơ chất	Cấu tạo hệ thống	Kết quả	Tài liệu
1	Phần hữu cơ chất thải rắn Đô thị	HR: Bể khuấy trộn liên tục (36-37°C); MR: Bể lọc kỵ khí dòng chảy ngược (36-37°C).	Hệ thống hoạt động hiệu quả nhất với tải lượng lên tới 6,45 kg-COD/(m ³ .ngđ) với sản lượng khí 358,6 ml/g-COD (69,6% CH ₄)	Nghiên cứu hiện tại
2	Hỗn hợp nước thải sinh hoạt và phần hữu cơ chất thải Đô thị	HR: bể thu nước ri không khuấy trộn; MR: Bể lọc bùn kỵ khí dòng chảy ngược	Sản lượng khí tốt nhất 279 ml/g-VS tại OLR 9,0 kg-COD/(m ³ .ngđ)	[5]
3	Nước thải dầu sinh học	HR: Bể khuấy trộn liên tục (30°C); MR: Bể khuấy trộn liên tục (30°C).	Sản lượng khí đạt cao nhất với tải lượng 6,1 kg-COD/(m ³ .ngđ)	[6]
4	Cỏ xanh	HR: Bể khuấy trộn liên tục (35°C); MR: Bể khuấy trộn liên tục (35°C).	Ở điều kiện tải lượng 2,6 kg-VS/(m ³ .ngđ) cho năng suất khí sinh học cao hơn 14,7% so với ở tải lượng 4,4 kg-VS/(m ³ .ngđ).	[7]
5	Chất thải thực phẩm	HR: Bể khuấy trộn liên tục (36-37°C); MR: Bể lọc kỵ khí dòng chảy ngược (36-37°C).	Ảnh hưởng OLR đến sản lượng khí sinh học làm một hàm bậc hai.	[19]
7	Chất thải từ quá trình sản xuất thực phẩm	HR: Bể khuấy trộn liên tục (55°C); MR: Bể lọc kỵ khí dòng chảy ngược (35°C).	OLR tối ưu là 8 kg-VS/(m ³ .ngđ), với sản lượng khí 420-490 l/kg-VS.	[21]
8	Chất thải rau	HR: bể thu nước ri không khuấy trộn (37°C); MR: Bể khuấy trộn liên tục (37°C).	với sản lượng khí tối ưu đạt 423 mL/g-VS ở tải lượng kg-VS/(m ³ .ngđ)	[22]

Ghi chú: HR - Bể thủy phân; MR - Bể metan.

4. Kết luận

Quá trình thủy phân là không hoàn toàn, 26% khối lượng khô vẫn ở dạng thô và bị loại bỏ bởi quá trình lọc vật lý. Dịch thủy phân thu được có đặc điểm là tỉ lệ SCOD/TCOD = 0,63 chứng tỏ phần lớn

cơ chất vẫn ở dạng có cấu trúc polymer (kích thước lớn). Sản lượng của quá trình thủy phân đạt 1,26 g-COD/g-VS. Thành phần VFAs trong dịch thủy phân là 0,4 g-VFAs/g-VS, trong đó chủ yếu là C2, C3, n-C4 và n-C5. Tỷ lệ COD thành phần VFAs chỉ chiếm 74% so với SCOD, chứng tỏ quá trình axit hóa vẫn chưa hoàn tất, 26% cơ chất đã bị thủy phân nhưng chưa thể chuyển hóa thành axit dễ bay hơi.

Khi vận hành bể Mêtan ở tải lượng 1,6 kg-COD/(m³.ngđ), hệ thống đạt hiệu quả tốt nhất với sản lượng khí 483,5 Nml/g-COD trong đó 71,6% là mêtan 71,6% và hiệu suất loại bỏ COD lên tới 98,6%. Sự ảnh hưởng của tải lượng đến hiệu suất của hệ thống là mối tương quan tuyến tính âm trong khoảng 1,6-6,45 kg-COD/(m³.ngđ). Khi tải lượng vượt 6,45 thì sự suy giảm về chất lượng khí, sản lượng khí và khả năng loại bỏ COD là càng lớn. Ở tải lượng 9,5 thì sản lượng CH₄ và hiệu suất loại bỏ COD lần lượt là 202 Nml/g-COD và 91%. Các giá trị này lần lượt thấp hơn 19% và 6% so với điều kiện tải lượng 6,45 kg-COD/(m³.ngđ). Như vậy điểm tải lượng 6,45 được coi là điểm tối hạn về tải lượng. Dưới tải lượng này hiệu suất loại bỏ COD đạt > 95% và nồng độ SCOD đầu ra < 500 mg/L.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo thông qua đề tài mã số B2023-XDA-07.

Tài liệu tham khảo

- [1] Van, D. P., Fujiwara, T., Leu Tho, B., Song Toan, P. P., Hoang Minh, G. (2019). [A review of anaerobic digestion systems for biodegradable waste: Configurations, operating parameters, and current trends](#). *Environmental Engineering Research*, 25(1):1–17.
- [2] Abbasi, T., Tauseef, S. M., Abbasi, S. A. (2012). *Biogas Energy*. Springer New York.
- [3] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2019). *Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia*. Chuyên đề Quản lý chất thải rắn.
- [4] de Lemos Chernicharo, C. A. (2007). *Anaerobic reactors*. IWA publishing.
- [5] Rodríguez-Pimentel, R. I., Rodríguez-Pérez, S., Monroy-Hermosillo, O., Ramírez-Vives, F. (2015). [Effect of organic loading rate on the performance of two-stage anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste \(OFMSW\)](#). *Water Science and Technology*, 72(3):384–390.
- [6] Boonsawang, P., Rerngnarong, A., Tongurai, C., Chairapat, S. (2014). [Effect of pH, OLR, and HRT on performance of acidogenic and methanogenic reactors for treatment of biodiesel wastewater](#). *Desalination and Water Treatment*, 54(12):3317–3327.
- [7] Massanet-Nicolau, J., Dinsdale, R., Guwy, A., Shipley, G. (2015). [Utilising biohydrogen to increase methane production, energy yields and process efficiency via two stage anaerobic digestion of grass](#). *Bioresource Technology*, 189:379–383.
- [8] US-EPA (United States Environmental Protection Agency) (2001). *Total, fixed, and volatile solids in water, solids, and biosolids (Method 1684)*.
- [9] ISO 10694:1995. *Soil quality-Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis)*(. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- [10] Định, P. V., Lê, T. H. (2023). [Ảnh hưởng của điều kiện pH đến quá trình phân hủy kỵ khí hai pha chất thải rắn hữu cơ có khả năng phân hủy sinh học](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (TCKHCN XD) - DHXDHN*, 17(3V):166–173.
- [11] Wu, Y., Wang, C., Liu, X., Ma, H., Wu, J., Zuo, J., Wang, K. (2016). [A new method of two-phase anaerobic digestion for fruit and vegetable waste treatment](#). *Bioresource Technology*, 211:16–23.
- [12] Ganesh, R., Torrijos, M., Sousbie, P., Lugardon, A., Steyer, J. P., Delgenes, J. P. (2014). [Single-phase and two-phase anaerobic digestion of fruit and vegetable waste: Comparison of start-up, reactor stability and process performance](#). *Waste Management*, 34(5):875–885.
- [13] Dinh, P. V., Fujiwara, T., Giang, H. M., Pham Phu, S. T. (2019). [The fate of carbon in two-stage anaerobic digestion of vegetable waste](#). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 307(1):012019.
- [14] Campuzano, R., González-Martínez, S. (2016). [Characteristics of the organic fraction of municipal solid waste and methane production: A review](#). *Waste Management*, 54:3–12.

- [15] Ariunbaatar, J., Panico, A., Esposito, G., Pirozzi, F., Lens, P. N. L. (2014). [Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste](#). *Applied Energy*, 123:143–156.
- [16] Jiang, J., Zhang, Y., Li, K., Wang, Q., Gong, C., Li, M. (2013). [Volatile fatty acids production from food waste: Effects of pH, temperature, and organic loading rate](#). *Bioresource Technology*, 143:525–530.
- [17] Bolzonella, D., Fatone, F., Pavan, P., Cecchi, F. (2005). [Anaerobic Fermentation of Organic Municipal Solid Wastes for the Production of Soluble Organic Compounds](#). *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(10):3412–3418.
- [18] Cheah, Y.-K., Vidal-Antich, C., Dosta, J., Mata-Álvarez, J. (2019). [Volatile fatty acid production from mesophilic acidogenic fermentation of organic fraction of municipal solid waste and food waste under acidic and alkaline pH](#). *Environmental Science and Pollution Research*, 26(35):35509–35522.
- [19] Dinh, P. V., Fujiwara, T. (2023). [Application of an Integrated Granular and Suspended Sludge Methane Reactor for a Two-Stage Anaerobic Digestion System to Deal with Biodegradable Municipal Solid Waste](#). *Fermentation*, 9(8):720.
- [20] Jiang, J., He, S., Kang, X., Sun, Y., Yuan, Z., Xing, T., Guo, Y., Li, L. (2020). [Effect of Organic Loading Rate and Temperature on the Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste: Process Performance and Energy Recovery](#). *Frontiers in Energy Research*, 8.
- [21] Aslanzadeh, S., Rajendran, K., Taherzadeh, M. J. (2014). [A comparative study between single- and two-stage anaerobic digestion processes: Effects of organic loading rate and hydraulic retention time](#). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 95:181–188.
- [22] Zuo, Z., Wu, S., Zhang, W., Dong, R. (2013). [Effects of organic loading rate and effluent recirculation on the performance of two-stage anaerobic digestion of vegetable waste](#). *Bioresource Technology*, 146: 556–561.