

Nghiên cứu điều kiện thích hợp cho quá trình phân hủy yếm khí sinh biogas từ phụ phẩm lá dứa

Phan Thị Tuyết Mai*

Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Ngày nhận bài 13/9/2019; ngày chuyển phân biên 18/9/2019; ngày nhận phân biên 6/12/2019; ngày chấp nhận đăng 16/12/2019

Tóm tắt:

Mục đích của nghiên cứu nhằm xác định được điều kiện thích hợp cho quá trình phân hủy yếm khí sinh biogas nguồn phụ phẩm lá dứa. Các thí nghiệm được thực hiện ở quy mô phòng thí nghiệm trong bình 1 lít, quá trình phân hủy yếm khí ở điều kiện ẩm với nhiệt độ duy trì $37\pm 1^\circ\text{C}$. Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả sinh khí biogas như nguồn vi sinh vật (VSV), tỷ lệ cacbon so với nitơ cũng như tải trọng hữu cơ đã được nghiên cứu. Kết quả cho thấy, nguồn phụ phẩm lá dứa có thể sinh khí metan đạt năng suất $410\pm 7,5$ ml/gCOD sau 28 ngày bằng nguồn VSV từ bể biogas của Thanh Hóa, tải trọng hữu cơ là 15 gCOD/l/ngày với tỷ lệ dinh dưỡng COD/TN là 70:1, hiệu quả xử lý COD đạt $69,5\pm 4,7\%$.

Từ khóa: khí sinh học, phân hủy yếm khí mesophilic, phụ phẩm lá dứa, tải trọng hữu cơ, tỷ lệ cacbon với nitơ.

Chỉ số phân loại: 1.5

Bối cảnh

Dứa là một loại quả thơm ngon, giàu dinh dưỡng và là đặc sản của Việt Nam. Nhu cầu tiêu thụ dứa tươi và các sản phẩm chế biến từ dứa không ngừng tăng ở thị trường trong nước cũng như xuất khẩu. Điều này đồng nghĩa với việc hàng năm có một lượng khổng lồ phụ phẩm lá dứa sau thu hoạch thải ra môi trường, đã và đang gây rất nhiều khó khăn cho người nông dân. Hiện nay, để xử lý lá dứa người nông dân phải tốn 4-5 triệu đồng để thuê máy băm nhỏ và cây xới. Lá dứa sau khi băm nhỏ được thải ra ngay trên cánh đồng để phân hủy tự nhiên, gây mùi hôi thối, làm ô nhiễm môi trường. Đồng thời, nhằm giảm thời gian xử lý và nhanh chóng có diện tích canh tác vụ mới, người dân phun thuốc diệt cỏ cho lá dứa nhanh khô để đốt, đã gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường và sức khỏe con người. Việc tìm ra giải pháp phù hợp để xử lý nguồn phụ phẩm này đang là nhu cầu cấp bách để phát triển bền vững cây dứa, cũng như đảm bảo sức khỏe cho người dân và giảm thiểu ô nhiễm môi trường. Cho đến nay đã có một số nghiên cứu thu hồi xenlulozơ từ lá dứa để sản xuất vải [1], tuy nhiên do hiệu quả kinh tế chưa cao nên giải pháp này vẫn chưa được triển khai ứng dụng.

Trên thế giới, đã có nhiều nghiên cứu tập trung vào khả năng phân hủy yếm khí phụ phẩm dứa của các nhà máy chế biến [2-4], hoặc phối trộn bã dứa với bột giấy cùng một số vỏ của các loại quả khác, hoặc kết hợp phụ phẩm dứa với phân bò. Nhằm tăng năng suất sinh khí trong quá trình

phân hủy yếm khí phụ phẩm dứa, Gopinathan và cộng sự đã bổ sung 2% ure. Kết quả nghiên cứu cho thấy, năng suất sinh khí tăng thêm 19% [2]. Trong các công trình trước, tác giả cũng đã xác định được tiềm năng sinh biogas của phụ phẩm vỏ và lõi dứa khá cao, với điều kiện nguồn VSV từ bể biogas Thanh Hóa, tỷ lệ dinh dưỡng C/N là 30; tải trọng nguyên liệu nạp là 10 gVSV/l đạt năng suất sinh khí biogas $477\pm 15,1$ ml biogas/gVSV (60-66% CH_4), hiệu quả xử lý COD lên đến $92,3477\pm 3,5\%$. Mặc dù, công nghệ biogas đã xử lý hiệu quả nguồn phụ phẩm dứa sau chế biến (như vỏ, lõi và bã ép), nhưng việc ứng dụng công nghệ này để xử lý phụ phẩm lá dứa sau thu hoạch còn mới và hầu như chưa được công bố trên bất kỳ công trình nào. Lá dứa có hàm lượng dinh dưỡng khá cao, chứa khoảng 6-7% đường và 19-20% protein (tính theo phần khô), thích hợp cho quá trình phân hủy kỵ khí sinh biogas [2-4]. Tuy nhiên, lá dứa với hàm lượng xenlulozơ tương đối lớn (chiếm đến 55-60% tính theo phần khô) lại là một thách thức rất lớn để áp dụng công nghệ biogas để xử lý. Để tăng tính khả thi cho công nghệ này, việc tăng năng suất, chất lượng sản phẩm khí biogas và giảm thời gian xử lý nhằm giảm thể tích bể chứa là rất cần thiết. Quá trình phân hủy yếm khí xảy ra với sự tham gia của nhiều nhóm VSV khác nhau và hiệu quả xử lý bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như điều kiện kỵ khí, loại VSV, pH của môi trường, tỷ lệ dinh dưỡng, tải trọng nguyên liệu nạp vào bể, độc tố... [5-7]. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã tiến hành lựa chọn nguồn VSV hoạt tính sinh metan (CH_4) từ các bể biogas đang hoạt động nhằm tìm được nguồn

*Email: namthophang@gmail.com

Study on the optimum conditions for anaerobic digestion based biogas production from pineapple leaves

Thi Tuyet Mai Phan*

Faculty of Chemistry, University of Science,
Vietnam National University, Hanoi

Received 13 September 2019; Accepted 16 December 2019

Abstract:

The objective of this research was to find the optimum conditions for maximal biogas production from pineapple leaves using the anaerobic digestion method. The experiments were performed in one-litre bottles at the lab-scale; the mesophilic anaerobic digestion process took place at the constant temperature $37 \pm 1^\circ\text{C}$. The factor that affected the biogas production efficiency such as type of microorganism, carbon to nitrogen ratio, as well as organic load were investigated. The results showed that pineapple leaves could generate methane with the productivity of 410 ± 7.5 ml/gCOD after 28 days with the following conditions the microorganism source from the Thanh Hoa biogas tank, the organic load of 15 gCOD/day at the COD/TN ratio of 70:1, and the COD removal efficiency of $69.5 \pm 4.7\%$.

Keywords: carbon to nitrogen ratio, mesophilic anaerobic digestion, organic load, pineapple leaves.

Classification number: 1.5

VSV thích nghi nhất với cơ chất lá dứa. Tỷ lệ dinh dưỡng COD:N:P của nguyên liệu là một chỉ tiêu quan trọng để đánh giá khả năng phân hủy của chúng [8-10]. Vì khuẩn yếm khí tiêu thụ cacbon nhiều hơn nitơ trong khoảng 20-40 lần tùy thuộc vào từng loại chất nền [11-13]. Theo kết quả phân tích tổng C và tổng N [14], lá dứa có tỷ lệ C/N là 109, cao hơn nhiều giá trị tối ưu. Vì vậy, nghiên cứu đã tiến hành điều chỉnh tỷ lệ COD/TN bằng cách bổ sung nguồn nitơ từ urê. Tải trọng nguyên liệu nạp (g COD/l) cũng có ảnh hưởng lớn đến hiệu quả hoạt động của bể phân hủy yếm khí. Đối với một bể biogas với thời gian lưu xác định, tốc độ nạp nguyên liệu càng cao thì năng suất sinh khí biogas càng lớn, tuy nhiên hiệu quả xử lý lại giảm [6, 9, 10]. Do vậy, tìm được điều kiện vận hành vừa đạt năng suất sinh khí lớn vừa đảm bảo hiệu quả xử lý cao sẽ là một trong những yếu tố quyết định đến khả năng ứng dụng công nghệ này ở quy mô công nghiệp. Mục tiêu của công trình này là xác định được các điều kiện thích hợp cho quá trình phân hủy kỵ khí phụ phẩm lá dứa sinh biogas hiệu quả.

Vật liệu và phương pháp

Nguyên liệu và hóa chất

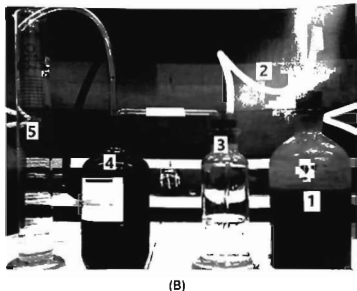
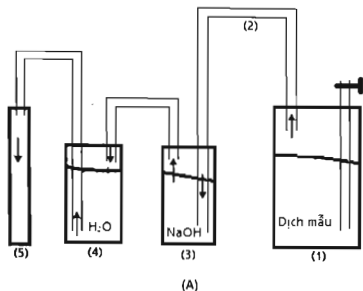
Phụ phẩm lá dứa được lấy từ Nông trường Đồng Giao, tỉnh Ninh Bình. Dạ cỏ bò lấy từ lò mổ tại 75 Tam Trinh, Hoàng Mai, Hà Nội. Các nguồn VSV cho quá trình phân hủy kỵ khí được lấy tại bể biogas của Nhà máy sữa Thanh Hóa, Nhà máy bia Việt Hà, pilot biogas của Trường Đại học Xây dựng, bể biogas trang trại chăn nuôi bò ở Nghệ An và trang trại chăn nuôi lợn ở Bình Phước. Nguyên liệu và các nguồn VSV được sử dụng ngay hoặc bảo quản trong tủ lạnh ở 4°C .

Hóa chất sử dụng trong phân tích các chỉ tiêu: COD, hàm lượng các axit dễ bay hơi (VFA), tổng nitơ TN, tổng phospho TP (Merck). NaOH, KOH, KH_2PO_4 , K_2HPO_4 , Na_2CO_3 và NaHCO_3 (Trung Quốc); urê (Việt Nam).

Chuẩn bị hệ thí nghiệm

Chuẩn bị mẫu: dịch nguyên liệu lá dứa sau quá trình thủy phân và axit hóa được sử dụng làm cơ chất cho quá trình phân hủy kỵ khí sinh biogas. Điều chỉnh tỷ lệ dinh dưỡng COD/TN của nguyên liệu đạt 70:1. Bổ sung môi trường đệm bằng hỗn hợp KH_2PO_4 0,07 g/l và K_2HPO_4 0,10 g/l. Điều chỉnh pH 6,8-7,2 bằng hỗn hợp Na_2CO_3 2 M và NaHCO_3 2 M theo tỷ lệ 1:1. Bổ sung bùn hoạt tính từ bể biogas đang hoạt động tốt với tỷ lệ thể tích nguyên liệu: bùn là 9:1. Mỗi thí nghiệm tiến hành lặp lại 3 lần.

Mô hình phân hủy kỵ khí: thí nghiệm được tiến hành trong bình 1 l với dung tích hoạt động 0,7 l. Tạo môi trường kỵ khí bằng khí N_2 và duy trì nhiệt độ ổn định $37 \pm 1^\circ\text{C}$ trong bể điều nhiệt. Duy trì độ kỵ khí của hệ với nồng độ $\text{O}_2 < 0,5\%$. Mỗi thí nghiệm được thực hiện lặp lại 3 lần. Mẫu khí biogas



hình 1. (A) Sơ đồ nguyên lý; (B) Ảnh minh họa mô hình thí nghiệm phân hủy kỵ khí và thu khí biogas bằng phương pháp cột nước. 1-Lọ chứa mẫu phân hủy yếm khí, 2-Ống dẫn khí bằng cao su; 3-Lọ chứa dung dịch NaOH; 4-Lọ chứa nước; 5-Ống đong để đo thể tích nước

được lưu giữ trong túi màng thiếc không thấm khí Teslar.

Xác định tổng thể tích khí biogas: tổng lượng khí biogas sinh ra được đo theo phương pháp cột nước (hình 1), là tổng thể tích khí biogas đo được trong thí nghiệm đến khi hệ dừng sinh khí.

Xác định năng suất sinh khí biogas: năng suất sinh khí biogas được tính bằng thể tích khí biogas sinh ra của một đơn vị khối lượng COD của cơ chất phụ phẩm lá đừa ban đầu được xử lý: ml biogas/g COD, ml CH₄/g COD.

Bảng 1. Thành phần hữu cơ của phụ phẩm lá đừa.

Chỉ tiêu	COD (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)	pH	VFA (g/l)
Dịch vào	44 300	412,5	81,3	5,2	21,4

Từ kết quả bảng 1 cho thấy, pH của dịch lá đừa khá thấp (5,2), chưa phù hợp cho sự phát triển của VSV phân hủy kỵ khí sinh CH₄. Do vậy cần bổ sung dung dịch đệm để tăng pH của dịch lên khoảng 6,8-7,5 tạo điều kiện tối ưu cho VSV phát triển.

Từ kết quả phân tích có thể thấy, tỷ lệ COD:TN là 107:1, cao hơn tỷ lệ tối ưu 70:1. Do đó, việc bổ sung nguồn nitơ là cần thiết. Đáng chú ý là tỷ lệ COD:TN của nguồn phụ phẩm lá đừa thấp hơn nhiều so với phụ phẩm vỏ và lõi đừa là 180 [15], cho thấy tiềm năng xử lý lá đừa bằng quá trình phân hủy kỵ khí sinh biogas.

Nghiên cứu lựa chọn nguồn VSV

Chúng tôi đã tiến hành phân hủy kỵ khí sinh CH₄ sử dụng cơ chất dịch lá đừa với các nguồn bùn hoạt tính khác nhau. Khả năng thích nghi với cơ chất dịch lá đừa của các nguồn VSV được đánh giá qua năng suất sinh khí biogas sau 28 ngày, kết quả được chi ra trên hình 2.

Từ hình 2 có thể thấy, nguồn VSV từ Thanh Hóa cho năng suất sinh khí biogas cao nhất là 4,15 l, sau đó đến nguồn VSV từ Bình Phước đạt 3,72 l, nguồn VSV từ Việt Hà và Nghệ An có hiệu quả gần tương đương nhau, và thấp nhất là VSV từ pilot của Trường Đại học Xây dựng chỉ đạt 2,02 l, với thành phần CH₄ của khí biogas trong khoảng 55-61%. Như vậy, nguồn VSV từ Thanh Hóa thể hiện thích nghi nhất với nguồn cơ chất lá đừa. Kết quả tương tự đối với cơ chất vỏ và lõi đừa [15].

Các phương pháp phân tích

COD được xác định theo tiêu chuẩn APHA 5220D (APHA,1995). TN được xác định theo tiêu chuẩn Việt Nam: TCVN 6180:1996 TP được xác định theo tiêu chuẩn Việt Nam: TCVN 6020:2008. VFA được xác định bằng phương pháp điện di. Thành phần của biogas được xác định bằng thiết bị Biogas CM100. pH được đo bằng máy. Mật độ VSV sinh metan (SMT) được chụp bằng kính hiển vi phát huỳnh quang.

Hiệu suất xử lý COD được xác định theo công thức:

$$H(\text{COD}), \% = (\text{COD}_0 - \text{COD}_t) / \text{COD}_0 * 100\%.$$

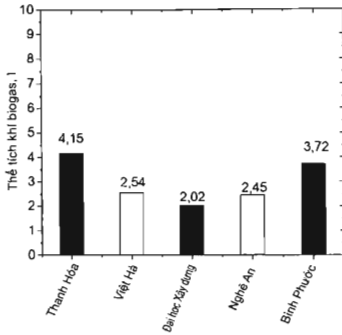
Trong đó: COD₀ và COD_t là giá trị COD tại thời điểm trước và sau quá trình lên men kỵ khí.

Sai số được tính theo phương pháp bình phương tối thiểu

Kết quả và thảo luận

Xác định thành phần cơ chất lá đừa

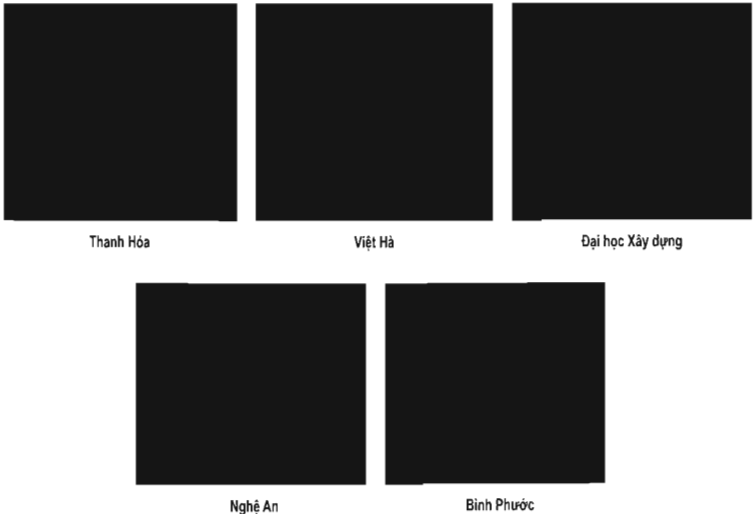
Kết quả phân tích thành phần cơ chất lá đừa được đưa ra trong bảng 1.



Hình 2. Năng suất sinh khí biogas của lá dứa với các nguồn VSV khác nhau.

Đồng thời, chúng tôi đã tiến hành quan sát mật độ VSVSMT bằng kính hiển vi huỳnh quang (hình 3). Khi chiếu ánh sáng huỳnh quang, VSVSMT có khả năng phát quang màu xanh, mật độ và kích thước vết sáng tỷ lệ thuận với mật độ VSV [10].

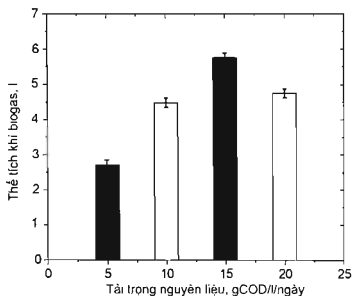
Từ hình 3 có thể thấy, sau 18 ngày phân hủy cơ chất lá dứa, tất cả các mẫu đều chứa VSVSMT thể hiện bởi các vết sáng màu xanh trên ảnh. Trong đó, mẫu sử dụng bùn hoạt tính từ Thanh Hóa quan sát thấy mật độ VSVSMT nhiều nhất, chứng tỏ chúng thích nghi tốt nhất với nguồn phụ phẩm lá dứa. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với giá trị tổng thể tích khí biogas đo được. Nguồn VSV từ bể biogas của Nhà máy sữa Thanh Hóa sẽ được làm giàu bằng cơ chất lá dứa để sử dụng trong các nghiên cứu tiếp theo.



Hình 3. Mật độ VSVSMT của bùn hoạt tính từ các nguồn khác nhau sau 18 ngày phân hủy kỵ khí.

Nghiên cứu điều kiện thích hợp phân hủy kỵ khí lá dứa sinh biogas hiệu quả

Ảnh hưởng của tải trọng nguyên liệu: chúng tôi đã tiến hành thí nghiệm phân hủy kỵ khí cơ chất dứa là dứa với tải trọng hữu cơ thay đổi: 5, 10, 15 và 20 g COD/l/ngày. Kết quả đo thể tích khí biogas được thể hiện trên đồ thị hình 4.



Hình 4. Thể tích khí biogas sinh ra với tải trọng nguyên liệu thay đổi.

Từ đồ thị hình 4 có thể thấy, khi tăng tải trọng cơ chất lá dứa thì tổng thể tích khí biogas sinh ra tăng và đạt giá trị cao nhất tại 15 g COD/l/ngày là 5762±132 ml biogas, tương ứng 680±14 ml biogas/g COD. Tiếp tục tăng tải trọng nguyên liệu thì tổng thể tích khí sinh ra lại giảm, tại 20 g COD/l/ngày chỉ đạt 4763±134 ml biogas, tương ứng 580±14 ml biogas/g COD, với thành phần CH₄ của biogas trong khoảng 58-61%. Điều này có thể lý giải do khi tải trọng nguyên liệu quá lớn, hàm lượng các axit dễ bay hơi cao gây ức chế sự hoạt động của VSV [5, 7]. Ngoài ra, axit propionic khi tích tụ ở nồng độ cao lại là một độc tố của VSV sinh CH₄; với nồng độ >0,1 g/l gây ức chế cho hệ lên men kỵ khí và tại nồng độ >1 g/l sẽ làm hệ thống dừng hoạt động [5, 10]. Điều này cho thấy, quá trình phân hủy kỵ khí chịu ảnh hưởng của rất nhiều yếu tố, đặc biệt là pH, độ kỵ khí, nhiệt độ cũng như thành phần nguyên liệu, do vậy việc tiến hành lặp lại nhiều thí nghiệm là vô cùng cần thiết. Trong nghiên cứu này, mỗi thí nghiệm đã tiến hành lặp lại 3 lần. Sự tăng nhẹ năng suất sinh khí biogas trong trường hợp này có thể do càng về sau thì khả năng kiểm soát và duy trì ổn định các yếu tố này càng tốt hơn. Đồng thời, theo dữ liệu phân tích hiệu suất xử lý COD của các mẫu (bảng 2) có thể thấy, theo chiều tăng tải trọng nguyên liệu nạp thì hiệu quả hoạt động của hệ phân hủy kỵ khí càng giảm. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với công bố của Sajeena và cộng sự [12].

Bảng 2. Sự thay đổi pH, tỷ lệ khí CH₄ và hiệu quả xử lý COD của các mẫu với tải trọng nguyên liệu thay đổi.

Tải trọng (g COD/l)	5	10	15	20
pH	0,11	0,32	0,30	0,40
CH ₄ (%)	64,1±3,5	65,2±2,9	64,0±3,1	61,3±3,5
H _{cod} (%)	81,0±5,2	73,5±4,5	69,5±4,7	59,7±4,5

Có thể thấy, hiệu suất phân hủy COD của quá trình càng cao khi tải trọng nguyên liệu nạp giảm, đạt giá trị cao nhất là 81% khi hệ chạy với tải trọng hữu cơ là 5 g COD/l/ngày và thấp nhất là 59,7% với 20 g COD/l/ngày. Với 2 loại tải trọng còn lại, hiệu suất tương đối ổn định, trên 73% với tải trọng 10 g COD/l/ngày và trên 69% với tải trọng 15 g COD/l/ngày. Hiện tượng này là do hệ bị quá tải vì nguyên liệu đầu vào cao làm pH môi trường giảm, khiến hệ vi sinh hoạt động yếu đi hoặc ngừng hoạt động, dẫn đến năng suất sinh khí thấp.

Như vậy, từ hình 4 và bảng 2 có thể thấy, với tải trọng nguyên liệu nạp là 15 g COD/l/ngày thì năng suất sinh khí biogas cao hơn đáng kể so với 10 g COD/l/ngày nhưng tỷ lệ khí CH₄ và hiệu quả xử lý COD lại thấp hơn. Hệ xử lý yếm khí sinh CH₄ hoạt động với tải trọng nguyên liệu càng lớn thì thể tích bể chứa càng giảm, sẽ tiết kiệm chi phí đầu tư và vận hành [9, 16, 17]. Do vậy, xét về hiệu quả kinh tế thì với tải trọng nguyên liệu 15 g COD/l/ngày là tốt nhất.

Ảnh hưởng của tải trọng hữu cơ đến khả năng tích lũy TN, TP: nghiên cứu đã tiến hành phân tích khả năng tích lũy TN, TP của hệ thống lên men yếm khí sinh biogas từ cơ chất lá phụ phẩm lá dứa với các giá trị tải trọng hữu cơ khác nhau: 5; 10; 15 và 20 g COD/l/ngày. Kết quả phân tích hàm lượng tổng TN và tổng TP của các mẫu được thể hiện ở bảng 3.

Bảng 3. Các thông số quá trình phân hủy sinh biogas với tải trọng hữu cơ khác nhau.

Tải trọng (g COD/l/ngày)		pH	TN (mg/l)	TP (mg/l)
5	Trước	7,5	365	75
	Sau	7,3	472	111
10	Trước	7,2	736	165
	Sau	7,1	826	181
15	Trước	7,5	1115	231
	Sau	7,0	1210	271
20	Trước	7,5	1510	335
	Sau	6,8	1655	381

Từ kết quả ban đầu được thể hiện ở bảng 3 có thể thấy, với tải trọng hữu cơ càng tăng thì hàm lượng TN, TP càng cao. Đồng thời, hàm lượng TN và TP trong tất cả các mẫu đều tăng lên sau quá trình xử lý, điều này có thể là do trong quá trình yếm khí thường kèm theo giải phóng PO_4^{3-} và NH_4^+ [8, 10]. Như đã biết, NH_4^+ là thành phần dinh dưỡng rất quan trọng trong quá trình phân hủy kỵ khí nhưng khi cao quá sẽ lại ức chế sự hoạt động của VSV, đặc biệt là VSVSMT, nồng độ NH_4^+ dưới 1500 mg/l sẽ là tiêu chí kiểm soát hệ thống lên men biogas. Kết quả này đã lý giải thêm cho sự giảm hiệu quả chuyển hóa COD của hệ phân hủy kỵ khí khi tăng tải trọng hữu cơ.

KẾT LUẬN

Các kết quả thực nghiệm đã cho thấy rằng, phân hủy yếm khí là một phương pháp hiệu quả để xử lý nguồn chất thải lá dứa sau thu hoạch đang bị bỏ ngoài môi trường, không chỉ tiết kiệm được một lượng tài nguyên thứ cấp mà còn tạo ra nguồn năng lượng sạch và có giá trị là khí CH_4 . Từ các kết quả của nghiên cứu, rút ra được kết luận sau: nguồn VSV từ bể biogas của Nhà máy sữa Thanh Hóa thích nghi tốt nhất với nguồn cơ chất lá dứa; quá trình phân hủy yếm khí lá dứa đạt hiệu quả tốt nhất với các điều kiện: tỷ lệ COD/TN là 70; tải trọng nguyên liệu nạp là 15 g COD/l/ngày đạt năng suất sinh khí 680±14 ml biogas/g COD (58-61% CH_4), tương ứng 140±7,5 ml CH_4 /g COD, hiệu quả xử lý COD đạt 69,5±4,7%.

LỜI CẢM ƠN

Công trình được hỗ trợ kinh phí từ đề tài đặt hàng của tỉnh Ninh Bình, mã số: 16/HĐ-KHCN. Tác giả trân trọng cảm ơn!

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] I.M. Farcez, N.A. Ibrahim, W.M.H.W. Yaacob, N.A.M. Razali, A.H. Jasni, F.A. Aziz (2018), "Characteristics of cellulose extracted from Jospine pineapple leaf fibre after alkali treatment followed by extensive bleaching", *Cellulose*, 25(8), pp.4407-4421

[2] C. Gopinathan, S. Prapajati, H. Rohira (2015), "Supplementing pineapple pulp waste with urea and metal ions enhances biogas production", *Journal of Environment Science Toxic Food Technology*, 9(10), pp.53-57.

[3] K. Khamdan, H. Pratikno (2015), "Pineapple waste valorization through biogas production. Effect of substrate concentration and microwave pretreatment", *International Journal of Energy Power Engineering*, 2(11), pp.702-707

[4] C. Suphang, S. Nusara, C. Warawut (2012), "Bioconversion of pineapple solid waste under anaerobic condition through biogas production", *KKU Res. Journal*, 17(5), pp.734-742

[5] C. Li, C. Moerelmaier, J. Winter, C. Gallert (2015), "Microbial community shifts during biogas production from browaste and/or propionate", *Bioengineering*, 2, pp.35-53

[6] J.L. Walsh, C. Charles, P.E. Michael, S. Smith, S.R. Harper, W.A. Wilkins (1998), *Handbook on biogas utilization*.

[7] H. Ingrid, W. Franke, W. Andreas, E. Christian, I. Heribert (2014), "Investigation into the effect of high concentrations of volatile fatty acids in anaerobic digestion on methanogenic communities", *Waste Management*, 34, pp.2080-2089

[8] P. Dobre, F. Nicolae, F. Matei (2014), "Main factors affecting biogas production-an overview", *Romanian Biotechnology Letter*, 19(3), pp.9283-9296.

[9] P. Namsreea, W. Sujavittanontb, C. Puttanlek, D. Uttapapd, V. Rungsardthong (2012), "Anaerobic digestion of pineapple pulp and peel in a plug-flow reactor", *J. Environ Manage.*, 110, pp.40-47

[10] Manh Hung Thai (2011), *Research to optimize the process of mixing sludge and organic waste by anaerobic at high temperature to recover energy*, Master thesis, Hanoi University of Science and Technology.

[11] A. Das, M. Chanchal (2016), "Biogas production from co-digestion of substrates", *A Reviewable International Research Journal of Environment Sciences*, pp.49-57.

[12] B.B. Sajeena, P.P. Jose, D.G. Madhu (2013), "Effect of total solid concentration on anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste", *International Journal of Science Research Public*, 3(8), pp.402-406

[13] M.I. Tanimu, T.I.M. Gbazi, R.M. Harun, A. Idris (2014), "Effect of carbon to nitrogen ratio of food waste on biogas methane production in a batch mesophilic anaerobic digester", *Inter. J. Innov. Manage. Technol.*, 5(2), pp.116-119.

[14] M.T.T. Phan, H.L. Trinh, T.M.T Bui, H.T. Pham, T.M. Ngo (2017), "Potential biogas production from pineapple peel and pulp waste", *Vietnam Journal of Chemistry*, 55(5E1,2), pp.256-261.

[15] M.T.T Phan, H.L. Trinh, H.T. Luu (2018), "Study on operation conditions for biogas production from pineapple peel and pulp waste", *Vietnam J. Chem.*, 56(6E1), pp.212-216.

[16] M. Tanticharoen, S. Bhumiratanana, S. Tientanacom and L. Pengsobha (1995), "The study of basic requirement for biogas production from solid pineapple waste", *Renewable Energy Sources*, 15, pp.31-40

[17] B. Velmurugan, R. Alwar Ramanujam (2011), "Anaerobic digestion of vegetable wastes for biogas production in a fed-batch reactor", *Int. J. Emerg. Sci.*, 1(3), pp.478-486