Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ
Số chuyên đề: Môi trường và Biến đổi khí hậu
website: ctujsvn.ctu.edu.vn

DOI:10.22144/ctu.jvn.2023.102

ẢNH HƯỞNG CỦA KHUẤY TRỘN ĐẾN QUÁ TRÌNH SẢN XUẤT KHÍ SINH HỌC TỪ BÙN THẢI NUÔI TÔM SIÊU THÂM CANH

Nguyễn Công Thuận, Trương Duy Khánh, Đinh Thái Danh* và Trần Sỹ Nam
Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ
**Người chịu trách nhiệm về bài viết: Đinh Thái Danh (email: dtdanh@ctu.edu.vn)*

Thông tin chung:
Ngày nhận bài: 04/01/2023
Ngày nhận bài sửa: 24/04/2023
Ngày duyệt đăng: 09/05/2023

Title:
Effects of the stirring on biogas production from super-intensive shrimp sludge

Từ khóa:
Bùn thải ao nuôi tôm, khí sinh học, mê-tan, sự khuấy trộn, siêu thâm canh

Keywords:
Biogas, methane, shrimp sludge, stir, super-intensive

ABSTRACT

This study assessed the effects of the stirring frequency of super-intensive shrimp sludge on biogas production. A batch anaerobic digestion was conducted, comprising five treatments: non-stirring (NS), and stirring at one (1T), two (2T), four (4T), and eight (8T) times per day, with a stirring time of 2 minutes. The shrimp sludge loading rate was the same for each treatment at 20g volatile solid/L. The findings revealed that the methane yield (CH_4) in the 1T, 2T, and 4T treatments were significantly higher by 10.01%, 5.99%, and 4.2%, respectively, compared to the NS treatment. The study also reported negative correlation between CH_4 yield and the number of stirring times. Notably, the highest stirring frequency (8T/day) resulted in a methane yield (CH4) similar to non-stirring.

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đã đánh giá ảnh hưởng của tần suất khuấy trộn bùn xi phông từ nuôi tôm siêu thâm canh lên sản xuất khí sinh học. Ủ yếm khí theo mẻ được thực hiện, gồm 5 nghiệm thức: không khuấy trộn (NS), 1 lần (1T), 2 lần (2T), 4 lần (4T) và 8 lần (8T) cho một ngày với thời gian khuấy trộn 2 phút. Tỷ lệ nạp bùn xi phông là đồng nhất ở mỗi nghiệm thức với 20 g chất rắn bay hơi/L. Kết quả phản ánh rằng năng suất sinh khí mê-tan (CH_4) ở các nghiệm thức 1T, 2T và 4T cao hơn có ý nghĩa so với nghiệm thức NS lần lượt là 10,01%, 5,99% và 4,2%. Nghiên cứu này cũng tìm thấy một mối tương quan nghịch có ý nghĩa giữa năng suất sinh khí CH_4 và số lần khuấy trộn dung dịch ủ. Điều lưu ý là, ở mức khuấy trộn cao nhất (8 lần/ngày) cho năng suất sinh khí CH_4 tương đồng với không khuấy trộn.

1. GIỚI THIỆU

Ngành nuôi trồng thủy sản nói chung và nuôi tôm nói riêng đang phát triển nhanh theo cả quy mô, mật độ nuôi và sản lượng nuôi. Tuy nhiên tình trạng nuôi tôm không tuân thủ đúng quy định về xả thải đã làm ô nhiễm nền đáy và nguồn nước đầu vào ngày một trầm trọng (Cẩm, 2017; Việt & Hải, 2018; Sang et al., 2020). Lượng bùn thải tích lũy trong ao nuôi tôm ước tính mỗi hecta hàng năm cho ra khoảng 15 - 20 tấn bùn thải (Thư & Gương, 2010). Thành phần bùn thải chứa chủ yếu là thức ăn dư thừa, phân tôm và xác tảo chết, trong đó là các hợp chất hữu cơ, N và P vì vậy nếu không được thu gom và xử lý thì sẽ là các tác nhân gây ô nhiễm môi trường. Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu trước đã chỉ ra rằng hàm lượng chất dinh dưỡng trong bùn đáy ao nuôi tôm khá cao (Hopkins et al., 1994; Ahmad, 1999; Mạnh & Nga, 2011). Do đó, cần thiết có giải pháp sử dụng nguồn bùn thải này để tạo nguồn năng lượng tái tạo, đồng thời có thể giảm lượng chất ô nhiễm thải ra môi

trường xung quanh, từ đó góp phần phát triển bền vững ngành nuôi tôm hiện nay.

Hiện nay, năng lượng tái tạo là nguồn năng lượng được ưu tiên phát triển trên thế giới. Ở Việt Nam, Công nghệ khí sinh học đã được nghiên cứu và ứng dụng, phát triển mạnh mẽ trong tất cả các lĩnh vực về công nghiệp, nông nghiệp và đô thị với quy mô từ nhỏ đến lớn ở Việt Nam (Khải & Lượng, 2010). Công nghệ khí sinh học đã và đang đóng vai trò quan trọng trong áp dụng xử lí chất thải chăn nuôi, đồng thời tạo nguồn khí sinh học phục vụ cho đun nấu, thắp sáng, chạy máy phát điện thay thế cho các nguồn năng lượng truyền thống. Mặc dù, phân hủy kỵ khí được xem là công nghệ hiệu quả để xử lý chất thải có khả năng phân hủy sinh học (Ye et al., 2013), nhưng đây vẫn là một biện pháp kỹ thuật mới để xử lý hiệu quả bùn thải từ hoạt động nuôi tôm siêu thâm canh với nhiều thách để thu hồi năng lượng tái tạo một cách hiệu quả (Li et al., 2014; Luo et al., 2015). Quá trình sản xuất khí sinh học bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố khác nhau như nhiệt độ (Chae et al., 2008), pH (Raposo et al., 2011), độ mặn (Zhang et al., 2020), thế oxy hoá khử (Vongvichiankul et al, 2017), kích cỡ nguyên liệu (Sanders et al., 2000) và sự khuấy trộn về cường độ và thời gian khuấy trộn (Raposo et al., 2011). Công nghệ xử lý bùn thải tôm siêu thâm canh đã nhận được nhiều sự quan tâm trong những năm gần đây do các đặc tính ứng dụng của nó, mang lại lợi ích quan trọng cho việc cung cấp năng lượng tái tạo. Tuy nhiên, việc sản xuất khí sinh học từ bùn nói chung là kém hiệu quả hơn (Srisertpol et al., 2012). Điều này có thể là do nguồn carbon thấp và hàm lượng nitơ cao (Srivichai & Chavalparit, 2020), gây ra sự mất cân bằng tỷ lệ C/N; đồng thời, độ mặn cao cũng được coi là mối quan tâm lớn trong công nghệ phân hủy kỵ khí (Chen et al., 2007; Zhang et al., 2020). Để tạo điều kiện thuận lợi cho tốc độ sản xuất khí sinh học cần tối ưu hóa các thông số vận hành để tạo điều kiện thuận lợi cho vi khuẩn tham gia vào quá trình phân hủy (Fernardo & Dangoggo, 1986). Việc khuấy trộn vật liệu phân huỷ đảm bảo sự tiếp xúc giữa các vi sinh vật và vật chất hữu cơ để tăng tốc độ phân hủy và giúp gia tăng tốc độ sinh khí cũng như phá vỡ các vật liệu nổi thành váng (El-Bakhshwan et al., 2015). Tầm quan trọng của việc trộn trong việc chuyển đổi cơ chất hiệu quả đã được một số nhà nghiên cứu báo cáo (Stroot et al., 2001; Kim et al., 2002). Các nghiên cứu của Lin and Pearce (1991), Karim et al. (2005) và Kaparaju et al. (2008) cho rằng việc khuấy trộn giúp cải thiện khí sinh học từ nhiều loại nguyên liệu khác nhau. Theo Keanoi et al. (2014) việc khuấy trộn bể phân hủy chứa phân bò và chất thải nông nghiệp đã làm tăng 7,56% lượng khí sinh học. Nói chung, việc khuấy trộn giúp đạt được sự đồng nhất của chất nền và sự phân bố đồng đều các chất dinh dưỡng, pH, nhiệt độ trong bể phân hủy và giúp gia tăng năng suất sinh khí sinh học. Bên cạnh đó, việc xử lý bùn thải ao nuôi tôm bằng phương pháp ủ yếm khí còn xảy ra hiện tượng nổi vật liệu làm giảm hiệu quả của quá trình sinh khí sinh học. Vì vậy, nghiên cứu này đã được thực hiện với mục tiêu là đánh giá sự ảnh hưởng của việc khuấy trộn đến năng suất sinh khí sinh học của bùn xi phông.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Chuẩn bị nguyên liệu nghiên cứu

Bùn thải ao nuôi tôm được thu từ hệ thống xi phông tại trại nuôi tôm thẻ chân trắng siêu thâm canh (80-90 ngày tuổi) của hộ ông Lê Văn Sang thuộc xã Ngọc Tố, huyện Mỹ Xuyên, tỉnh Sóc Trăng (9°24'53.4"N 105°56'29.3"E). Mẫu bùn sau đó được để lắng để tách lấy phần bùn, mẫu được bảo quản ở nhiệt độ 4ºC và được vận chuyển về phòng thí nghiệm khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, trường Đại học Cần Thơ. Trước khi bố trí nghiệm, mẫu bùn được trộn đều, thu mẫu và phân tích các thông số hoá lý. Mẫu bùn dùng cho bố trí thí nghiệm được phân tích các thông số ẩm độ, chất rắn bay hơi (%VS), cacbon hữu cơ tổng số (%C), đạm tổng số (%N) để tính toán lượng bùn cần cho mỗi nghiệm thức. Kết quả phân tích mẫu bùn cho thấy giá trị pH và độ mặn ban đầu là 9,50±0,6 và 20±0,4‰. Hàm lượng TS và VS lần lượt là 80,8±0,7 g/L và 43,6±0,3 g/L. Thông số %C, %N và C/N của bùn lần lượt là 31,3±0,1%, 1,70±0,03% và 18,46±0,25.

2.2. Phương pháp bố trí thí nghiệm

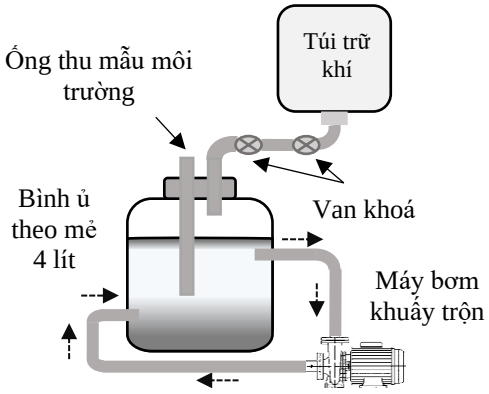
2.2.1. Mô hình ủ yếm khí theo mẻ

Thí nghiệm ủ yếm khí được tiến hành trên bình nhựa có dung tích chứa 5 L với chiều cao 23 cm, ngang 15 cm và đường kính miệng bình 11 cm. Thể tích chứa hỗn hợp ủ bên trong bình ủ là 3,5 L, phần thể tích còn lại chứa khí (1,5 L) để hạn chế áp suất trong bình ủ tăng lên khi thể tích khí được sinh ra.

Túi trữ khí: Trên nắp bình ủ được thiết kế một ống dẻo (ϕ = 6 mm) kết nối với nắp bằng ốc siết cố định đảm bảo kín khí và được kết nối với túi khí có thể tích chứa 1,5 L, trên đường dẫn khí có thiết kế 2 van khóa khí, túi chứa khí hàng ngày được lấy đi đo thể tích và thành phần khí sinh học.

Ống thu mẫu và kiểm tra các yếu tố môi trường: Trên nắp bình được thiết kế thêm một ống nhựa có

ϕ = 4 mm để theo dõi các thông số pH, nhiệt độ và hiệu điện thế oxy hóa khử của hỗn hợp ủ. Ống nhựa được đặt dưới mặt nước trong bình bằng 2/3 chiều cao của mực nước, phần trên nắp được cố định bằng ốc siết cố định đã đảm bảo kín khí. Hàng ngày, ống nhựa được đậy kín nhằm hạn chế lượng oxy khuếch tán vào trong bình ủ và hỗn hợp ủ trong bình bị đẩy ra ngoài do áp suất bình tăng lên khi sinh khí.



Hình 1. Hệ thống ủ theo mẻ có khuấy trộn

Máy bơm khuấy trộn: Trong quá trình phân huỷ yếm khí, một phần bùn sẽ bị lắng ở đáy bình ủ, một phần khác sẽ nổi lên bề mặt. Mỗi bình ủ được thiết kế một bộ khuấy trộn theo phương pháp cơ học, với máy bơm nước mini có lưu lượng là 4,5 L/phút để hút phần nước trong bên trên và dẫn xuống phần bùn lắng ở đáy bình, chạy liên tục trong 2 phút để tạo sự khuấy trộn đều cho dung dịch trong bình ủ (Hình 1).

2.2.2. Phương pháp bố trí thí nghiệm

Theo Monyluak et al. (2021) đề xuất khuấy trộn gián đoạn (6 giờ/lần hoặc 12 giờ/lần) với thời gian khuấy trộn được thực hiện trong khoảng 3 phút sẽ làm tăng sản lượng khí sinh học, trong khi thời gian khuấy trộn dài hơn không mang lại hiệu quả tốt hơn. Thí nghiệm được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên trong điều kiện phòng thí nghiệm gồm 5 nghiệm thức: Không khuấy trộn (NS) và nghiệm thức Khuấy trộn 1 lần/ngày (1T), 2 lần/ngày (2T), 4 lần/ngày (4T) và 8 lần/ngày (8T) với 5 lần lặp lại. Mỗi bình ủ có cùng một tải lượng nạp là 20 gVS/L được pha từ mẫu bùn ban đầu và nước ót có độ mặn 20‰. Thời gian mỗi lần khuấy trộn là 2 phút/lần.

Bảng 2. Các nghiệm thức của thí nghiệm

Nghiệm thức	Ký hiệu	Số lần khuấy (lần/ngày)	Thời gian khuấy (phút)	Khoảng thời gian khuấy (giờ)	Thể tích ủ (mL)
Không khuấy trộn	NS	0	0	Không khuấy	3.500
1 lần/ngày	1T	1	2	24	3.500
2 lần/ngày	2T	2	4	12	3.500
4 lần/ngày	4T	4	8	6	3.500
8 lần/ngày	8T	8	16	3	3.500

2.3. Đo đạc và phân tích mẫu

Các thông số môi trường pH, nhiệt độ và Eh của dung dịch ủ được theo dõi hằng ngày ở giai đoạn 15 ngày đầu của thí nghiệm vì giai đoạn này quá trình sinh a-xít chiếm ưu thế nên các thông số môi trường có sự thay đổi nhanh và theo dõi với chu kỳ 3 ngày/lần sau 15 ngày sau khi bình ủ đã được ổn định. Thể tích khí sinh ra hằng ngày sẽ được trữ trong túi nhôm và được đo bằng máy đo thể tích khí RITTER. Tương tự đối với thành phần khí sinh học CH_4, CO_2 và khí khác được sinh ra từ bình ủ sẽ được đo hằng ngày ở giai đoạn 15 ngày đầu của thí nghiệm và theo chu kỳ 3 ngày/lần sau 15 ngày.

Bảng 2. Phương pháp đo và phân tích mẫu

Chỉ tiêu	Phương pháp phân tích	Thiết bị chính
pH	Đo trực tiếp	Máy đo HM-30P TOADKK (Nhật) với điện cực đo pH.
Nhiệt độ (°C)	Đo trực tiếp	Máy đo HM-30P TOADKK (Nhật) với điện cực đo nhiệt độ.
Thế oxy hóa khử (Eh, mV)	Đo trực tiếp	Máy đo HM-30P TOADKK (Nhật) với điện cực đo Eh.
Tổng chất rắn (TS, g/L)	Sấy khô đến trọng lượng không đổi tại 105°C	Tủ sấy mẫu ISUZU (Nhật)
Chất rắn bay hơi (VS, g/L)	Nung 550°C trong 4 giờ (APHA, 1998)	Cân điện tử Sartorius CP 324
Tổng Carbon (%C)	Nung 550°C trong 4 giờ (APHA, 1998), được tính theo phần trăm Carbon.	Cân điện tử Sartorius CP 324
Tổng Đạm (%N)	Phương pháp Kjeldahl (APHA, 1998)	Máy chưng cất Kjeldahl
Tổng thể tích khí (lít)	Đo bằng đồng hồ đo khí	Đồng hồ đo khí RITTER TG
Thành phần khí (%)	Đo bằng máy đo thành phần khí	GA 5000, Anh

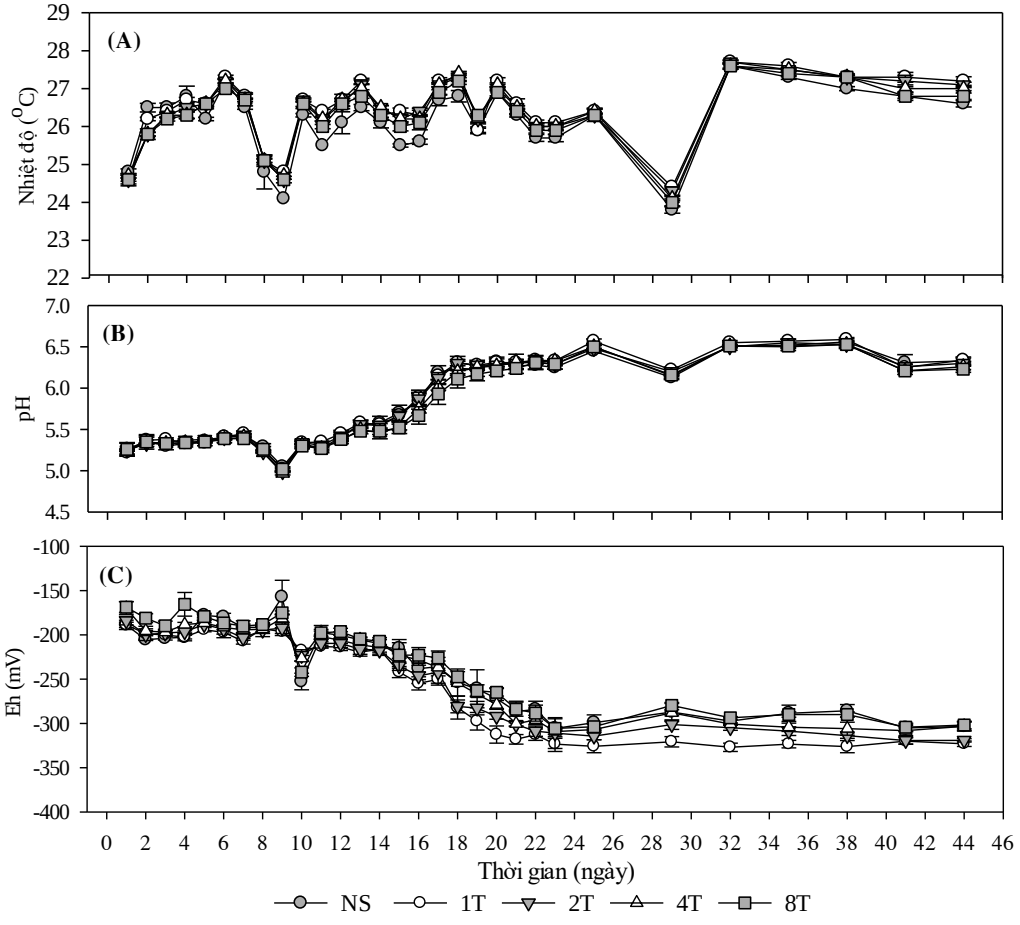
2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Các số liệu được tổng hợp và tính toán bằng phần mềm Microsoft Excel 2013. Các thông số môi trường được thực hiện thống kê mô tả bao gồm: nhiệt độ, pH, Eh và thể tích sinh khí. Các số liệu được tiến hành kiểm tra tính đồng nhất phương sai và phân tích One - Way ANOVA giữa năng thể tích khí sinh học tích dồn và năng suất sinh khí CH_4 giữa các nghiệm thức với phép thử Duncan ở độ tin cậy 95%; phân tích tương quan giữa số lần khuấy trộn và năng suất sinh khí CH_4 bằng phần mềm IBM SPSS 20.0 (IBM Corporation, United States).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Nhiệt độ, pH và điện thế oxy hóa khử

Nhiệt độ là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến tốc độ tăng trưởng và sự phát triển của các vi sinh vật trong quá trình phân hủy, đặc biệt là vi khuẩn sinh khí mê-tan. Diễn biến nhiệt độ của các nghiệm thức trong thí nghiệm được thể hiện qua Hình 2A. Kết quả nghiên cứu cho thấy nhiệt độ trung bình giữa các nghiệm thức dao động từ 23,7 đến 27,7ºC, sự biến động nhiệt độ giữa các nghiệm thức thấp. Theo Triết và Việt (2018) thì nhiệt độ và sự biến đổi nhiệt độ trong ngày ảnh hưởng đến khả năng sinh khí và nhiệt độ thích hợp cho hoạt động của vi sinh vật là 31 – 36°C. Theo Khải và Lượng (2010) cho rằng tốc độ sinh khí mê-tan của vi khuẩn sẽ bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ. Mặc khác, nhiệt độ từ 35 đến 40 ºC sẽ tối ưu hóa tính đa dạng về quần thể vi sinh vật trong mẻ ủ, điều này rất quan trọng trong việc phân hủy các chất hữu cơ và vô hiệu hóa các mầm bệnh (Việt & Ngân, 2015). Nhiệt độ môi trường xung quanh mẻ ủ có ảnh hưởng đến quá trình sinh khí mê-tan (Triết & Việt, 2018). Kết quả thí nghiệm cho thấy nhiệt độ các nghiệm thức đều chưa đạt đến trong khoảng thích hợp cho quá trình sinh khí mê-tan, tuy nhiên nhiệt độ của các nghiệm thức ở từng thời điểm không có sự chênh lệch (p>0,05).



Hình 2. Giá trị trung bình nhiệt độ (A) , pH (B) và Eh (C) của các nghiệm thức theo thời gian

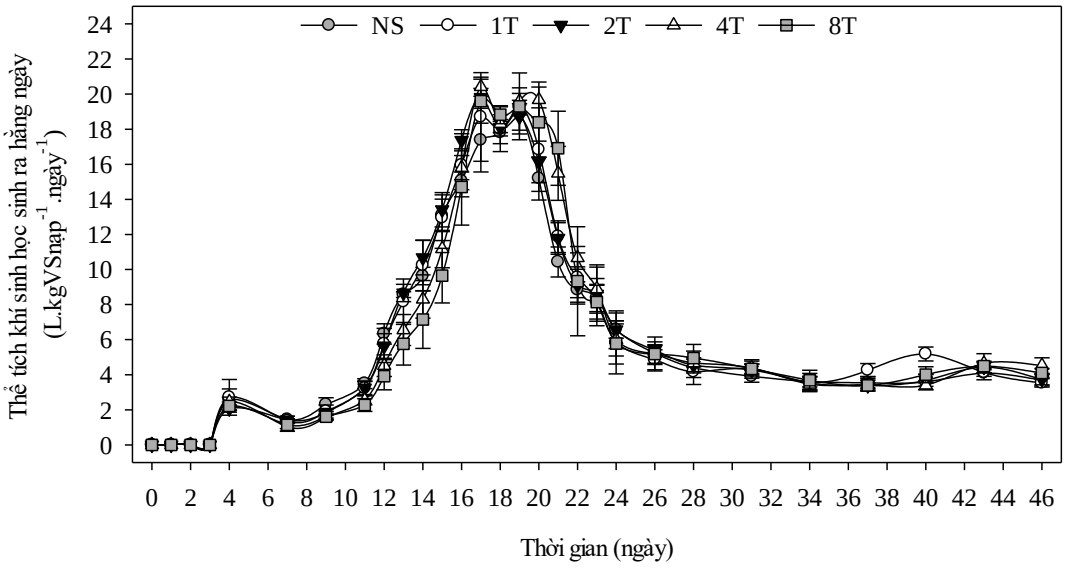
Ghi chú: số liệu trình bày dạng TB±SD, n=5

Giá trị pH của các nghiệm thức NS, 1T, 2T, 4T và 8T được thể hiện qua Hình 2B. Kết quả theo dõi diễn biến giá trị pH trong suốt thời gian thí nghiệm của nghiệm thức dao động trong khoảng từ 4,95 đến 6,59 và không có sự chênh lệch lớn giữa các nghiệm thức. Ở thời điểm cao nhất vào ngày 38 của thí nghiệm, giá trị pH của các nghiệm thức NS, 1T, 2T, 4T và 8T lần lượt là 6,56±0,04; 6,59±0,02; 6,53±0,02; 6,53±0,04 và 6,53±0,05. Giá trị pH của các nghiệm thức trong 12 ngày đầu tiên của thí nghiệm hầu hết đều thấp, trong khoảng thời gian này giá trị pH thấp nhất ghi nhận được giữa các nghiệm thức NS, 1T, 2T, 4T và 8T lần lượt là 5,05; 5,02; 4,99; 4,97 và 5,02. Sau thời gian 12 ngày, giá trị pH trong hỗn hợp có xu hướng tăng dần và ổn định (lớn hơn 5,5). Sau giai đoạn này, pH tăng dần và ổn định, đó là lúc các vi sinh vật sinh khí mê-tan phát triển. Theo Việt (2005) giá trị pH là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến tốc độ hoạt động của vi sinh vật yếm khí trong hầm ủ. Giá trị pH có sự thay đổi theo từng giai đoạn của quá trình phân huỷ yếm khí, ở giai đoạn thủy phân các hợp chất hữu cơ và giai đoạn sinh a-xít thì pH giảm xuống, ở giai đoạn sinh mê-tan pH đi vào ổn định. Giá trị pH thích hợp cho quá trình ủ yếm khí dao động trung bình từ 6,2 đến 8,5 (Chandra et al., 2012), tối ưu cho quá trình ủ yếm khí dao động từ 6,7 đến 7,5 (Chandra et al., 2012), trong giai đoạn sinh a-xít thì pH có thể giảm nhanh nhưng pH dưới 5,5 sẽ gây ức chế cho nhóm hoạt động của vi sinh vật. Trong nghiên cứu này giá trị pH trong hỗn hợp ủ ở giai đoạn đầu (12 ngày đầu) giảm thấp gây ức chế quá trình ủ yếm khí, từ ngày 12 trở về sau giá trị pH nằm trong khoảng thích hợp cho quá trình yếm khí.

Diễn biến giá trị thế oxy hóa khử (Eh) của các nghiệm thức trong suốt thời gian ủ yếm khí được thể hiện qua Hình 2C. Kết quả đo thế oxy hoá khử của các nghiệm thức trong thí nghiệm dao động từ -338 đến -132 mV và thế oxy hóa khử của các nghiệm thức NS, 1T, 2T, 4T và 8T dao động lần lượt là từ -321 đến -132 mV; từ -336 đến -186 mV; từ -338 đến -180 mV; từ -318 đến -159 mV; và từ -310 đến -155 mV. Trong giai đoạn đầu (9 ngày đầu tiên) của thí nghiệm, hiệu điện thế oxy hóa khử ở các nghiệm thức cao hơn các ngày còn lại (có giá trị cao dao động trong khoảng từ - 212 đến - 132 mV), giai đoạn từ ngày thứ 9 đến ngày 11 của thí nghiệm, hiệu điện thế oxy hóa khử ở các nghiệm thức có giá trị thấp, điều này cho thấy quá trình khử diễn ra mạnh trong giai đoạn này. Sau giai đoạn này, thế oxy hóa khử giảm dần và ổn định. Càng đến giai đoạn cuối (từ ngày 22 cho đến khi kết thúc) của thí nghiệm, giá trị hiệu điện thế oxy hóa khử gần như ổn định. Nghiệm thức 1T có giá trị thấp nhất dao động trong khoảng từ -327 đến -320 mV tiếp đến là các nghiệm thức 2T, 4T, nghiệm thức thấp nhất là NS và 8T, các nghiệm thức NS, 2T, 4T và 8T có giá trị dao động lần lượt là từ -305,8 đến -285,8; từ -319,4 đến -301,4; từ -309,2 đến -288 và từ -305,8 đến -279,8 mV. Theo Nga và ctv. (2013), hiệu điện thế oxy hóa khử nhỏ hơn -250 mV là khoảng thích hợp cho quá trình sinh khí mê-tan. Đây là yếu tố thuận lợi cho vi khuẩn sinh khí mê-tan hoạt động tốt. Đồng thời, Eh là một trong những yếu tố đóng vai trò quan trọng trong mẻ ủ và cần được theo dõi thường xuyên nhằm đảm bảo điều kiện thuận lợi cho quá trình phân hủy yếm khí. Nhìn chung, thế oxy hóa khử các nghiệm thức có xu hướng giảm theo thời gian ủ của thí nghiệm và sau ngày thứ 18 Eh của các nghiệm thức đều đạt giá trị thuận lợi cho quá trình sinh khí mê-tan (Eh <-250).

3.2. Thể tích khí sinh học sinh ra hàng ngày

Thể tích khí sinh học sinh ra được theo dõi hằng ngày và trình bày trong Hình 3. Kết quả nghiên cứu cho thấy trong thời gian đầu (từ ngày 4 đến ngày 12) lượng khí sinh học (Biogas) sinh ra hàng ngày của các nghiệm thức thấp; sau đó, lượng khí sinh ra có xu hướng tăng lên theo thời gian, từ ngày 24 của thí nghiệm lượng khí sinh học sinh ra hằng ngày giảm và ổn định cho đến khi kết thúc thí nghiệm. Kết quả nghiên cứu cho thấy các nghiệm thức bắt đầu sinh khí vào ngày thứ 4 của thí nghiệm, tại thời điểm này lượng khí sinh ra có giá trị lần lượt là 2,58; 2,77; 2,07; 2,46 và 2,22 L/kgVSnạp/ngày (p>0,05) tương ứng với các nghiệm thức NS, 1T, 2T, 4T và 8T. Sau khi bắt đầu sinh khí thì lượng khí biogas sinh ra hằng ngày của nghiệm thức vẫn duy trì ở mức thấp cho đến ngày 12, dao động trong khoảng từ 1,02 đến 6,33 L/kgVSnạp/ngày. Những ngày đầu, môi trường ủ của các nghiệm thức chưa ổn định, quá trình sinh a-xít chiếm ưu thế ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình sinh khí, điều đó dẫn đến thể tích khí sinh ra trong giai đoạn này tương đối thấp hơn so với giai đoạn ổn định sau đó.



Hình 3. Thể tích khí sinh học sinh ra hằng ngày

Ghi chú: số liệu trình bày dạng TB±SD, n=5

Sau 12 ngày thì lượng khí biogas sinh ra hằng ngày của thí nghiệm có xu hướng tăng nhanh và có giá trị cao nhất vào ngày 17 của thí nghiệm, lượng khí biogas sinh ra nhiều nhất là nghiệm thức 4T với 20,4 L/kgVSnạp/ngày và 19,8; 19,6; 18,7 và 17,4 L/kgVSnạp/ngày lần lượt với các nghiệm thức 2T, 8T, 1T và NS. Ở giai đoạn từ ngày 12 đến ngày 20 lượng khí biogas sinh ra giữa các nghiệm thức 1T, 2T, 4T và 8T không có sự khác biệt ($p>0,05$), riêng đối với nghiệm thức NS không khác biệt với 1T ($p>0,05$) nhưng có sự khác biệt với nghiệm thức 2T, 4T và 8T ($p<0,05$). Lượng khí biogas sinh ra ở mức cao ở các ngày tiếp theo (ngày 18, 19, 20) dao động trong khoảng từ 15,2 đến 19,7 L/kgVSnạp/ngày. Thể tích khí biogas sinh ra hằng ngày nhiều nhất tập trung trong giai đoạn từ ngày 18 đến ngày 29, nguyên nhân là do bùn đang trong giai đoạn phân hủy mạnh mẽ bởi các yếu tố môi trường bên trong bình ủ thuận lợi cho quá trình sinh khí biogas.

Giai đoạn từ ngày 20 đến ngày 24, lượng khí biogas sinh ra giảm nhanh, tại thời điểm ngày 24 lượng khí biogas sinh ra của các nghiệm thức NS, 1T, 2T, 4T và 8T lần lượt là 6,57; 5,84; 6,56; 5,98 và 5,78 L/kgVSnạp/ngày ($p>0,05$). Sau giai đoạn này lượng khí biogas có xu hướng giảm theo thời gian cho đến khi kết thúc thí nghiệm với lượng khí dao động trong khoảng từ 3,38 L đến 5,40 L/kgVSnạp/ngày.

Kết quả nghiên cứu cho thấy lượng khí biogas sinh ra hằng ngày của nghiệm thức 8T, 4T trong giai đoạn 12 ngày đầu luôn thấp hơn các nghiệm thức NS, 1T, 4T. Tại thời điểm này lượng khí biogas sinh ra của nghiệm thức 8T và 4T lần lượt là 3,92 L và 4,54 L thấp hơn và có sự khác biệt so với các nghiệm thức NS (6,36 L), 1T (5,75 L) và 2T (5,64 L) ($p<0,05$), sự chênh lệch này vẫn tiếp tục kéo dài đến ngày 18 của thí nghiệm. Giai đoạn từ ngày 17 đến ngày 20 là giai đoạn sinh khí cao nhất của thí nghiệm, vào giai đoạn này lượng khí biogas sinh ra cao nhất của các nghiệm thức NS, 1T, 2T, 4T và 8T lần lượt là 18,9 L/kgVSnạp/ngày (ngày 19); 19,3 L (ngày 19); 19,3 L (ngày 17); 20,4 (ngày 17) và 19,9 (ngày 17). Sau giai đoạn này cho đến khí kết thúc thí nghiệm lượng khí biogas sinh ra của nghiệm thức NS và 8T có xu hướng thấp hơn các nghiệm thức 1T, 2T và 4T.

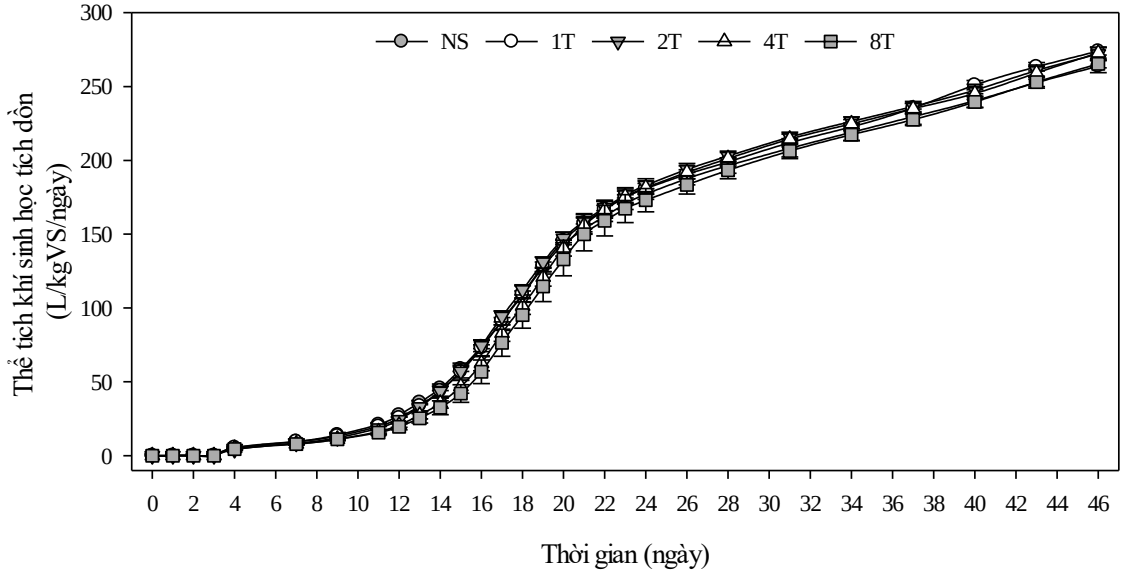
Nhìn chung, thể tích khí biogas sinh ra hằng ngày của các nghiệm thức thấp ở giai đoạn đầu, kể từ ngày 12 trở đi lượng khí biogas sinh ra tăng nhanh chóng và đạt đỉnh vào giai đoạn từ ngày 17 đến ngày 20 của thí nghiệm, sau đó lượng khí biogas sinh ra giảm nhanh và ổn định cho đến khi kết thúc thí nghiệm. Kết quả nghiên cứu cho thấy, việc khuấy trộn làm gia tăng thể tích khí sinh ra hàng ngày đặt biệt là từ ngày 12 đến ngày 20 của thí nghiệm.

3.3. Tổng thể tích khí sinh học tích dồn

Kết quả nghiên cứu cho thấy tổng lượng khí tích dồn của các nghiệm thức được thể hiện qua Hình 4. Tại thời điểm 12 ngày của thí nghiệm thì tổng lượng khí tích dồn của các nghiệm thức NS, 1T, 2T, 4T và

8T lần lượt là 27,4; 25,5; 24,2; 20,7 và 19,6 L/kgVSnạp. Trong đó, nghiệm thức NS là nghiệm thức có tổng lượng khí tích dồn sinh ra cao nhất trong tất cả các nghiệm thức, thấp nhất là nghiệm thức 8T, trong giai đoạn này thì việc khuấy trộn càng nhiều lần trong ngày thì tổng lượng khí tích dồn sinh ra càng thấp.

Giai đoạn từ ngày 12 đến ngày 24 của thí nghiệm, lượng khí tích dồn sinh ra có sự chênh lệch giữa các nghiệm thức NS, 8T so với các nghiệm thức còn lại, cụ thể tại giai đoạn này lượng khí biogas tích dồn được ghi nhận là 177,2; 181,0; 183,1; 181,6 và 173,1 L/kgVSnạp tương ứng với các nghiệm thức NS, 1T, 2T, 4T và 8T. Trong đó, lượng khí biogas tích dồn của NS và 8T có xu hướng thấp hơn so với các nghiệm thức 1T, 2T, 4T và có sự khác biệt ($p<0,05$). Từ giai đoạn ngày 24 trở đi, lượng khí biogas tích dồn của nghiệm thức NS và 8T thấp hơn các nghiệm thức còn lại và có sự khác biệt ($p<0,05$). Cụ thể, ngày cuối của thí nghiệm lượng khí biogas tích dồn của các nghiệm thức NS, 1T, 2T, 4T và 8T lần lượt là 263,7, 274,0, 272,0, 272,8 và 265,3 L/kgVSnạp. Trong đó, lượng khí tích dồn của nghiệm thức 1T có lượng khí tích dồn cao nhất và không có sự khác biệt so với nghiệm thức 2T và 4T tuy nhiên có sự khác biệt với nghiệm thức NS và 8T ($p<0,05$).



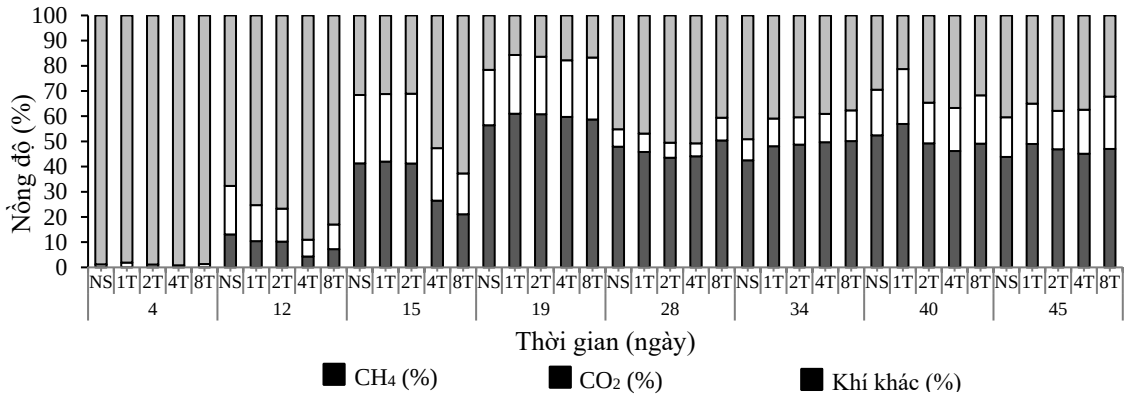
Hình 4. Thể tích khí sinh học tích dồn

Ghi chú: số liệu trình bày dạng TB±SD, n=5

Khi thực hiện các số lần khuấy trộn trong ngày thì thể tích khí sinh ra hằng ngày và tích dồn chênh lệch so với không khuấy trộn là không lớn đều này được thể hiện rõ trên Hình 4. Cụ thể, nghiệm thức 1T, 2T, 4T và 8T có thể tích tích dồn vào cuối nghiên cứu tăng lần lượt là 10,3, 8,3, 9,1 và 1,6 L/kgVSnạp so với không khuấy trộn. Kết quả cho thấy, các nghiệm thức khuấy trộn 1T, 2T, 4T góp phần tăng khả năng sinh khí sinh học, riêng nghiệm thức 8T khi thực hiện khuấy trộn thể tích khí sinh ra hàng ngày chênh lệch so với không khuấy trộn không lớn (1,6 L/kgVSnạp). Nhìn chung, trong suốt quá trình thí nghiệm việc khuấy trộn đã giúp làm tăng hiệu quả sinh khí biogas (1T, 2T và 4T) tuy nhiên việc khuấy trộn nhiều và liên tục (8T) thì lượng khí tích dồn luôn thấp hơn các nghiệm thức khuấy trộn còn lại và không chênh lệch lớn so với không khuấy. Sau khi kết thúc thí nghiệm thì khuấy trộn 1 lần/ngày (1T), 2 lần/ngày (2T), 4 lần/ngày (4T) có sự khác biệt so với nghiệm thức không khuấy và khuấy 8 lần/ngày (8T) ($p<0,05$).

3.4. Nồng độ khí sinh học

Kết quả phân tích thành phần khí của các nghiệm thức được trình bày trong Hình 5 cho thấy tại ngày thứ 4, các nghiệm thức đều có sinh khí sinh học, nhưng không thấy thể tích khí CH_4, thành phần khí khác chiếm tỉ lệ cao nhất.



Hình 5. Thành phần khí sinh học

Tại thời điểm ngày 12, các nghiệm thức bắt đầu có khí mê-tan tuy nhiên vẫn rất thấp, thành phần khí khác và khí CO_2 vẫn chiếm tỉ lệ cao nhất. Trong giai đoạn này nồng độ khí mê-tan của các nghiệm thức NS, 1T, 2T, 4T và 8T có giá trị lần lượt là 13,1, 10,4, 10,2, 4,3 và 7,2%. Trong các giai đoạn tiếp theo, nồng độ CH_4 có xu hướng tăng lên sau ngày 15 thí nghiệm thức 1T có nồng độ CH_4 cao hơn các nghiệm thức còn lại. Ngày 19 của thí nghiệm, nồng độ khí CH_4 được ghi nhận cao nhất của toàn bộ mẻ ủ, tại thời điểm này nồng độ CH_4 của các nghiệm thức NS, 1T, 2T, 4T và 8T có giá trị lần lượt là 56,4; 61,0; 60,8; 59,7 và 58,7%. Sau ngày 19, nồng độ khí CH_4 có xu hướng giảm, tuy nhiên hầu hết các ngày còn lại các nghiệm thức đều có nồng độ khí CH_4 trên 45%.

Trong giai đoạn 12 ngày đầu nồng độ khí CH_4 của các nghiệm thức tương đối thấp, nguyên nhân là do trong giai đoạn này chủ yếu xảy ra quá trình thủy phân và sinh a-xít làm cho các vi sinh vật sinh khí CH_4 hoạt động kém hiệu quả (do giá trị pH xuống thấp có lúc dưới 5,5) nên thành phần khí biogas thấp chủ yếu là các khí khác. Trong các giai đoạn tiếp theo, nồng độ khí mê-tan của các nghiệm thức có xu hướng tăng và ổn định trong các giai đoạn của quá trình sinh khí từ ngày 17 đến ngày 45 và phần lớn có nồng độ khí CH_4 lớn hơn 45%. Nồng độ khí mê-tan trong giai đoạn này tăng lên là do các vi sinh vật sinh khí mê-tan sử dụng và chuyển hóa các axít acetic, CO_2 và H_2 thành khí mê-tan.

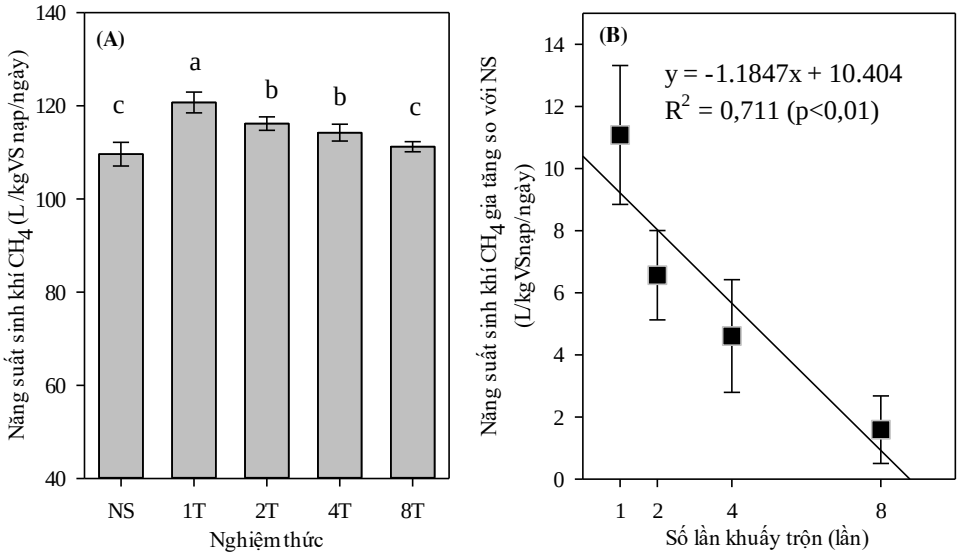
Nhìn chung, thành phần khí sinh học sinh ra trong giai đoạn đầu thấp và khí CH_4 bắt đầu hình thành từ ngày 12 của thí nghiệm, thành phần khí CH_4 ở các nghiệm thức dao động từ 35,2 đến 39,5%.

3.5. Năng suất sinh khí và sự tương quan giữa số lần khuấy trộn

Kết quả năng suất sinh khí CH_4 của các nghiệm thức khi kết thúc thí nghiệm cho thấy, nghiệm thức 1T có năng suất sinh khí cao nhất (122,0 L), khác biệt có ý nghĩa so với các nghiệm thức còn lại ($p<0,05$). Nghiệm thức có năng suất sinh khí thấp nhất là NS (110,2 L) và không khác biệt so với nghiệm thức 8T (112,3 L) ($p>0,05$) nhưng có sự khác biệt so với nghiệm thức 2T (116,4 L $CH_4/kgVS_{nạp}$) và 4T (114,3 L $CH_4/kgVS_{nạp}$). Trong nghiên cứu này thì việc khuấy trộn 1 lần/ngày đã làm gia tăng năng suất sinh khí CH_4 của các nghiệm thức trong quá trình ủ và có sự khác biệt so với các nghiệm thức còn lại ở mức ý nghĩa 5% ($p<0,05$).

Kết quả nghiên cứu này phù hợp với nghiên cứu của Muftah et al. (2009) được thực hiện trên nước thải nhà máy dầu cọ, nghiên cứu đã báo cáo rằng trộn tối thiểu giúp tạo sự tiếp xúc tốt giữa chất nền và vi sinh vật bên trong bể phân hủy và giải phóng khí sinh học không thoát được ở đáy bể phân hủy. Mặt khác, trộn mạnh trong nghiên cứu này được phát hiện đã ức chế quá trình sản xuất mê-tan không được tạo ra vào cuối thí nghiệm. Monyluak et al. (2021) đã đánh giá ảnh hưởng của khuấy trộn lên hỗn hợp phân bò và ngô ủ chua cũng cho thấy việc khuấy trộn liên tục với cường độ nhiều trong ngày đã làm giảm hàm lượng khí mê-tan so với đối chứng, việc khuấy trộn thường xuyên không tốt cho khí sinh học.

Kết quả Hình 6B Cho thấy có mối tương quan nghịch giữa năng suất sinh khí CH_4 gia tăng và số lần khuấy trộn dung dịch ủ ở mức ý nghĩa 5%, với hệ số tương quan $R^2 = 0,71$. Kết quả chứng minh được việc khuấy trộn càng nhiều lần thì sẽ làm giảm khả năng sinh khí của mẻ ủ. Có thể thấy rằng, khuấy trộn ít lần trong ngày có hiệu quả tăng năng suất sinh khí CH_4 tốt hơn so với khuấy trộn nhiều lần trong ngày.



Hình 6. Năng suất sinh khí CH_4 (A) và tương quan giữa số lần khuấy trộn với sự gia tăng năng suất sinh khí CH_4 so với NS (B)

Ghi chú: số liệu trình bày dạng TB±SD, n=5

4. KẾT LUẬN

Sau 45 ngày, tổng thể tích khí sinh học tăng 3,89%; 3,15%; 3,42% và 0,61% tương ứng với các nghiệm thức 1T, 2T, 4T và 8T so với đối chứng.

Việc khuấy trộn 1 lần/ngày đã làm gia tăng năng suất sinh khí CH_4 cao hơn các nghiệm thức trong quá trình ủ và có sự khác biệt so với các nghiệm thức còn lại.

Nghiên cứu này cho thấy năng suất sinh khí CH_4 và số lần khuấy trộn dung dịch ủ có mối tương quan nghịch với nhau, ở mức ý nghĩa 5%, với hệ số tương quan R^2 = 0,71. Ở mức khuấy trộn cao nhất (8 lần/ngày) cho năng suất sinh khí CH_4 tương đồng với không khuấy trộn.

LỜI CẢM TẠ

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn cán bộ quản lý phòng thí nghiệm Độc học Môi trường, khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, trường Đại học Cần Thơ đã tạo điều kiện thuận lợi về cơ sở vật chất cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Ahmad, M. (1999). Shaban Bacteriological evaluation of composting systems in sludge treatment. *Water Science and Technology*, *40*(7), 165. https://doi.org/10.2166/wst.1999.0354

American Public Health Association (APHA). American Water Works Association (AWWA),Water Control Federation (WCF). (1998). Standardmethods for the examination of water andwastewater, 20th ed. Washington D.C., USA.

Cẩm, N. T. D. (2017). Đánh giá hiệu quả quá trình nitrat hóa trên hệ lọc sinh học hiếu khí trong xử lý nước nuôi thủy sản có độ mặn cao. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*, *33*(1), 88-94.

Chae, K. J., Jang, A., Yim, S. K., and Kim, I. S. (2008). The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. *Bioresource Technology*, *99*, 1–6. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.11.063

Chandra, R., Takeuchi, H., & Hasegawa, T. (2012). Hydrothermal pretreatment of rice straw biomass: A potential and promising method for enhanced methane production. *Applied Energy*, *94*, 129–140. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.027

Chen, Y, Cheng, J. J., & Creamer, K. S. (2007) Inhibition of anaerobic digestion process: A review. Bioresource Technology, 99, 4044–4064. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.057

El-Bakhshwan, M. K., Abd El-Ghafar, S. M. A., Zayed, M. F., & El-Shazly, A. E. (2015). Effect of mechanical stirring on biogas production efficiency in large scale digesters. *J.Soil Sci. and Agric. Eng., Mansoura Univ.*, *6*(1), 47 – 63. https://doi.org/10.21608/jssae.2015.41811

Fernardo, C. E. C., & Dangoggo, S. M. (1986). Investigation of some parameters which affect the performance of biogas plants. *Nigerian Journal of solar Energy, 5*, 142-148.

Hopkins, S. J., Sandifer, P. A., & Browdy, C. L. (1994). Sludge management in intensive pond culture of shrimp production. *Aquaculture Engineering, 11*. https://doi.org/10.1016/0144-8609(94)90022-1

Kaparaju, P., Buendia, I., Ellegaard, L., & Angelidakia, I. (2008). Effects of mixing on methane production during thermophilic anaerobic digestion of manure: lab-scale and pilot-scale studies. *Bioresour Technol, 99*, 4919–4928. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.015

Karim, K., Hoffmann, R., Klasson, K. T., & Al-Dahhan, M. H. (2005). Anaerobic digestion of animal waste: effect of mode of mixing. *Water Research 2005, 39*, 3597–3606. https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.06.019

Keanoi, N., Hussaro, K., & Teekasap, S. (2014). Effect of with/without agitation of agricultural waste on biogas production from anaerobic co-digestion-A small scale. *Am J Environ Sci 2014, 10*(1), 74–85. https://doi.org/10.3844/ajessp.2014.74.85

Khải, N. Q. & Lượng, N. G. (2010). *Tủ sách khí sinh học tiết kiệm năng lượng công nghệ khí sinh học chuyên khảo*. NXB Khoa Học Tự Nhiên và Công Nghệ.

Kim, M., Ahn, Y., & Speece, R. E. (2002). Comparative process stability and efficiency of anaerobic digestion; mesophilic vs. thermophilic. *Water Res 2002,36*, 4369–85. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00147-1

Li, J,, Wei, L,, Duan, Q,, Hu, G., & Zhang, G. (2014). Semi-continuous anaerobic co-digestion of dairy manure with threecrop residues for biogas production, *Bioresource Technology*, 156, 307–313. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.064

Lin, K. C., & Pearce, M. E. J. (1991) Effects of mixing on anaerobic treatment of potatoprocessing wastewater. *Can J Civ Eng, 18*, 504–514. https://doi.org/10.1139/l91-061

Luo, G., Ma, N., Li, P., Tan, H., & Liu, W. (2015). Enhancement of Anaerobic Digestion to Treat Saline Sludge fromRecirculating Aquaculture Systems. *The Scientific World Journal*, 2015, 1–5. https://doi.org/10.1155/2015/479101

Mạnh, N. V., & Nga B. T. (2011). Đánh giá mức độ tích tụ và ô nhiễm bùn đáy ao nuôi tôm thâm canh tôm sú. *Tạp chí Nông Nghiệp và Phát triển Nông thôn số 168, Hà Nội. ISSN 0866 – 7020*, 73-79.

Monyluak, M. Y. C., Nicasio, M. M., & Daudi, M. N. (2021). Effect of Stirring Intervals on Biogas Production from Cow Dung and Maize Silage Mix Ratio. *International Journal of Power and Energy Research, 5(1)*. https://doi.org/10.22606/ijper.2021.51001

Muftah H. E., Sulaiman A., Amal A. & Souzan M. (2009). Author's personal copy Assessment of electrocoagulation for the treatment of petroleumrefinery wastewater. *Journal of Environmental Management, 91*, 180–185. doi:10.1016/j.jenvman.2009.08.003

Nga, B. T., Chiếm, N. H., & Nữ, P. V. (2013). Công nghệ túi ủ khí sinh học ở nông thôn đồng bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, 2*(64-70).

Raposo, F, V., Fernández-Cegrí, M.A., Rubia, D., Borja, R., Béline, F., Cavinato, C., Demirer, G., Fernández, B., Fdz-Polanco, M., Frigon, J.C., Ganesh, R.,Kaparaju, P., Koubova, J., Méndez, R., Menin, G., Peene, A., Scherer, P., Torrijos, M., Uellendahl, H., Wierinckm, I., & De Wilde, W. (2011). Biochemicalmethane potential (BMP) of solid organic substrates: evaluation of anaerobic biodegradability using data from an international interlaboratory study. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 86*(8), 1088–1098. https://doi.org/10.1002/jctb.2622

Sanders, W. T. M., Geerin, M., Zeeman, G., & Lettinga, G. (2000). Anaerobic hydrolysis kinetics of particulate substrates. *Water Science and Technology, 41*, 17–24. https://doi.org/10.2166/wst.2000.0051

Sang, V. V., Nguyen, H. H., Vuong, D. D., Thuy, V. T., Tuan, L. P., Ngoc, N. T. H., Knibb, W., Tung, V. H., & Khuong, L. D. (2020). Assessing the efficiency of a rec irculating fluidized bed biofilter in white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) broodstock aquaculture. *Journal of Agriculture, Food, Environment and Animal Sciences, 1*(4), 127 - 132. DOI:10.47440/JAFE.2020.1419.

Srisertpol, J., Srinakorn, P., Kheawnak, A., & Chamniprasart, K. (2012). Estimation of Biogas Production from ShrimpPond Sediment Using the Artificial Intelligence. *Applied Mechanics and Materials*, 260–261, 695–700. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.260-261.695

Srivichai, P., & Chavalparit, O. (2020) Co-digestion of modified tapioca starch sludge and shrimp pond sediment as amethod to improve system stability and biogas production. ScienceAsia, 46,1-9. https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2020.017

Stroot, P. G., McMahon, K. D., Mackie, R. I., & Raskin, L. (2001). Anaerobic codigestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions-I. *Digester performance Water Res, 35*, 1804-1816. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00439-5

Thư, T. A., & Gương, V. T. (2010). Đặc tính hóa lý học của bùn thải ao nuôi tôm tại Sóc Trăng. *Tạp chí Khoa học, số 16a*, 209-215

Triết, L. M., & Việt, L. H. (2018). *Vi sinh vật Nước và Nước thải*. Nhà xuất bản Xây dựng.

Việt, L. H., & Ngân, N. V. C. 2015. *Giáo trình vi sinh vật kỹ thuật môi trường*. Nhà xuất bản Đại học Cần Thơ. Cần Thơ.

Việt, L. H. (2005). *Giáo trình quản lý và tái sử dụng chất thải hữu cơ*. Trường Đại học Cần Thơ.

Việt, L. Q., & Hải, T. N. (2018). Thực nghiệm nuôi tôm thẻ chân trắng (*Litopenaeus vannamei*) trong bể với các mật độ khác nhau theo công nghệ biofloc. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, *54*(7B), 94-101. https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2018.145

Vongvichiankul .C., Deebao, J., & Khongnakorn .W (2017). Relationship between pH, Oxidation Reduction Potential (ORP) and Biogas Production in Mesophilic Screw Anaerobic Digester. *Energy Procedia, 138*, 877-822. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.113

Ye, J., Li, D., Sun, Y., Wang, G., Yuan, Z., Zhen, F., & Wang, Y. (2013) Improved biogas production from rice straw byco-digestion with kitchen waste and pig manure. *Waste Management* 2013, 33, 2653–2658. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.05.014

Zhang, J., Zhang, R., He, Q., Ji, B., Wang, H., & Yang, K. (2020). Adaptation to Salinity: Response of Biogas Production and Microbial Communities in Anaerobic Digestion of Kitchen Waste to Salinity Stress. *Journal of Bioscience and Bioengineering 130* (2), 173–178. https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2019.11.011