



SẢN XUẤT KHÍ SINH HỌC TỪ CÁC NGUỒN CHẤT THẢI KHÁC NHAU Ở ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Trần Sỹ Nam¹, Nguyễn Hữu Chiêm¹, Huỳnh Văn Thảo^{1,2*}, Huỳnh Công Khánh¹, Nguyễn Công Thuận¹, Đinh Thái Danh¹, Dương Trí Dũng, Taro Izumi³, Koki Maeda³ và Nguyễn Văn Công¹

¹Khoa Môi Trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

²United Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan

³Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba, Japan

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Huỳnh Văn Thảo (email: hvthao@ctu.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 10/08/2022

Ngày nhận bài sửa: 08/09/2022

Ngày duyệt đăng: 17/10/2022

Title:

Biogas production from biowastes sources in the Vietnamese Mekong Delta

Từ khóa:

Bếp biogas, đồng phân hủy, khí sinh học, túi ủ biogas HDPE, túi ủ PE

Keywords:

Biogas stove, biogas, co-digestion, HDPE biogas digester, PE biogas digester

ABSTRACT

This paper aims to present the research achievements of College of Environment and Natural Resources (CENRes), Can Tho University, promoting the production and efficient use of renewable biogas energy from biowastes in the Vietnamese Mekong Delta over the last decade. CENRes installed and transferred 515 PE biogas digesters, which certified carbon credit by emission reductions (446 tCO₂ per year) issued in June 2015. In addition, 32 improved HDPE biogas digester for treating livestock wastes, biomass, or co-digestion has been distributed. Moreover, a community biogas-sharing model for tackling surplus biogas has recently been developed, which reduced 12.9 tons of CO₂eq/year. Co-digestion of super-intensive shrimp wastewater with other biomass resources improved biogas yields by 26 - 53%. Furthermore, an improved infrared biogas-cooking stove has recently been launched with conspicuous features such as effective use at low biogas pressure (0.45 cmH₂O), reducing biogas consumption and cooking time, and eliminating unpleasant smells during inflammation.

TÓM TẮT

Mục tiêu của bài báo này là trình bày những nỗ lực của Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên (CENRes), Trường Đại học Cần Thơ về các nghiên cứu sử dụng năng lượng tái tạo khí sinh học từ các nguồn chất thải ở Đồng bằng Sông Cửu Long trong hơn một thập kỷ qua. CENRes đã chuyển giao 515 túi ủ PE, phát hành tín chỉ carbon (446 tCO₂/năm) vào tháng 5/2016. Bên cạnh đó, 32 mô hình biogas HDPE để xử lý chất thải chăn nuôi, thực vật hoặc đồng phân hủy nâng cao hiệu suất sinh khí biogas đã được bàn giao. Ngoài ra, xử lý khí biogas thừa bằng cách chia sẻ cho cộng đồng giảm thải 12,9 tấn CO₂eq/năm. Sự phối trộn thực vật với bùn thải nuôi tôm siêu thâm canh tăng hiệu suất sinh khí từ 26 đến 53%. Nhóm nghiên cứu cũng đã phát triển bếp biogas hồng ngoại cải tiến sử dụng được áp suất thấp (0,45 cmH₂O), tiết kiệm biogas, giảm thời gian nấu và sản phẩm khí cháy không mùi hôi.

1. GIỚI THIỆU

Thế giới đã trải qua những dấu mốc đáng chú ý về các chính sách quốc tế định hình môi trường tự nhiên, cụ thể Thỏa thuận Paris về biến đổi khí hậu và Chương trình Nghị sự 2030 về phát triển bền vững đã chỉ rõ 17 mục tiêu phát triển bền vững (SDGs) như một nền tảng chung về một kế hoạch chi tiết cho hòa bình và thịnh vượng (Bhore et al., 2016; Zhenmin et al., 2019; Khaled et al., 2022). Gần đây, tại COP26, Chính phủ Việt Nam đã cam kết giảm phát thải ròng về “0” vào năm 2050. Do đó, các giải pháp về thúc đẩy tỷ trọng sử dụng năng lượng tái tạo là xu thế tất yếu trong tương lai. Sử dụng nhiên liệu hóa thạch được cho là nguyên nhân gây ra các vấn đề về môi trường như ô nhiễm không khí và nóng lên toàn cầu (Abdeshahian et al., 2016; Munawar et al., 2019). Do đó, việc sử dụng năng lượng hóa thạch đang dịch chuyển theo hướng chuyển đổi thành năng lượng sạch, bền vững, và kiểm soát hiệu quả biến đổi khí hậu (Rabaia et al., 2021; Sayed et al., 2021). Sản xuất năng lượng tái tạo không những là phương án tốt để đáp ứng nhu cầu sử dụng năng lượng cao trên toàn cầu, mà còn là chiến lược khả thi để phản ứng lại sự gia tăng các vấn đề về khí hậu, quốc gia và môi trường (Tewelde et al., 2017).

Công nghệ khí sinh học (biogas) được sử dụng khá phổ biến ở khu vực nông thôn để xử lý chất thải từ chăn nuôi và thu hồi “năng lượng xanh” (Matsubara et al., 2014; Izumi et al., 2015; Izumi et al., 2016; Nam và ctv., 2021; Nam et al., 2021; Nam và ctv., 2015a, Ngan et al., 2015). Khí sinh học (KSH) được tạo ra do quá trình phân hủy các chất thải hữu cơ trong điều kiện kỵ khí với thành phần chủ yếu là khí CH_4 và CO_2 (Ngan et al., 2020, Akkarawatkhosith et al., 2019; Mishra et al., 2022). Chất thải từ phân gia súc, gia cầm, hộ gia đình, phế phụ phẩm nông nghiệp, và sinh khối thực vật là các nguồn nguyên liệu tiềm năng để sản xuất năng lượng tái tạo ở nông thôn (Khaled et al., 2022; Nam et al., 2021). Ở Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), nhiều mô hình biogas (túi ủ biogas PE, HDPE, composite, hầm ủ) đã được áp dụng để xử lý chất thải chăn nuôi và thu hồi năng lượng tái tạo KSH (Ngan et al., 2019; Nam và ctv., 2021). KSH được nhiều nông hộ sử dụng trực tiếp cho các hoạt động đun nấu và thắp sáng (Nam và ctv., 2014; Nam và ctv., 2015a). Phát triển các mô hình biogas ở nông thôn cho phép các nông hộ giảm sự phụ thuộc vào các nguồn năng lượng truyền thống (than, củi, gas công nghiệp) trong bối cảnh nhu cầu sử dụng năng lượng ngày càng tăng. Tuy nhiên, việc sử dụng

hiệu quả và bền vững nguồn năng lượng KSH yêu cầu nhiều nỗ lực hơn nữa để phát triển các mô hình biogas có chi phí phù hợp, tuổi thọ cao, vận hành ổn định, đa dạng hóa các nguyên liệu nạp và loại bỏ mùi hôi (H_2S).

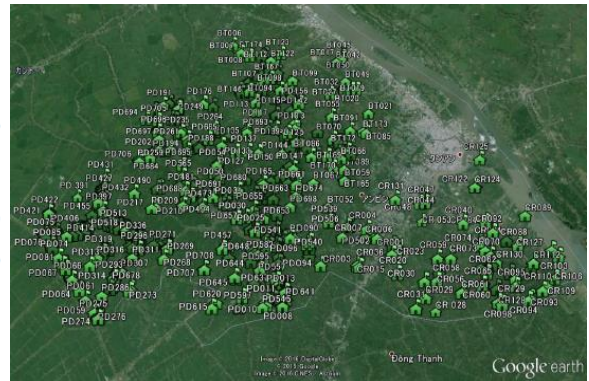
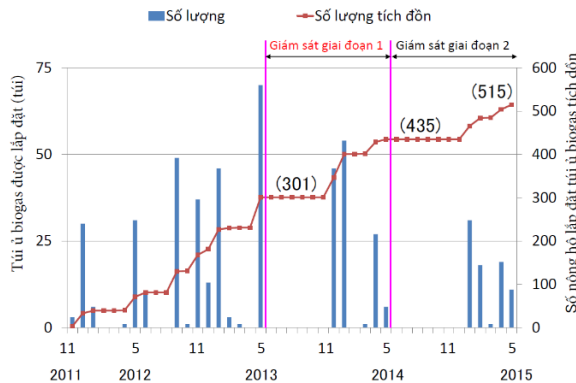
Trong hơn một thập kỷ qua, Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên (CENRes), Trường Đại học Cần Thơ (CTU) là đơn vị tiên phong ở ĐBSCL trong nỗ lực hợp tác nghiên cứu và triển khai thực nghiệm nhiều mô hình biogas, nhằm mục tiêu mở rộng mạng lưới sử dụng năng lượng tái tạo. Những thành công của nhóm nghiên cứu đã cho phép giảm thiểu các ô nhiễm môi trường chăn nuôi, tận dụng phế phụ phẩm nông nghiệp cho sản xuất KSH, giảm phát thải khí nhà kính, sử dụng hiệu quả năng lượng tái tạo KSH, và chia sẻ lợi ích năng lượng tái tạo KSH trong cộng đồng. Do đó, bài báo nhằm trình bày những thành tựu chính liên quan đến thúc đẩy sử dụng hiệu quả và bền vững nguồn tài nguyên tái tạo KSH ở ĐBSCL.

2. NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN MÔ HÌNH TÚI Ủ BIOGAS GẮN VỚI CƠ CHẾ PHÁT TRIỂN SẠCH

Cơ chế phát triển sạch (CDM) được thành lập theo Nghị định thư Kyoto của Công ước Liên hiệp quốc về Biến đổi Khí hậu (UNFCCC) là một hệ thống bán các tín chỉ phát thải được tạo ra từ các dự án giảm phát thải khí nhà kính ở các nước đang phát triển (Izumi et al., 2015). Năm 2008, CENRes và Trung tâm nghiên cứu Khoa học Nông nghiệp Quốc tế Nhật Bản (JIRCAS) đã thành lập dự án cơ chế phát triển sạch (CDM – Clean Development Mechanisms) với chủ đề “Dự án phát triển hệ thống KSH đóng góp vào sự phát triển nông thôn ở thành phố Cần Thơ – Farm household biogas project contributing to Rural Development in Can Tho city”. Dự án được thực hiện nhằm thay thế việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch (than, củi) cho hoạt động đun nấu bằng KSH thông qua việc lắp đặt túi ủ biogas BE cho các hộ chăn nuôi gia súc ở ĐBSCL. Dự án CDM đặt mục tiêu chuyển đổi lượng giảm phát thải khí nhà kính sang tín chỉ giảm phát thải carbon (CERS – Certificated Emission Reductions). Tín chỉ carbon này có thể được bán trên thị trường cho các công ty có nhu cầu mua tín chỉ phát thải. Việc thiết lập dự án biogas trên cơ chế CDM gắn liền với hiệu quả kinh tế cho phép nâng cao điều kiện phát triển nông thôn bởi vì các công ty có phát thải khí nhà kính sẽ trả phí để mua CERS và cung cấp quỹ cho dự án để tiếp tục mở rộng chương trình CDM (Matsubara et al., 2016). Dự án CDM tại CTU đã được thẩm định thành công bởi CDM-EB

(Executive Board), UNFCCC vào tháng 8/2012. Các hoạt động lắp đặt túi ủ biogas PE và giám sát sử dụng KSH được thực hiện đến tháng 5/2014. Thông

qua việc triển khai các hoạt động lắp đặt túi ủ và giám sát, dự án đã phát hành thành công tín chỉ giảm phát thải carbon ngày 19/6/2015.



Hình 1. Số lượng túi ủ biogas được lắp đặt (ảnh trái), và vị trí lắp đặt túi ủ biogas PE trên địa bàn các huyện Phong Điền, quận Bình Thủy và quận Cái Răng, thành phố Cần Thơ (ảnh phải)



Hình 2. Mô hình túi ủ biogas lắp đặt cho các hộ gia đình - dự án CDM

Bảng 1. Hiệu quả sử dụng KSH trước và sau khi lắp đặt túi ủ biogas

Thông số	Năng lượng	Đơn vị	Trước	Sau	Chênh lệch
Nhiên liệu	Củi	kg/năm	3090	700	-2390
	LPG		27,3	2,4	-24,9
Chi phí	Củi	USD [†] /năm	67	13	-54
	LPG		45	4	-41
	Tổng cộng		112	17	-95
Khí nhà kính	Củi	tCO ₂ /năm	2,33	0,53	-1,8
	LPG		0,08	0,01	-0,07
	Tổng cộng		2,41	0,54	-1,87

[†]LPG: Gas công nghiệp; [‡]1 USD = 22.550 VND, 31/12/2015

Dự án CDM đặt mục tiêu lắp đặt các túi ủ biogas BE cho các nông hộ tại huyện Phong Điền, quận Bình Thủy và Cái Răng, thành phố Cần Thơ. Các hộ đăng ký tham gia được nhóm chuyên gia của CTU và JIRCAS đến khảo sát trực tiếp để kiểm tra các điều kiện cần thiết cho bố trí hệ thống biogas như chuồng trại, vị trí lắp đặt túi ủ biogas PE, và nguyên liệu (than, củi) được sử dụng trước và sau khi lắp đặt túi ủ PE. Tổng số 1.063 hộ đã đăng ký lắp đặt, tuy nhiên chỉ có 961 ứng cử viên đủ điều kiện lắp đặt theo các tiêu chí dự án CDM (Izumi et al., 2013). Đến tháng 5/2015, dự án đã đào tạo được 26 kỹ thuật

viên lắp đặt túi ủ biogas PE và đã bàn giao 515 túi ủ biogas PE cho các hộ gia đình (Izumi et al., 2016) (Hình 1). Mô hình túi ủ biogas được tài trợ thông qua dự án là túi ủ PE (Polyetylen) với 50% chi phí được hỗ trợ từ dự án và 50% còn lại được đóng góp từ các nông hộ được hưởng lợi trực tiếp (Matsubara et al., 2014). Cấu trúc cơ bản của hệ thống túi ủ biogas PE được triển khai gồm (i) túi phân hủy với 3 lớp PE có đường kính 0,9 m và chiều dài 10 m, (ii) 2 ống nạp nguyên liệu đầu vào và ra có đường kính 10 cm chiều dài 0,9 m, (iii) một túi trữ khí PE (2 lớp) có đường kính 0,8 m và chiều dài 6 m, (iv) van an

toàn để kiểm soát áp suất hệ thống túi ủ khí lượng khí sinh ra nhiều và (v) bếp sử dụng khí biogas thông thường (Hình 2). Hệ thống túi ủ biogas cho phép tải lượng tối đa 200 kg, với sản lượng KSH sinh ra đáp ứng đủ nhu cầu sử dụng cho các hoạt động đun nấu của một gia đình có 3 – 5 thành viên (Vo et al., 2002; Izumi et al., 2015).

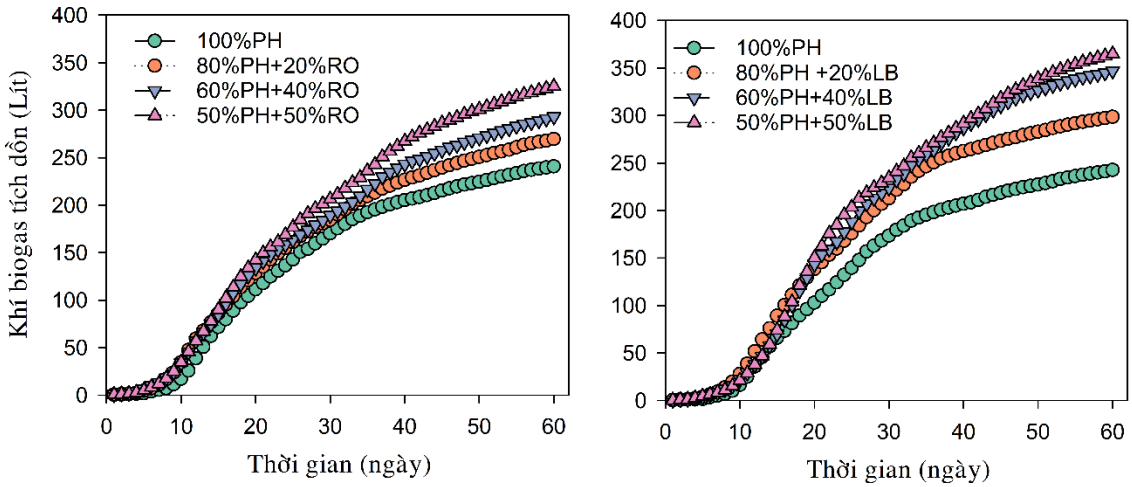
Các hoạt động giám sát hệ thống túi ủ biogas được thực hiện song song với thời gian triển khai dự án. Tỷ lệ hoạt động của các túi ủ biogas sau lắp đặt đạt 95,7% (Izumi et al., 2016). Nhóm nghiên cứu đã đưa ra được bằng chứng về hiệu quả giảm phát thải khí nhà kính từ các công trình KSH được lắp đặt tại các nông hộ. Hiệu quả lượng phát thải trung bình của mỗi hộ vận hành công trình KSH được ước tính khoảng 1,39 tCO₂/năm/hộ, trong khi tổng lượng giảm phát thải khí nhà kính đạt được từ dự án CDM tương ứng là 446 tCO₂/năm (Izumi et al., 2016). Các nông hộ lắp đặt túi ủ biogas đã thay đổi thói quen sử dụng nguyên liệu truyền thống (than, củi, gas công nghiệp - LPG) cho các hoạt động đun nấu bằng biogas. Tỷ lệ các hộ sử dụng hoàn toàn KSH cho nấu ăn trong gia đình đạt 87,9%, tuy nhiên chỉ một số ít các nông hộ vẫn còn duy trì việc sử dụng củi chủ yếu là nấu thức ăn cho gia súc. Hiệu quả sử dụng KSH từ chương trình CDM đã cho phép trung bình năm mỗi nông hộ giảm 2,39 tấn củi (trọng lượng khô) và 24,9 kg gas công nghiệp so với trước khi triển khai lắp đặt túi ủ biogas. Hiệu quả kinh tế từ việc giảm củi đốt và gas công nghiệp sử dụng từ các nông hộ trong chương trình CDM cho phép mỗi nông hộ tiết kiệm 95 USD/năm, trong đó nguồn tiết kiệm từ củi là 54 USD và gas công nghiệp là 41 USD (Izumi et al., 2015) (Bảng 1). Công nghệ KSH được triển khai bởi dự án JIRCAS-CTU đã mang lại hiệu quả trong việc giảm phát thải khí nhà kính, nâng cao nhận thức của người dân theo hướng công nghệ, kỹ thuật và hiệu quả kinh tế, và làm tốt hơn an toàn sinh học, bảo vệ môi trường trong chăn nuôi, thúc đẩy phát triển bền vững và tăng cường sử dụng năng lượng tái tạo từ nguồn tài nguyên chất thải.

3. NGHIÊN CỨU SẢN XUẤT KHÍ SINH HỌC TỪ CÁC NGUỒN THẢI HỮU CƠ Ở ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

ĐBSCL là một vùng sản xuất lúa trọng điểm chiếm 51,5% tổng sản lượng lúa và đóng góp 90% tổng sản lượng xuất khẩu của cả nước, với sản lượng rơm sản xuất hàng năm được ước tính khoảng 26,23 triệu tấn (Nam et al., 2014). Đốt rơm trên đồng ruộng là một lựa chọn ưu tiên để giải quyết dư thừa

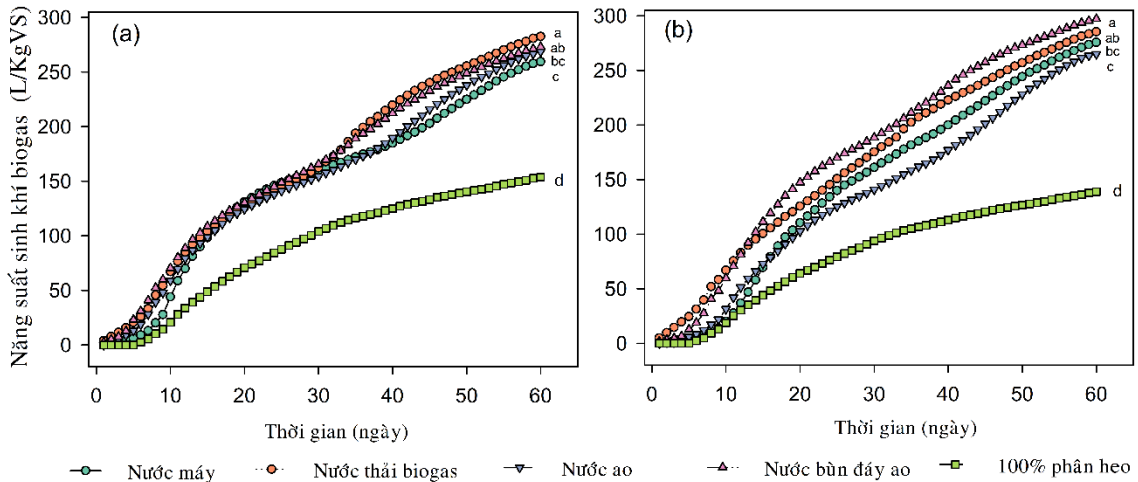
rơm rạ trên đồng và nhanh chóng bắt đầu một vụ mùa mới, trong khi rơm có thể được sử dụng như là một nguồn carbon có giá trị, bổ sung vào công trình KSH để thu hồi hiệu quả nguồn năng lượng tái tạo. Ngoài sự phong phú về sản lượng rơm, lục bình cũng được xem xét như là một nguồn nguyên liệu dồi dào, sẵn có ở hầu hết các vùng nông thôn ở ĐBSCL, có thể được sử dụng nạp bổ sung cho các công trình KSH để làm tăng năng suất sinh khí biogas của các công trình KSH. Ước tính ở ĐBSCL có khoảng 17.000 công trình KSH đã được lắp đặt tại các hộ gia đình nông thôn, với thể tích các công trình KSH biến động từ 6 – 10 m³ (SubProM, 2018). Phần lớn các công trình KSH sử dụng chất thải chăn nuôi heo như là một nguồn nguyên liệu nạp duy nhất. Số lượng heo được nuôi từ 5 con trở lên là yêu cầu tối thiểu để đáp ứng nhu cầu sử dụng KSH của mỗi hộ gia đình (SubProM, 2018). Tuy nhiên, chăn nuôi heo quy mô hộ gia đình có số lượng ít hơn do việc chăn nuôi chỉ mang tính chất thời vụ hoặc tạm thời, và sản xuất biogas từ phân heo thường không đáp ứng đủ KSH cho nhu cầu sử dụng của hộ gia đình, đặc biệt trong giai đoạn tái đàn hoặc dịch bệnh. Tại các thời điểm thiếu hụt nguyên liệu nạp cho các công trình KSH là trở ngại lớn cho việc duy trì hoạt động hiệu quả của mỗi công trình đã lắp đặt, cũng như sự cân nhắc của các hộ gia đình khác có mong muốn đầu tư hệ thống KSH.

Năm 2012, CENRes - CTU hợp tác với Bộ môn Khoa học Sinh học và Bộ môn Kinh tế, Trường Đại học Aarhus, Đan Mạch triển khai dự án sản xuất KSH bền vững từ rơm thải (SubProM) dưới sự tài trợ của tổ chức Danida (Danida Fellowship Center), dự án SubProM được thực hiện nhằm góp phần cải thiện và nâng cao hiệu quả sử dụng KSH ở vùng nông thôn ĐBSCL. Dự án nhằm mục tiêu giới thiệu phương pháp sản xuất KSH đơn giản với chi phí thấp, có khả năng sử dụng rơm hoặc lục bình để sản xuất KSH bền vững và thân thiện với môi trường cho các nông hộ vùng ĐBSCL. Các hoạt động đã triển khai của dự án gồm (i) nghiên cứu sử dụng rơm và lục bình như một nguồn nguyên liệu nạp bổ sung hoặc thay thế chất thải chăn nuôi cho công trình KSH trong giai đoạn thiếu hụt nguyên liệu nạp để duy trì hoặc tăng sản lượng KSH, (ii) phát triển các phương pháp tiên xử lý sinh học đơn giản, chi phí thấp để nâng cao tiềm năng sản xuất KSH từ rơm và lục bình, và (iii) phát triển một mô hình sản xuất KSH bền vững và chi phí phù hợp để đồng phân hủy nguyên liệu chứa tỷ lệ cao của sinh khối rơm hoặc lục bình kết hợp với chất thải chăn nuôi heo.



Hình 3. Đồng phân hủy sinh khối rơm/lục bình kết hợp phân heo nâng cao sản lượng KSH

Ghi chú: nghiên cứu được thực hiện bằng cách phối trộn rơm/lục bình và phân heo ở các tỷ lệ từ 50%, 60% và 80%. Tổng lượng nguyên liệu nạp được áp dụng cho thí nghiệm 45 g VS/L/ngày, vận hành liên tục trong khoảng thời gian 60 ngày; PH, Phân heo; RO, rơm; LB, lục bình.

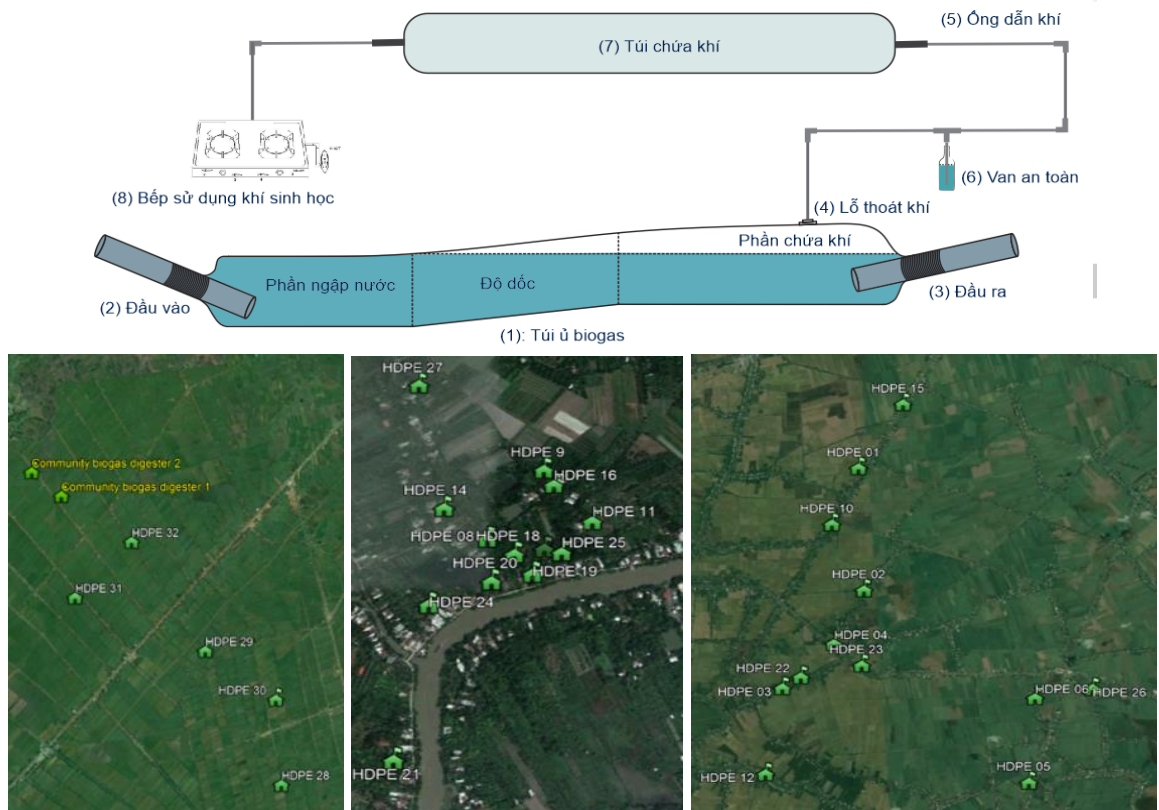


Hình 4. Tiền xử lý sinh khối rơm (a), lục bình (b) đồng phân hủy với phân heo nâng cao sản lượng KSH

Ghi chú: rơm và lục bình được ngâm trong các dung dịch nước máy, nước ao, nước thải biogas và nước bùn đen 5 ngày trước khi được ủ yếm khí. Rơm, lục bình được phối trộn với phân heo ở tỷ lệ 50%:50% với tổng lượng nguyên liệu nạp 45 g VS/L/ngày, vận hành liên tục trong khoảng thời gian 60 ngày.

Nhóm nghiên cứu đã cung cấp các bằng chứng khoa học cho thấy rằng hiệu suất sản xuất KSH tăng lên đáng kể khi rơm và lục bình được sử dụng như nguồn nguyên liệu bổ sung cho các bể phản ứng kỵ khí. Cả hai nguyên liệu nạp rơm và lục bình có tiềm năng sản xuất KSH cao hơn so với sử dụng phân heo như một nguồn nguyên liệu nạp duy nhất (Hình 3). Trong đó, tỷ lệ đồng phân hủy rơm kết hợp với phân heo được đề nghị để đạt hiệu quả cao nhất là

50%:50%, trong khi lục bình được đề nghị ở mức 50:50% và 60%:40% (Ngan et al., 2015). Thử nghiệm ở quy mô nông hộ, nhóm nghiên cứu cho thấy kết quả tương tự (Nam et al., 2015a). Kết quả thử nghiệm cho thấy nuôi heo từ 4 đến 6 con không phải là điều kiện tiên quyết cho sản xuất đủ biogas cho nhu cầu sử dụng của một hộ gia đình – miễn là các nguyên liệu gồm rơm và lục bình sẵn có tại các nông hộ.



Hình 5. Mô hình túi ủ biogas HDPE cải tiến và vị trí lắp đặt 32 túi ủ biogas ở các tỉnh Kiên Giang, Hậu Giang và thành phố Cần Thơ

Thử nghiệm các phương pháp tiên xử lý sinh học rom, và lục bình bằng các phương pháp tiên xử lý sinh học đơn giản đã mang lại hiệu quả tích cực trong việc cải thiện năng suất sinh KSH. Cụ thể, rom và lục bình được ngâm trong các dung dịch: (i) nước máy, (ii) nước ao, (iii) nước thải đầu ra từ hệ thống KSH, và (iv) nước bùn đáy ao (1 kg bùn + 9 lít nước ao) trong 5 ngày trước khi thực hiện ủ yếm khí. Kết quả chứng minh rằng rom được tiên xử lý nước thải biogas và nước bùn đen phối trộn với phân heo (50%rom:50%phân heo) nâng cao sản lượng KSH từ 78 – 84 % so với ủ đơn thuần là phân heo (100%) (Nam et al., 2021) (Hình 4a). Trong khi lục bình được tiên xử lý bằng các dung dịch trên cho hiệu quả sản xuất KSH tăng từ 80 – 107%, đặc biệt là nước bùn đen với hiệu quả cao nhất (Nam và ctv., 2015b) (Hình 4b). Như vậy, phương pháp tiên xử lý sinh học đơn giản ngâm rom hoặc lục bình trong các dung dịch trên, được đề nghị nước thải biogas và nước bùn đen, trong thời gian 5 ngày giúp nâng cao hiệu quả về sản lượng khí và chất lượng KSH. Phương pháp này được cho là thân thiện với môi trường, dễ áp dụng, ít tốn năng lượng so với các

phương pháp được tiên xử lý bằng các biện pháp lý-hóa học khác.

Dựa trên kết quả đạt được từ nhiều thử nghiệm trong điều kiện thí nghiệm và triển khai ở quy mô nông hộ, nhóm nghiên cứu đã phát triển mô hình túi ủ biogas HDPE (High-Density Polyethylene) cải tiến (Hình 5). Túi ủ HDPE cải tiến có tổng thể tích ~7,64m³ được thiết kế từ bạt nhựa chất lượng cao HDPE có độ dày 0,75 mm. Thiết kế đặc biệt của túi ủ cho phép tiếp nhận các nguồn nguyên liệu bổ sung ngoài phân gia súc như rom, lục bình hoặc các loại thực vật khác có thành phần hóa học tương tự. Ưu điểm của hệ thống HDPE cải tiến là độ bền cao, chi phí phù hợp, dễ dàng lắp đặt, vận hành, phù hợp cho cả phân gia súc và thực vật với hiệu suất sinh khí cao. Phần đầu vào được thiết kế ngập hoàn toàn trong nước để hạn chế sự kết dính sinh khối thực vật, và gây nổi vật liệu như các loại túi ủ thông thường – giảm hiệu suất sinh khí của túi ủ. Chi tiết về thông số kỹ thuật và hướng dẫn lắp đặt, và vận hành mô hình có thể tham khảo từ ”Hướng dẫn lắp đặt và vận hành túi ủ biogas loại HDPE cải tiến sử dụng nguyên liệu sinh khối thực vật” – Nam và ctv. (2022). Năm

2018, dự án SubProM đã bàn giao tổng số 32 mô hình túi ủ HDPE cải tiến đã được lắp đặt vận hành thử nghiệm tại các tỉnh Đồng bằng sông Cửu Long (Cần Thơ, Hậu Giang và Kiên Giang) với nguyên liệu nạp là chất thải chăn nuôi heo, 100% rơm/lục bình hoặc sự kết hợp các chất nền với nhau (Hình 5). Tất cả các túi ủ hoạt động hiệu quả với sản lượng khí sinh ra đáp ứng nhu cầu sử dụng biogas của hộ gia đình (<6 thành viên) – liên quan đến chất nền được sử dụng. Khảo sát về chi phí và lợi ích xã hội từ mô hình cho thấy tổng chi phí đầu tư của mô hình ban đầu là 433 USD (~10 triệu VNĐ), trong khi lợi ích thu được từ mô hình là 150 USD/năm (Bảng 2) – với thời gian vận hành hệ thống được ước tính cho 10 năm (Jan et al., 2018).

Bảng 2. Chi phí và lợi ích xã hội của mô hình túi ủ HDPE

Chi phí	Số tiền (USD)*	Lợi ích	Số tiền (USD)
Chi phí đầu tư	413†	LPG	68
Bảo trì	20	Củi	25
		Thời gian	50
		Nước thải	6
		Sức khỏe	18
		Môi trường	83†

† chỉ giá trị hiện tại, các thông số khác là lợi ích trung bình hàng năm. Các lợi ích môi trường (giảm phát thải CO2) đạt được tính trên một vòng đời của túi ủ HDPE; ‡1 USD = 23,116 VND, 31/12/2018.

4. NGHIÊN CỨU ĐƠN GIẢN HÓA MÔ HÌNH TÚI Ủ BIOGAS HDPE CẢI TIẾN THEO HƯỚNG THƯƠNG MẠI HÓA

Sau khi hoàn thành dự án SuProM năm 2018, mặc dù mô hình túi ủ biogas HDPE vận hành khá tốt trên chất nền phân gia súc, lục bình, rơm, bèo và một số loại sinh khối có thành phần lý hóa học tương tự.

Tuy nhiên, thời gian lắp ráp túi HDPE vẫn còn dài - là nguyên nhân tăng chi phí công lắp đặt. Do đó, nghiên cứu và kiểm tra điều kiện vận hành thực tế vẫn được tiếp tục thực hiện theo hướng thương mại hóa sản phẩm túi ủ biogas HDPE của dự án SubProM. Năm 2019, CENRes - CTU và tổ chức phát triển Hà Lan (SNV) đã ký thỏa thuận tài trợ nghiên cứu “tối ưu hóa công nghệ KSH SubProM cho nông hộ phục vụ thương mại hóa”. Mục tiêu dự án là đơn giản hóa quy trình lắp ráp túi ủ để giảm đáng kể chi phí và thời gian lắp đặt hệ thống biogas HDPE. Nhóm nghiên cứu sử dụng kỹ thuật đặc biệt để hàn kết dính HDPE dựa trên các thiết bị được thương mại hóa trên thị trường nhằm cung cấp một thiết kế đơn giản và thời gian hoàn thành khâu lắp ráp hệ thống giảm xuống còn một ngày.

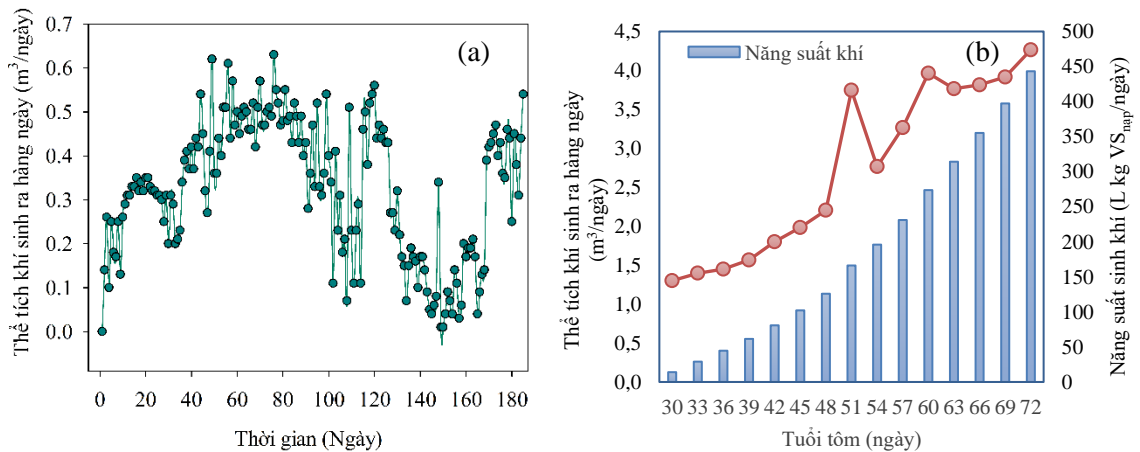
Các phương pháp thử nghiệm hàn bạt nhựa khác nhau được tiến hành để sản xuất túi HDPE dạng ống, bởi vì HDPE thương mại được cung cấp là một tấm phẳng có kích cỡ khác nhau. Độ dày bạt nhựa HDPE được sử dụng trong thiết kế biến động từ 0,75 – 1,00 mm với đường kính 0,92 m. Hơn nữa, túi trữ KSH thông thường được làm từ 2 lớp vật liệu PE có tuổi thọ ngắn và cần được bảo trì thường xuyên. Trong thử nghiệm này, nhóm nghiên cứu đã phát triển kỹ thuật hàn ghép khổ bạt HDPE 0,5 mm để cải tiến lớp ngoài cùng của túi trữ khí. Các mối hàn và điều kiện kín khí của túi ủ và túi trữ khí được thử nghiệm và kiểm định không khí nén và thời gian duy trì áp suất bởi Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng Cần Thơ, để xác định áp suất làm việc và áp suất hoạt động hiệu quả cho túi ủ. Sản phẩm túi ủ HDPE hoàn chỉnh (thương mại hóa) có thể được xếp gọn và dễ dàng vận chuyển đến địa điểm lắp đặt. Thông số kỹ thuật của túi ủ HDPE cải tiến được thể hiện qua Bảng 3.

Bảng 3. Các thông số kỹ thuật của túi phân hủy và túi trữ khí

Thông số kỹ thuật	Đơn vị	Túi phân hủy	Túi trữ khí
HDPE	mm	0,75	0,5
Quy cách mỗi tấm bạt (dài x rộng)	m	8 x 3	6 x 2,5
Quy cách sau khi hàn bạt (dài x rộng)	m	7,8 x 1,45	5,7 x 1,2
Đường kính của túi	m	0,92	0,76
Chiều dài túi sau khi lắp	m	6,75	5,4
Tổng thể tích của túi	m ³	4,82	2,45
Thể tích chứa dung dịch phân hủy	m ³	3,65	-
Thể tích chứa khí trong túi phân hủy	m ³	1,18	-
Áp suất tối đa	cmH ₂ O	30	45
Áp suất làm việc	cmH ₂ O	20	30



Hình 6. Mô hình túi ủ biogas HDPE nạp nguyên liệu thực vật kết hợp với chất thải chăn nuôi gia súc (trái) và chất thải nuôi tôm siêu thâm canh (phải)



Hình 7. Sản lượng khí biogas thử nghiệm trên túi ủ HDPE trên nguyên liệu nạp đồng phân hủy chất thải chăn nuôi và phế phụ phẩm có khả năng phân hủy sinh học/lục bình (a) và xử lý chất thải tôm siêu thâm canh (b)

Nhóm nghiên cứu đã đánh giá khả năng vận hành của mô hình túi ủ biogas HDPE thương mại hóa trên chất thải (i) chăn nuôi heo, gà kết hợp với chất thải hữu cơ hộ gia đình (phụ phẩm rau, củ, quả, và vỏ trái cây) và lục bình (Hình 6a) và (ii) chất thải ao nuôi tôm siêu thâm canh (Hình 6b). Kết quả nghiên cứu thử nghiệm cho thấy túi ủ biogas HDPE hoạt động hiệu quả trên nền chất thải chăn nuôi kết hợp với các chất thải hữu cơ có khả năng phân hủy sinh học với năng suất sinh khí đạt 875 L/kg VS_{nap}/ngày (Hình 7a) với thành phần khí CH₄ được duy trì lớn hơn 54% (vận hành liên tục trong thời gian 180 ngày). Trong khi vận hành với 100% chất thải tôm có hiệu suất sinh khí đạt 450 L/kg VS_{nap}/ngày (Hình 7b), nồng độ khí CH₄ trong giai đoạn ổn định luôn lớn hơn 55% (80 ngày vận hành) (SNV, 2019a). Kết quả thử nghiệm cho thấy, túi ủ biogas HDPE vận hành hiệu quả trên nguyên liệu nạp chất thải chăn nuôi kết hợp với phế phụ phẩm hộ gia đình, lục bình và chất thải chăn nuôi tôm siêu thâm canh. Sự thành

công về mặt thiết kế với đơn giản hóa chi phí và thời gian lắp đặt cho phép sản phẩm túi ủ HDPE có thể được thương mại hóa trên thị trường và mở rộng mạng lưới người dùng rộng rãi ở khu vực nông thôn trong thời gian tới.

5. MÔ HÌNH CHIA SẺ BIOGAS CỘNG ĐỒNG

ĐBSCL có nhiều trại nuôi heo với quy mô đàn >30 con thường được xử lý chất thải bằng các công trình KSH và thu hồi năng lượng tái tạo. Tuy nhiên, với quy mô đàn lớn sản lượng khí sản xuất hàng ngày nhiều hơn nhu cầu sử dụng KSH của một gia đình. KSH thừa được các nhiều hộ xã bỏ trực tiếp vào môi trường, không chỉ gây lãng phí mà còn cho thấy sử dụng năng lượng kém hiệu quả - là nguyên nhân gây ra phát thải khí nhà kính. Vì vậy, CENRES - CTU đã phát triển mô hình chia sẻ biogas cộng đồng cho các hộ xung quanh. Dự án được triển khai trong khuôn khổ hợp tác giữa CTU và nhóm Nghiên cứu trường Đại học Kyoto, và Đại học Ibaraki dưới

sự tài trợ một phần chi phí từ dự án JASTIP (Japan-ASEAN Science, Technology and Innovation Platform) và kinh phí nghiên cứu khoa học của CTU, để phát triển mô hình xử lý chất thải chăn nuôi và sử dụng bền vững năng lượng tái tạo KSH trong cộng đồng. Mô hình này cho phép các hộ kết nối và sử dụng hiệu quả năng lượng tái tạo để thay thế nguyên liệu đun nấu truyền thống. Mục tiêu của dự án là đánh giá khả năng vận hành ổn định và sự bền vững của mô hình trong hệ thống chia sẻ KSH.

Mô hình chia sẻ biogas cộng đồng được triển khai thực hiện từ năm 2019 – 2020 tại xã Thạnh Thắng, huyện Vĩnh Thạnh, thành phố Cần Thơ với tổng số lượng đàn heo trong thời gian triển khai dự án biến động từ 26 – 52 con. Mô hình túi ủ biogas được thực hiện là túi ủ biogas HDPE cải tiến của dự án SubProM với tổng thể tích phân hủy là ~17 m³. Chất thải biogas được nạp vào túi ủ hàng ngày qua hoạt động vệ sinh chuồng trại với tổng lượng nước thải và phân dao động từ 0,6 – 1,0 m³/ngày, với tổng lượng chất khô nạp được ước tính là 6,85 – 11,42 kg/ngày. Mô hình túi ủ biogas được chia sẻ KSH cho 5 người dùng (bao gồm chủ hộ) (Hình 8).

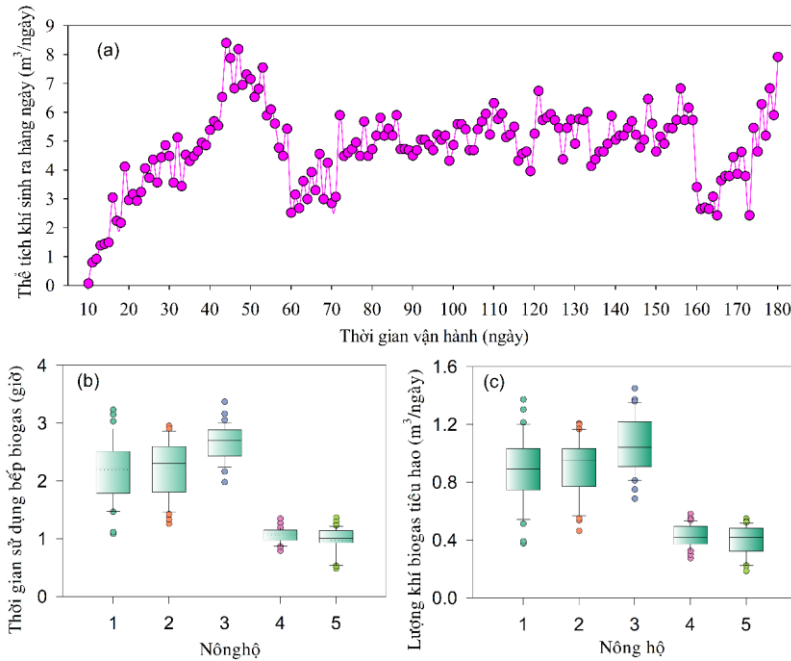
Hệ thống chia sẻ KSH cộng đồng cung cấp đủ nhu cầu sử dụng KSH cho 5 hộ gia đình (Hình 9a), với thời gian sử dụng khí trung bình là 1,87 giờ/hộ/ngày (Hình 9b) và thể tích khí tiêu hao tương ứng 0,74 m³/hộ/ngày (Hình 9c). Hiệu quả sử dụng của 5 hộ gia đình chiếm 78,65% tổng lượng khí sản xuất hàng ngày, với sản lượng khí còn lại có thể đủ chia sẻ thêm cho một hộ. Hệ thống chia sẻ KSH cho phép những hộ chăn nuôi heo giảm 11,7 tấn CO₂eq/năm (~69,2%) tổng lượng phát thải khí nhà kính trực tiếp từ một công trình KSH với quy mô chăn nuôi heo 26 - 52 con/trại nuôi (Nam và ctv., 2020). Hơn nữa, lượng KSH tiêu hao từ hệ thống kết hợp với khối lượng nhiên liệu đốt (củi đốt và LPG) tiết kiệm được cho các hoạt động đun nấu giảm 12,9 tấn CO₂eq/năm (~69,7%) cho 5 nông hộ sử dụng KSH (Nam và ctv., 2020). Tổng chi phí tiết kiệm được cho mỗi nông hộ KSH là 1,04 triệu VNĐ/hộ/năm (Bảng 4). Hiệu quả từ mô hình chia sẻ KSH cộng đồng cho phép nông hộ mở rộng quy mô chăn nuôi mà không gây tác động tiêu cực đến môi trường. Nhóm nghiên cứu đề xuất xây dựng cơ chế thu phí để phục vụ cho các khoản liên quan đến vận hành và bảo trì hệ thống để mô hình này hoạt động hiệu quả và lan tỏa đến nhiều địa phương khác.



Hình 8. Mô hình chia sẻ KSH biogas cộng đồng

Bảng 4. Hiệu quả sử dụng mô hình chia sẻ KSH biogas cộng đồng

Thông số	Năng lượng	Đơn vị	Trước	Sau	Chênh lệch
Nhiên liệu	Củi	kg/năm	945	189	-747
	LPG		276	60	-216
Chi phí	Củi	ngàn đồng	898	188	-710
	LPG		5.750	1.250	-4.500
	Tổng cộng		6.648	1.438	-5.210
Khí nhà kính	Củi	tCO ₂ eq/năm	0,81	0,17	-0,64
	LPG		0,75	0,18	-0,57
	KSH		16,9	5,2	-11,7
	Tổng cộng		18,5	5,6	-12,9



Hình 9. Sản lượng khí (a), thời gian sử dụng bếp trung bình (b) và lượng khí biogas tiêu hao của mỗi gia đình (c)

6. HIỆU QUẢ XỬ LÝ CHẤT THẢI NUÔI TÔM SIÊU THÂM CANH BẰNG CÔNG NGHỆ BIOGAS

Mở rộng sản xuất tôm siêu thâm canh gây nhiều áp lực để quản lý môi trường bền vững ở một số tỉnh ven biển ở ĐBSCL. Quá trình nuôi tôm siêu thâm canh tiêu thụ một lượng lớn nước do mật độ thả tôm cao và tần suất trao đổi nước hàng ngày lớn. Do đó, lượng nước thải hàng ngày phát sinh từ các trang trại nuôi tôm là khá lớn. Xử lý nước thải nuôi tôm và thu hồi năng lượng tái tạo là một trong những chủ đề được chú ý gần đây để giảm áp lực môi trường và nâng cao tính bền vững cho ngành nuôi trồng thủy sản. Mặc dù, công nghệ biogas được áp dụng rộng rãi trong xử lý chất thải từ chăn nuôi gia súc, gia cầm và các chất hữu cơ có khả năng phân hủy sinh học.

Tuy nhiên, việc áp dụng công nghệ biogas cho xử lý chất thải tôm siêu thâm canh vẫn còn ít được chú ý do nguồn carbon thấp trong khi dinh dưỡng cao (Srisertpol et al., 2012; Sirvichai & Chavalparit, 2020); hơn nữa, độ mặn cao cũng làm một trong những thách thức cho việc sản xuất hiệu quả KSH (Cheng et al., 2007; Zhang et al., 2020). Để cân bằng tỷ số C/N cho nước thải tôm siêu thâm canh, các nguồn sinh khối thực vật có thể được bổ sung bằng cách phối trộn, trong khi xử lý độ mặn yêu cầu công nghệ và kỹ thuật cao hơn rất nhiều. Trong nỗ lực nâng cao hiệu quả sản xuất KSH, CENRes được tài trợ nghiên cứu từ Yuko-Keiso Co., Ltd, Japan để cải thiện năng suất KSH bằng phương pháp đồng phân hủy từ các nguồn vật liệu có khả năng phân hủy sinh học sẵn có tại các địa phương gồm rơm, bã mía, sả (sau khi hấp để tách chiết tinh dầu) và bã cơm dừa.

Bảng 5. Kết quả thử nghiệm đồng phân hủy phế phụ phẩm và bùn thải hệ thống các ao nuôi tôm siêu thâm canh để sản xuất KSH

Thông số	Đơn vị	Nước thải	Rơm [†]	Sả [†]	Bã mía [†]	Bã cơm dừa [†]
pH	-	6,84	6,73	6,69	6,69	6,65
Eh	mV	-229	-280	-296	-278	-221
Năng suất biogas	L/kg VS _{nap}	82,48	104,3	106,6	126,8	16,40
Năng suất CH ₄	L/kg VS _{nap}	25,50	46,25	47,18	52,96	2,12
CH ₄	%	30,91	44,36	44,27	41,77	12,92
CO ₂	%	29,83	31,58	33,47	37,61	43,07
H ₂ S	ppm	7.811	7.026	6.499	10.203	7.787

[†] phối trộn vật liệu với nước thải hệ thống nuôi tôm siêu thâm canh ở tỷ lệ C/N = 25

Các nguyên liệu trên được phối trộn với nước bùn thải ao nuôi tôm đã qua lắng ở tỷ lệ C/N = 25 - được đề nghị tối ưu cho quá trình sản xuất KSH. Kết quả nghiên cứu cho thấy đồng phân hủy các vật liệu sinh khối có khả năng phân hủy sinh học kết hợp với nước thải nuôi tôm siêu thâm canh là phù hợp hơn về hiệu suất và chất lượng KSH. Trong đó, bã mía cho thấy năng suất sinh khí cao nhất với tỷ lệ 53% cao hơn so với xử lý đơn thuần bằng chất thải ao nuôi tôm siêu thâm, trong khi bổ sung rơm và sả nâng cao từ 26 - 29% sản lượng KSH (Bảng 5) (Nam et al., 2022). Đồng phân hủy bã cơm dừa và nước thải nuôi tôm siêu thâm canh không phù hợp để sản xuất KSH, mặc dù tỷ số C/N được điều chỉnh về tỷ lệ tối ưu. Nghiên cứu cho phép nâng cao hiệu suất sản xuất KSH đáng kể từ việc đồng phân hủy các nguồn chất thải và phế phụ phẩm. Tuy nhiên, nồng độ H₂S trong thành phần KSH khá cao, cần loại bỏ trước khi sử dụng để nâng cao hiệu suất sử dụng KSH.

7. HIỆU QUẢ XỬ LÝ CHẤT THẢI NUÔI TÔM SIÊU THÂM CANH BẰNG CÔNG NGHỆ BIOGAS

Hiện nay, các sản phẩm bếp sử dụng KSH khá đa dạng, từ các loại tự chế, cải tiến đến các sản phẩm được thương mại hóa trên thị trường. Tuy nhiên, các sản phẩm này hầu hết đều đòi hỏi áp suất khí biogas được duy trì ở mức khá cao (>10 cmH₂O) để cháy tốt (SNV, 2019b). Hơn nữa, thành phần KSH có nguồn gốc từ chất thải thường chứa H₂S ở nồng độ cao (~2.000 ppm), sản phẩm khí cháy vẫn còn mùi khó chịu, và hiệu suất đốt kém. Với mục tiêu (i) cải thiện hiệu suất đốt của bếp biogas sử dụng được khi áp suất ở mức thấp, khí cháy không gây mùi và không khói, (ii) đồng thời tích hợp các phụ kiện vào

bên trong bếp, CENRes được tài trợ từ tổ chức phát triển Hà Lan (SNV) để phát triển bếp biogas cải tiến đáp ứng được các mục tiêu trên. Loại bếp biogas cải tiến được giới thiệu có khả năng phối trộn hỗn hợp khí biogas và không khí thông qua một quạt thổi tăng cường giúp nâng cao hiệu suất đốt và hạn chế gần như hoàn toàn mùi từ khí biogas ở mức nồng độ khí H₂S < 20.000 ppm. Ngoài ra, bếp cũng được thay đổi đầu đốt kim loại thông thường thành đầu đốt ceramic có độ bền và hiệu suất đốt tốt hơn. Một khả năng vượt trội nữa của bếp là vẫn hoạt động tốt trong điều kiện áp suất khí biogas rất thấp, trong khi các loại bếp thông thường không thể hoạt động.

Cấu tạo bếp biogas hồng ngoại gồm 6 bộ phận chính (i) khung bếp có kích thước 75 x 43 x 14 cm, bề mặt khung bếp được làm bằng kính cường lực với độ dày 4 mm - tiện lợi trong khâu vệ sinh so với các loại bếp thông thường được làm bằng kim loại, dễ bị ăn mòn; (ii) bộ phận đánh lửa tự động 2 đầu kim tia điện được tích hợp vào bên trong bếp để thay thế cho các loại bếp biogas thông thường không có hệ thống đánh lửa tự động; (iii) đầu đốt ceramic với ngọn lửa cháy hồng ngoại, thay thế cho các đầu đốt thông thường được làm từ hợp kim đồng dễ bị gỉ và ăn mòn, thời gian sử dụng ngắn; (iv) quạt gió phối trộn không khí giúp tăng cường khả năng đốt cháy của khí biogas, loại quạt gió sử dụng pin 1,2A hoặc nguồn điện 12V, công suất hoạt động thấp với 21,6W; (v) bộ phận hòa khí với chức năng phối trộn không khí và khí biogas về nồng độ thích hợp, khí được dẫn truyền đến đầu đốt ceramic cháy ngọn lửa hồng ngoại; (vi) van điều chỉnh với chức năng điều hòa lưu lượng KSH dẫn truyền đến đầu đốt với các cấp độ lửa cháy khác nhau (Hình 11).



Hình 11. Bếp biogas hồng ngoại cải tiến; hình bên trái đốt biogas thông thường; hình bên phải đốt biogas hồng ngoại

Hiệu quả của bếp biogas hồng ngoại cải tiến được thử nghiệm trên 10 nông hộ với nguyên liệu nạp cho các công trình KSH gồm (i) chất thải nuôi tôm siêu thâm canh (1 hộ); (ii) chất thải chăn nuôi heo (6 hộ); (iii) chất thải chăn nuôi bò (1 hộ); (iv)

hỗn hợp gồm sinh khối lục bình kết hợp, chất thải hữu cơ gia đình kết hợp chất thải chăn nuôi heo và gà (1 hộ); và (v) lục bình kết hợp chất thải chăn nuôi heo (1 hộ). Kết quả nghiên cứu cho thấy thời gian sử dụng KSH trung bình của mỗi hộ là 1,35

giờ/ngày (0,5 – 3,0 giờ/ngày), tần suất sử dụng bếp biogas dao động từ 2-5 lần/ngày. Các nông hộ trải nghiệm sử dụng bếp hài lòng với thiết kế và hiệu quả sử dụng nhiệt độ cao hơn so với các bếp thông thường cháy với ngọn lửa xanh, thời gian đun nấu rút ngắn từ 50 – 66,7% so với các loại bếp thông thường được sử dụng. Áp suất hoạt động hiệu quả của bếp > 0,45 cm H₂O trong khi các loại bếp thông thường yêu cầu áp suất >10 cm để duy trì hiệu quả cháy (SNV, 2019b).

8. KẾT LUẬN

Bài báo đã tổng hợp về một số nghiên cứu của CENRes, CTU trong nỗ lực xử lý môi trường trong chăn nuôi/thủy sản và thúc đẩy việc sử dụng năng lượng tái tạo KSH ở ĐBSCL trong hơn một thập kỷ qua. Qua chương trình nghiên cứu trên cơ chế phát triển sạch, CENRes đã chuyển giao 515 tủ ủ PE cho các nông hộ ở Cần Thơ, chương trình nghiên cứu đã đạt được tín chỉ giảm phát thải carbon (446 tCO₂/năm) được phát hành vào tháng 5/2016. Bên cạnh đó, mô hình biogas HDPE với thiết kế đặc biệt để xử lý chất thải chăn nuôi, thực vật hoặc đồng

phân hủy nâng cao hiệu suất sinh khí đã được bàn giao cho 32 hộ ở Cần Thơ, Hậu Giang và Kiên Giang. Mô hình này đã được đơn giản hóa về kỹ thuật theo hướng thương mại hóa. Ngoài ra, mô hình xử lý khí biogas thừa bằng cách chia sẻ cho cộng đồng lân cận đã giúp giảm thải 12,9 tấn CO₂eq/năm. Sự phối trộn các nguồn nguyên liệu khác nhau để có hiệu suất sinh khí tối ưu cũng được nghiên cứu thực hiện như phối trộn giữa bùn thải nuôi tôm siêu thâm canh với bã mía, rơm, lá sả đã ly trích tinh dầu giúp nâng cao hiệu suất sinh khí biogas (26 - 53%). Nhóm nghiên cứu cũng đã phát triển bếp biogas hồng ngoại cải tiến sử dụng được áp suất thấp (0,45 cmH₂O), tiết kiệm biogas, giảm thời gian nấu và sản phẩm khí cháy không mùi hôi. Định hướng trong thời gian tới, trong lĩnh vực nghiên cứu về KSH, CENRes sẽ (i) nghiên cứu tối ưu hóa quá trình xử lý tạo KSH với các nguồn chất thải hữu cơ khác nhau ở Đồng bằng sông Cửu Long và (ii) nghiên cứu sử dụng/chuyển đổi năng lượng KSH hiệu quả, đặc biệt là chuyển đổi thành điện năng phục vụ cho sản xuất tại chỗ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Abdeshahian, P., Lim, J. S., Ho, W. S., Hashim, H., & Lee, C. T. (2016). Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. *Renew Sustain Energy Rev*, 60, 714–23.
- Akkarawatkhoosith, N., Kaewchada, A., & Jaree, A. (2019). High-throughput CO₂ capture for biogas purification using monoethanolamine in a microtube contactor. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 98, 113-123.
- Bhore, S. J. (2016). Paris agreement on climate change: a booster to enable sustainable global development and beyond. *Int J Environ Res Public Health*, 13, 1134.
- Chen, Y., Cheng, J. J., & Creamer, K. S. (2007). Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresour Technol*, 99, 4044–4064.
- Izumi, T., Matsubara, E., & Izumi, Y. (2013). Registration of clean development mechanism project in Vietnam. *Water, land and Environment Engineering*, 81(3), 33- 36 (in Japanese).
- Izumi, T., Matsubara, E., Dung, D. T., Ngan, N. V. C., Chiem, N. H & Yoshiro, H. (2016). Reduction of Greenhouse Gas Emissions in Vietnam through Introduction of a Proper Technical Support System for Domestic Biogas Digesters. *Journal of Sustainable Development*, 9(3), 224 – 235.
- Izumi, T., Yoshir, H., Matsubara, E., Dung, D. T., Minh, L. T., & Chiem, N. H. (2015). Effect of Appropriate Technology Introduction to Farm Households in Vietnam for GHG Emission Reduction. *Journal of Sustainable Development*, 8(8), 147 - 158.
- Jan, B., Truc, N. T.T., & Nam, T. S. (2018). A social Cost-Benefit Analysis of Biogas Technologies using Rice straw and Water Hyacinths as Feedstock. *International Energy Journal*, 18, 311 – 320.
- Khaled, O., Mohammad, A. A., Tabbi, W., Khaled, E., Enas, T. S., Hussein, M. M., & Olabi, A.G. (2022). Biogas role in achievement of the sustainable development goals: Evaluation, Challenges, and Guidelines, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 131, 104207.
- Matsubara, E., Izumi, T., Nguyen, H. C., & Nguyen, H. T. (2014). Emission Reduction and Financial Feasibility Evaluation of a Household Biogas CDM Project in Vietnam. *Irrigation, Drainage and Rural Engineering Journal*, 294, 55-64 (in Japanese).
- Matsubara, E., Izumi, T., Nguyen, H. C., Trung, N. H. (2016). *Emission Reduction and Financial Feasibility Evaluation of a Household Biogas CDM project in Vietnam*. JIRCAS Working Report No.84, 35 – 46.
- Mishra, A., Kumar, M., Bolan, N.S., Kapley, A., Kumar, R., & Singh, R. (2021). Multidimensional approaches of biogas production and up-gradation: opportunities and challenges. *Bioresour Technol.*, 338, 125514.

- Nam, T. S., Như, N. T. H., Chiêm, N. H., Thanh, N. T., Thái, T. T., Ngân, N. V. C., Việt, L. H., & Kjeld, I. (2014). Estimated quantity of rice straw and its use in some provinces in the Mekong Delta Region. *Journal of Science and Technology*, 52(3A), 316 – 322.
- Nam, T. S., Thảo, H. V., Ngân, N. V. C., & Chiêm, N. H. (2022). *Hướng dẫn lắp đặt và vận hành túi ủ biogas loại HDPE cải tiến sử dụng nguyên liệu sinh khối thực vật*. Nhà Xuất bản Nông nghiệp.
- Nam, T. S., Chi, N. P., Chiêm, N. H., Việt, L. H., Ngân, N. V. C., & Kjeld, I. (2015b). Ảnh hưởng của các phương pháp tiền xử lý sinh học lục bình (*Eichhornia Crassipes*) lên khả năng sinh biogas trong phương pháp ủ yếm khí theo mẻ có phối trộn phân heo. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, Số chuyên đề: Môi trường và Biến đổi khí hậu*, 102-110.
- Nam, T. S., Thao, H. V., Ngan, N. V. C., & Kjeld, I. (2021). Bio-pretreatment Enhances Biogas Production from Co-digestion of Rice Straw and Pig Manure. *International Energy Journal* 21, 457 – 466.
- Nam, T. S., Thảo, H. V., Khánh, H. C., Ngân, N. V. C., Chiêm, N. H., Việt, L., & Kjeld I. (2015a). Đánh giá khả năng sử dụng rơm và lục bình trong ủ yếm khí bán liên tục - ứng dụng trên túi ủ biogas Polyethylen với quy mô nông hộ. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 36, 27 – 35.
- Nam, T. S., Vĩnh, V. T., Chiêm, N. H., Ngân, N. V. C., N. H., Việt, L., & Kjeld I. (2014). Sử dụng rơm là nguyên liệu bổ sung nâng cao năng suất sản xuất khí sinh học. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*, 15, 65 – 73.
- Nam, T.S., Thảo, H. V., Khánh, H. C., Diễm, H. T., & Danh, D. T. (2020). Xây dựng mô hình biogas xử lý chất thải chăn nuôi heo và cung cấp năng lượng tái tạo khí sinh học cho cộng đồng. *Tạp chí Khoa học Đại học Đồng Tháp*, 10(3), 64-76.
- Ngan, N. V. C., Nam, T. S., Chiem, N. H., Viet, L. H., & Kjeld, I. (2015). Effects of C/N ratios on anaerobic co-digestion of pig manure and local biomass in the Mekong Delta. *Journal of Science and Technology*, 53(3), 223-228.
- Ngan, N. V. C., Nam, T. S., Thao, H. V., Francis, M. S. C., Monet, C. M., Hung, D. V & Cuong, D. M., & Hung, N. V. (2020). Anaerobic Digestion of Rice Straw for Biogas Production. In: Gummert, M., Hung, N., Chivenge, P., Douthwaite, B. (eds) *Sustainable Rice Straw Management* (pp. 1 - 192). Springer, Cham.
- Rabaia, M. K. H., Abdelkareem, M. A., Sayed, E. T., Elsaid, K., Chae, K. J., Wilberforce, T., & Olabi, A. G. (2021). Environmental impacts of solar energy systems: A review. *Sci. Total Environ.*, 754, 141989.
- Sayed, E. T., Wilberforce, T., Elsaid, K., Rabaia, M. K. H., Abdelkareem, M. A., Chae, K. J., & Olabi, A. G. (2021). A critical review on environmental impacts of renewable energy systems and mitigation strategies: wind, hydro, biomass and geothermal. *Sci. Total Environ.*, 766, 144505.
- SNV. (2019a). *Báo cáo tổng kết tối ưu hóa công nghệ khí sinh học SubProM cho nông hộ phục vụ thương mại hóa*. Tổ chức phát triển Hà Lan, Ba Đình, Hà Nội.
- SNV. (2019b). *Báo cáo tổng kết thử nghiệm dự án Cải thiện bếp khí sinh học có hiệu suất đốt cao, sử dụng được khí áp suất thấp và khí đốt không khói và không mùi hôi*. Tổ chức phát triển Hà Lan, Ba Đình, Hà Nội.
- Srisertpol, J., Srinakorn, P., Kheawnak, A., & Chamniprasart, K. (2012). Estimation of Biogas Production from Shrimp Pond Sediment Using the Artificial Intelligence. *Applied Mechanics and Materials*, 260–261, 695–700.
- Sirvichai, P., & Chavalparit, O. (2020). Co-digestion of modified tapioca starch sludge and shrimp pond sediment as a method to improve system stability and biogas production. *ScienceAsia*, 46, 1-9.
- SubProM. (2018). *Báo cáo kết thúc dự án sản xuất bền vững khí sinh học từ rơm thải*. Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ.
- Tewelde, G. B., Rahwa, G. T., Grmanesh, A. Desta., & Lemlem, S. M. (2017). Biogas Plant Distribution for Rural Household Sustainable Energy Supply in Africa, *Energy and Policy Research*, 4(1), 10-20.
- Vo, L., Watanabe, T., Tran, T. P., & Ly, T. L. K. (2002). *A Case Study: Introduction of Low-Cost Biogas Digester to Small-Scale Farming Systems*. JIRCAS Working Report, No. 26, 65-72.
- 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, 173–178.
- Zhenmin, L., & Espinosa, P. (2019). Tackling climate change to accelerate sustainable development. *Nat Clim Change*, 9, 494-496.