



Original Article

Evaluate Swine Wastewater Digestate for Nutrient Recovery

Tran Thi To Uyen^{1,2}, Nguyen Trong Tin^{1,2}, Tran Thi Minh Hang^{1,2,*},
Nguyen Quoc Dung³, Nguyen Manh Khai^{1,2}

¹*Faculty of Environmental Sciences, VNU University of Science,
334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*

²*VNU Key Laboratory of Green Environment, Technology and Waste Utilization (GreenLab),
VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*

³*Thai Nguyen University of Education,
20 Luong Ngoc Quyen, Phan Dinh Phung, Thai Nguyen, Vietnam*

Received 08th August 2025

Revised 15th September 2025; Accepted 30th September 2025

Abstract: Swine wastewater is one of the environmental challenges due to the high flow rate and the high concentrations of pollutants, especially nitrogen (N) and phosphorus (P). The quality of swine wastewater after biogas treatment was assessed at farms in Hung Yen, Hanoi, and Bac Ninh. The results indicate that certain output water indicators contained concentrations exceeding limit values in national discharge standards (QCVN 62 - 2025, column B), even though the wastewater has been treated using a biogas tank system. The wastewater remains odorous, is quite turbid, and has a pH between 7.14 and 8.81. In comparison to QCVN 62-2025, the wastewater's values for organic matter, nutrients (COD, TSS, NH_4^+ , PO_4^{3-}) exceed the permitted standard levels: COD (639 - 5,326 mg/L); TSS (340 - 3,200 mg/L), NH_4^+ (105 - 785 mg/L) and PO_4^{3-} (30.6 - 187.65 mg/L). The study proposes some secondary treatment techniques for post-digestion pig effluent. The principal aim is to implement a closed-loop treatment system that enables the recovery of nutrients and improves the overall quality of the released water.

Keywords: Swine wastewater, characteristic, nutrient.

* Corresponding author.

E-mail address: hangttm@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5416>

Đặc tính nước thải chăn nuôi lợn sau bể biogas - tiềm năng thu hồi chất dinh dưỡng

Trần Thị Tố Uyên^{1,2}, Nguyễn Trọng Tín^{1,2}, Trần Thị Minh Hằng^{1,2,*},
Nguyễn Quốc Dũng³, Nguyễn Mạnh Khải^{1,2}

¹Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

²Phòng thí nghiệm Trọng điểm Công nghệ môi trường xanh và tái chế chất thải,
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

³Trường Đại học Sư phạm, Đại học Thái Nguyên,
20 Lương Ngọc Quyến, Phan Đình Phùng, Thái Nguyên, Việt Nam

Nhận ngày 08 tháng 8 năm 2025

Chỉnh sửa ngày 15 tháng 9 năm 2025; Chấp nhận đăng ngày 30 tháng 9 năm 2025

Tóm tắt: Nước thải chăn nuôi lợn là một trong những thách thức lớn về vấn đề môi trường do phát thải với lưu lượng lớn và chứa hàm lượng cao các chất ô nhiễm, đặc biệt là chất dinh dưỡng Nitơ (N) và Photpho. Chất lượng nước thải chăn nuôi lợn sau khi xử lý khí sinh học (biogas) đã được đánh giá tại các trang trại ở Hưng Yên, Hà Nội và Bắc Ninh. Kết quả phân tích đặc tính của nước thải cho thấy, mặc dù hệ thống biogas đã được áp dụng tại các trang trại và hộ gia đình, nhưng nhiều chỉ tiêu của nước đầu ra chưa đạt QCVN 62-2025/BTNMT đối với nước thải chăn nuôi. Về cảm quan, nước thải vẫn còn có mùi hôi, độ đục cao, pH nằm trong khoảng 7,14 - 8,81. Các thông số về chất hữu cơ, dinh dưỡng và vi sinh vật (COD, TSS, NH_4^+ , PO_4^{3-}) của nước thải đều vượt ngưỡng quy chuẩn cho phép so với QCVN 62 - 2025 tương ứng là COD (639 - 5326 mg/L); TSS (340 - 3200 mg/L), NH_4^+ (105 - 785 mg/L) và PO_4^{3-} (30,6 - 187,65 mg/L). Trên cơ sở kết quả phân tích đặc tính nước thải chăn nuôi lợn sau biogas, một số phương pháp xử lý bậc 2 được nghiên cứu hướng tới xây dựng mô hình xử lý tuần hoàn, nhằm tận thu nguồn chất dinh dưỡng có trong nước thải và nâng cao chất lượng nước đầu ra.

Từ khóa: Nước thải chăn nuôi, đặc tính, chất dinh dưỡng, nitơ, photpho, thu hồi.

1. Tổng quan

Trong những năm gần đây, ngành chăn nuôi đang phát triển rất mạnh mẽ tại Việt Nam cũng như trên thế giới. Ngành chăn nuôi có vai trò quan trọng trong việc cung cấp nhu yếu phẩm cho con người. Đây không chỉ là một nguồn cung

cấp thực phẩm mà còn là một nguồn tạo cơ hội việc làm, tăng thu nhập cho người dân đặc biệt là những người dân tại các vùng nông thôn (Báo cáo thống kê Việt Nam, 2023). Nhiều trang trại lợn ngày càng được xây dựng và mở rộng trong các năm gần đây để có thể đáp ứng được nhu cầu thị trường tiêu thụ thịt lợn. Với sự gia

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: hangttm@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5416>

tăng của các trang trại nhỏ, vừa và lớn, điều này cũng dẫn tới mối nguy hại với môi trường. Nước thải chăn nuôi lợn là một trong những vấn đề môi trường đang được quan tâm tại Việt Nam. Đây là cơ hội, nhưng cũng là thách thức không chỉ đối với Việt Nam mà cả thế giới. Nếu được quản lý đúng cách, lượng nước thải chăn nuôi lợn có thể giảm đáng kể và cung cấp nguồn dinh dưỡng có giá trị cho nông nghiệp. Ngược lại, nếu không được quản lý đúng cách, có thể dẫn đến nhiều tác động tiêu cực đến môi trường [1]. Cụ thể, nước thải chăn nuôi lợn chứa lượng lớn chất hữu cơ, vi sinh vật gây bệnh (ví dụ: *E.coli*, *Streptococcus spp.*,...), nitơ, photpho và chứa một vài chất ô nhiễm độc hại (ví dụ: kim loại nặng và kháng sinh,...) góp phần gây ô nhiễm nghiêm trọng nguồn nước mặt, nước ngầm, đất và không khí. Chất hữu cơ chiếm khoảng 70-80% lượng chất rắn tách ra từ nước thải chăn nuôi lợn, bao gồm hydrocarbon, peroxides, amoni acids, lipid và các chất dẫn xuất trong phân và thức ăn thừa của chúng. Nồng độ nitơ và photpho chiếm phần lớn trong nước thải chăn nuôi lợn do chúng có trong thức ăn chăn nuôi và được bài tiết qua phân, nước tiểu. Theo thống kê quốc gia, ngành chăn nuôi ở Việt Nam thải ra khoảng 24 tỷ mét khối nước thải mỗi năm, chỉ có 10% được xử lý. Phần lớn nước thải chưa qua xử lý được thải trực tiếp ra môi trường, dẫn đến ô nhiễm nước mặt, nước ngầm, đất và không khí. Nước thải chăn nuôi lợn không kiểm soát có thể gây nhiều hậu quả nghiêm trọng, làm giảm chất lượng nước, ảnh hưởng đến đời sống con người và sản phẩm nông nghiệp. Các vi sinh vật gây bệnh trong nước thải có thể truyền nhiễm bệnh cho con người và vật nuôi, có thể dẫn tới mất cân bằng sinh thái, ảnh hưởng tới đa dạng sinh học. Hệ thống biogas được xem là một giải pháp hữu hiệu trong xử lý nước thải chăn nuôi lợn, giúp loại bỏ phần lớn chất hữu cơ và chất rắn lơ lửng. Việc áp dụng công nghệ biogas ở hộ gia đình hoặc quy mô trang trại đã trở nên phổ biến ở Việt Nam do tính đơn giản, chi phí thấp và khả năng tận dụng nguồn năng lượng tái tạo khí sinh học [2]. Các dự án biogas hiện nay được thúc đẩy bởi nhiều chương trình quốc gia và quốc tế, góp phần giảm ô nhiễm môi trường, với hiệu quả trung bình đạt

khoảng 84,7% COD, 73,6% BOD₅ và 86,1% TSS [3]. Tuy nhiên, nhiều nghiên cứu cho thấy nước thải sau biogas vẫn còn chứa hàm lượng cao các chất ô nhiễm như COD, TSS, nitơ và photpho, thường vượt ngưỡng quy định của QCVN 62-MT:2025/BTNMT. Đặc biệt, các hợp chất nitơ (NH_4^+ , NO_3^-) và photpho (PO_4^{3-}) trong nước thải chăn nuôi lợn khi xả thải trực tiếp ra môi trường sẽ là nguyên nhân chính gây ra hiện tượng phú dưỡng, làm suy giảm oxy hòa tan và ảnh hưởng đến hệ sinh thái thủy sinh các thủy vực tiếp nhận.

Bên cạnh đó, nitơ và photpho là những chất dinh dưỡng có giá trị cao, đóng vai trò thiết yếu trong sản xuất nông nghiệp. Trong những năm gần đây, mối lo ngại về trữ lượng photpho toàn cầu đã trở nên rõ rệt hơn. Các dự báo chỉ ra rằng nguồn cung cấp photpho khả thi về mặt kinh tế có thể bị vượt quá khả năng cung cấp trong khoảng thời gian từ 2030 - 2040, có thể xảy ra tình trạng thiếu hụt nguồn cung. Đá photphat, nguồn nguyên liệu photpho dự kiến sẽ bị cạn kiệt trong vòng 50-100 năm tới [4]. Việc áp dụng các công nghệ để thu hồi photpho và nitơ từ nguồn thải đóng vai trò quan trọng trong việc phát triển mô hình kinh tế tuần hoàn, giúp tái sử dụng tài nguyên, đáp ứng nhu cầu phân bón ngày càng tăng trong nông nghiệp, đồng thời góp phần đảm bảo an ninh lương thực toàn cầu. Tuy nhiên, hiệu quả thu hồi nitơ và photpho phụ thuộc chặt chẽ vào đặc tính của nước thải đầu vào, bao gồm nồng độ, dạng tồn tại và tỷ lệ thành phần dinh dưỡng. Hiện nay, chưa có nhiều công trình phân tích mối liên hệ giữa quy mô chăn nuôi, tải lượng chất thải, nồng độ nitơ, photpho và một số thông số ô nhiễm đặc trưng của nước thải chăn nuôi sau biogas là bước quan trọng nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho việc lựa chọn, thiết kế các giải pháp xử lý - thu hồi dinh dưỡng phù hợp với từng quy mô và điều kiện thực tế.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Nước thải chăn nuôi lợn được lấy từ 13 trang trại ở Hưng Yên, Hà Nội và Bắc Ninh. Địa chỉ

và quy mô của các hộ gia đình và trang trại được mô tả tại Bảng 1.

Bảng 1. Địa điểm lấy mẫu tại tỉnh Hưng Yên, Hà Nội và Bắc Ninh

Ghi chú	Địa điểm	Số lượng lợn
NT1	Tân Thuận, Hưng Yên	150
NT2	Tân Thuận, Hưng Yên	700
NT3	Tân Thuận, Hưng Yên	300
NT4	A Sao, Hưng Yên	600
NT5	A Sao, Hưng Yên	700
NT6	A Sao, Hưng Yên	290
NT7	A Sao, Hưng Yên	150
NT8	A Sao, Hưng Yên	100
NT9	A Sao, Hưng Yên	500-600
NT10	A Sao, Hưng Yên	1000
NT 11	Tây Phương, Hà Nội	9
NT12	Tây Phương, Hà Nội	10
NT13	Thuận Thành, Bắc Ninh	10.000

2.2. Phương pháp lấy mẫu và phân tích

2.2.1. Lấy mẫu và bảo quản mẫu nước thải

Các mẫu nước thải đã được lấy sau hệ thống 13 hầm biogas theo TCVN 6250-2019: nước thải - Phương pháp lấy mẫu. Mẫu nước thải được lấy tại ống xả của hầm biogas tại thời điểm rửa chuồng. Mẫu sau khi thu thập được bảo quản lạnh trong quá trình vận chuyển và lưu giữ mẫu trong tủ lạnh ở phòng thí nghiệm.

2.2.2. Phương pháp phân tích mẫu

Các nghiên cứu được thực hiện tại phòng thí nghiệm GreenLab, Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. Các chỉ tiêu phân tích được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Các chỉ số và phương pháp phân tích

	Các thông số	Giá trị	Phương pháp phân tích
1	pH		Đo bằng máy đo pH
2	COD	mg/L	TCVN 6491:1999
3	TSS	mg/L	TCVN 6625:2000
4	Amoni (N-NH ₄ ⁺)	mg/L	TCVN 5988:1995
5	Phốt phát (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	SMEWW 4500.PBE

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc điểm của chuồng nuôi lợn

Tại các điểm nghiên cứu, trang trại và hộ gia đình nuôi lợn theo mô hình chuồng hở, có quạt và vòi nước để làm mát và rửa sàn. Mô hình chuồng được người dân tự thiết kế và xây dựng, theo cấu trúc tường 3 bên. Độ ẩm và nhiệt độ không được kiểm soát tốt do không có hệ thống làm mát. Vào mùa hè, người dân thường phun nước lên mái chuồng lợn để giảm nhiệt độ và số lần tắm tăng lên 2 lần/ngày, trong khi số lần tắm vào mùa đông là 1 lần/ngày. Do đó, một lượng nước lớn sẽ được đổ vào bể biogas cùng với nước tiểu, phân và thức ăn thừa. Theo thống kê của Lê Thị Thu Hương (2021), các trang trại truyền thống sử dụng tới 234,7 m³ nước rửa và làm mát cho một tấn lợn hơi.

Ngoài ra, trên thực tế, người dân có thể cao sạch phân trên sàn trước khi rửa chuồng, nhưng theo khảo sát hầu hết người chăn nuôi sẽ sử dụng nước rửa chuồng để đưa toàn bộ chất thải rắn (phân, thức ăn thừa) trong chuồng vào bể biogas. Thiết kế chuồng hở và thói quen sử dụng nước nhiều trong quá trình vệ sinh làm tăng lượng chất hữu cơ và chất rắn lơ lửng trong nước thải. Đây cũng là nguyên nhân chính khiến nồng độ COD và TSS trong nước thải chăn nuôi sau biogas thường rất cao.

Thức ăn chăn nuôi ảnh hưởng đáng kể đến dòng dinh dưỡng vì thành phần thức ăn ảnh hưởng trực tiếp đến thành phần phân [5]. Hiện nay, hầu hết lợn được nuôi bằng thức ăn công nghiệp có hàm lượng protein và carbohydrate cao, nhằm đảm bảo dinh dưỡng và sự phát triển của lợn. Bên cạnh nguồn thức ăn công nghiệp, với mô hình chăn nuôi nhỏ lẻ hộ gia đình, nguồn thức ăn từ phụ phẩm nông nghiệp cũng được sử dụng như gạo, cám gạo trộn với thức ăn thừa của hộ gia đình hoặc thân cây chuối, bèo tấm hoặc lục bình.

3.2. Đặc điểm của nước thải chăn nuôi lợn

Về hình thái, nước thải chăn nuôi lợn có màu đen, đục và có mùi hôi khó chịu. Kết quả phân tích một số thông số chất lượng nước thải chăn nuôi lợn tại các hộ gia đình và trang trại nghiên

cứ được trình bày ở Bảng 3. Nước thải chăn nuôi lợn tại khu vực nghiên cứu bị ô nhiễm rất cao so với cột B của Quy chuẩn kỹ thuật

quốc gia về nước thải chăn nuôi (QCVN 62-2025/BNNPTNT).

Bảng 3. Kết quả phân tích các thông số nước thải chăn nuôi lợn sau xử lý biogas theo quy mô chăn nuôi

	Các thông số	Quy mô nhỏ					Quy mô trung bình		Quy mô lớn						QCVN 62-2025
		10-150 con lợn					200-300 con lợn		600-10000 con lợn						
		NT11	NT12	NT8	NT1	NT7	NT6	NT3	NT9	NT4	NT2	NT5	NT10	NT13	
		(9)	(10)	(100)	(150)	(150)	(290)	(300)	(500-600)	(600)	(700)	(700)	(1000)	(10000)	
1	pH	8,6	8,81	7,14	8,54	8,28	8,25	8,4	7,47	7,88	8,55	8,22	7,23	8,06	6-9
2	COD (mg/L)	630 ± 10	700 ±52,91	3130 ±113,58	1500 ±86,6	1240 ± 39,5	1430 ±11,01	1360 ± 20	4154 ±1,15	2890 ±36,06	2500 ±100	2780 ±81,85	5130 ±8,66	5326 ±131,64	≤ 150
3	Amoni (N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	244 ±2,47	280 ±26,74	670 ±11,46	116,8 ±3,81	105 ±6,61	369 ±8,04	442,5 ±13,92	740 ±4,33	558,3 ±17,56	584,5 ±6,76	147,1 ± 0,52	785 ±26,34	580 ±15,61	≤ 100 (tổng N)
4	Phốt phát (P-PO ₄ ³⁻ mg/L)	187,65 ± 7,65	147,375 ±15,55	106 ±5,29	31,2 ±1,06	30,6 ±0,69	73,4 ±1,51	96,5 ±2,08	53,75 ± 1,08	97,4 ±2,89	100,5 ±3,21	55,7 ±1,53	103,75 ±1,43	56 ±2	≤ 3,0 (tổng P)
5	TSS (mg/L)	1100 ±2	1540 ± 79,37	2480 ±72,11	740 ±36,06	380 ±20	2060 ±85,44	340 ±34,64	2090 ±85,44	980 ±26,46	2100 ±86,60	2240 ±52,92	3100 ±100	3200 ±100	≤ 100

- Độ pH:

Kết quả phân tích 13 mẫu nước thải sau biogas đều nằm trong ngưỡng cho phép của QCVN 62-MT:2025/BTNMT, pH dao động từ 7,14-8,55.

- COD:

Ở nhóm quy mô nhỏ, nồng độ COD của các mẫu nước thải đều cao hơn ngưỡng xả thải theo QCVN 62-MT:2025/BTNMT.

Ở nhóm quy mô trung bình, nồng độ COD dao động từ 1360-1430 mg/L, trung bình là 1395 ± 49,49 mg/L, vượt ngưỡng cho phép gần 4 lần. Ở nhóm quy mô lớn, nồng độ COD cao hơn nhóm quy mô nhỏ và trung bình, trung bình cao hơn nhóm quy mô nhỏ 2 lần, cao hơn nhóm quy mô trung bình 2,6 lần và cao hơn QCVN 62-2025 8,5 lần. Nồng độ trung bình là 3757,14 ± 300 mg/L.

Kết quả cho thấy giá trị thông số COD của nước thải sau hầm biogas ở quy mô trang trại cao hơn giá trị COD của nước thải sau hầm biogas ở quy mô hộ gia đình. Nguyên nhân của sự khác biệt này có thể là do giá trị nước thải đầu vào khác nhau, phụ thuộc vào đặc điểm đối tượng chăn nuôi, phương pháp chăn nuôi, mật độ chăn nuôi trong chuồng trại, cũng như nguồn thức ăn.

- Chất dinh dưỡng:

Kết quả phân tích tại Bảng 3 nồng độ của các chất dinh dưỡng đều vượt quy chuẩn cho phép

nhiều lần trong đó nồng độ NH₄⁺ (105-785 mg/L) và PO₄³⁻ (30,6-187,65 mg/L). Theo Sakadevan và Nguyen (2017), khoảng 128 triệu tấn nitơ và 24 triệu tấn phốt pho được thải ra môi trường hàng năm từ nước thải chăn nuôi. Ước tính đến năm 2050 con số này dự kiến sẽ tăng lần lượt là 23% và 54% đối với nitơ và phốt pho. Chất dinh dưỡng dư thừa xảy ra khi môi trường tự nhiên không thể hấp thụ hoàn toàn chúng, dẫn đến sự tích tụ các chất trong môi trường đất và nước. Nồng độ chất dinh dưỡng quá cao sẽ dẫn đến tăng độc tính đối với cây lương thực, làm giảm độ phì nhiêu và năng suất của đất. Và theo nghiên cứu của Garcia-Launay và cộng sự (2018), Jiang và cộng sự (2020) 64% - 97% tình trạng phú dưỡng và 14,5% tổng lượng khí thải nhà kính do con người gây ra là do chất dinh dưỡng dư thừa trong ngành chăn nuôi.

Kết quả Bảng 3 cho thấy, giá trị các thông số trong nước thải sau biogas như COD, TSS, nitơ ở quy mô trang trại (vừa và lớn) cao hơn so với nước thải sau biogas ở quy mô hộ gia đình (nhỏ). Nguyên nhân của sự chênh lệch này có thể là do giá trị nước thải đầu vào khác nhau do đặc điểm đối tượng chăn nuôi, phương pháp chăn nuôi, số lượng lợn trong chuồng, độ tuổi lợn cũng như lượng nước và số lần vệ sinh chuồng trại [6].

Với giá trị khảo sát ở trên, nghiên cứu này đã chỉ ra rằng nồng độ các chất hữu cơ thông qua

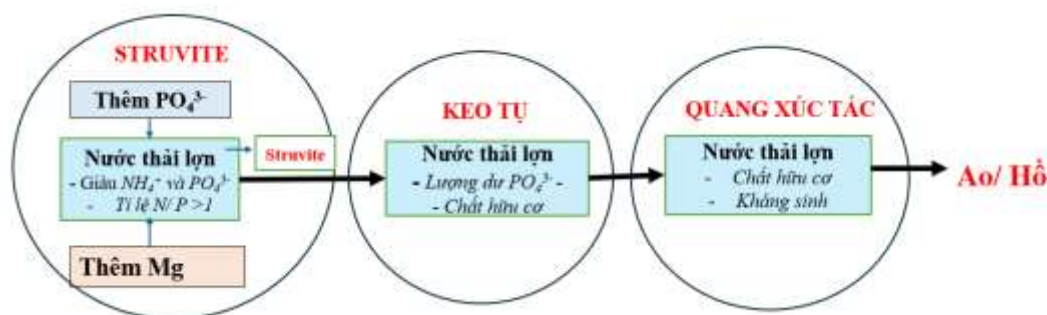
giá trị COD, cũng như dinh dưỡng thông qua nitơ (N-NH_4^+) và photpho (PO_4^{3-}) đều khá cao, cao gấp nhiều lần so với tiêu chuẩn cho phép. Bên cạnh đó, tình trạng nguồn N và P hiện nay ngày càng cạn kiệt do tình trạng lạm dụng phân bón trong nông nghiệp. Với mô hình tiêu thụ hiện tại, trữ lượng photpho có thể cạn kiệt trong vòng 90-300 năm tới vì photpho là nguồn tài nguyên có hạn, không thể tái tạo [7]. Sự cạn kiệt trữ lượng photpho chắc chắn sẽ tác động tiêu cực đến an ninh lương thực toàn cầu, vì photpho đóng vai trò quan trọng trong quá trình sinh trưởng của cây họ đậu và cố định đạm trong đất [8]. Trước vấn đề ô nhiễm nguồn nước do dư thừa các chất dinh dưỡng trong nước thải và thiếu hụt chất dinh dưỡng do hoạt động nông nghiệp, các nhà khoa học và chính phủ đã đặt ra thách thức là phải xây dựng các phương pháp và chính sách phù hợp để thúc đẩy việc tái sử dụng nước thải chăn nuôi, tạo ra chu trình chất thải, phát triển theo hướng tuần hoàn và phát triển bền vững. Sự phát triển bền vững và kinh tế tuần hoàn đang thúc đẩy một cuộc cách mạng trong cách quản lý nước thải. Thay vì chỉ loại bỏ và xử

lý, giờ đây chúng ta có thể thu hồi và tái sử dụng nước, năng lượng và vật liệu từ nước thải.

3.3. Tiềm năng thu hồi chất dinh dưỡng

Kết quả phân tích cho thấy nồng độ nitơ (dạng NH_4^+) và photpho (dạng PO_4^{3-}) trong nước thải chăn nuôi lợn sau biogas đều vượt ngưỡng quy chuẩn nhiều lần. Cụ thể, nồng độ NH_4^+ dao động từ 105-785 mg/L, cao gấp 1,5-5 lần giới hạn cho phép (150 mg/L). Hàm lượng PO_4^{3-} nằm trong khoảng 30,6-187,65 mg/L. Đây là một nguồn chứa nhiều chất dinh dưỡng cần được thu hồi. Với quy mô trang trại lớn (≥ 1000 con), tải lượng N, P phát thải ra môi trường hàng ngày tương đương với nhu cầu bón phân của nhiều hecta đất canh tác. Điều này cho thấy nước thải chăn nuôi không chỉ là chất ô nhiễm mà còn là nguồn tài nguyên nếu được quản lý và xử lý hợp lý.

Ngoài hàm lượng nitơ và photpho cao, nước thải chăn nuôi lợn còn chứa nhiều chất hữu cơ và có chứa một số chất độc hại như thuốc kháng sinh. Do đó, việc xử lý nước thải kết hợp của các phương pháp và quy trình xử lý để vừa loại bỏ chất ô nhiễm, vừa tối ưu khả năng thu hồi dinh dưỡng.



Hình 1. Đề xuất quy trình thu hồi và xử lý một số chất trong nước thải chăn nuôi.

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã chứng minh tiềm năng thu hồi N và P từ nước thải chăn nuôi thông qua các công nghệ như kết tủa struvite ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sử dụng vật liệu hấp phụ (biochar, zeolit, xỉ thép, vật liệu xây dựng tái chế), hoặc công nghệ sinh học (tảo, vi sinh vật). Các công nghệ này không chỉ giúp giảm tải ô nhiễm mà còn tạo ra sản phẩm có giá trị sử dụng trong nông nghiệp. Tại Việt Nam, việc áp dụng các phương pháp thu hồi còn hạn

chế, chủ yếu mới dừng ở mức xử lý giảm thiểu ô nhiễm. Do đó, khai thác nước thải chăn nuôi như một nguồn dinh dưỡng thay thế phân bón hóa học vừa có ý nghĩa kinh tế, vừa góp phần đảm bảo an ninh lương thực trong bối cảnh trữ lượng photpho toàn cầu đang suy giảm. Công nghệ Struvite sẽ giúp thu hồi tối đa lượng NH_4^+ , lượng dư PO_4^{3-} và chất hữu cơ sẽ được xử lý trong quy trình keo tụ điện hóa để loại bỏ hoàn toàn PO_4^{3-} và một phần chất hữu cơ. Công nghệ quang xúc

tác sẽ là quy trình cuối cùng để loại bỏ phần chất hữu cơ còn lại và các hợp chất kháng sinh tồn dư, để đảm bảo nước thải sau xử lý an toàn hơn trước khi xả thải ra môi trường tiếp nhận (ao, hồ).

Với nồng độ N và P cao, nước thải chăn nuôi sau biogas có tiềm năng lớn để phát triển các mô hình xử lý tuần hoàn - tái sử dụng. Đây là cơ sở khoa học quan trọng để đề xuất các nghiên cứu tiếp theo nhằm lựa chọn vật liệu, tối ưu hóa điều kiện và xây dựng hệ thống công nghệ phù hợp với điều kiện thực tiễn ở Việt Nam.

4. Kết luận

Kết quả phân tích 13 mẫu nước thải chăn nuôi lợn sau biogas tại các trang trại và hộ chăn nuôi ở Hưng Yên, Hà Nội và Bắc Ninh cho thấy nồng độ COD, TSS, NH_4^+ và PO_4^{3-} đều cao hơn nhiều so với QCVN 62 - 2025/BNNPTNT, mặc dù hệ thống biogas đã xử lý một phần đáng kể chất hữu cơ. Các thông số về chất hữu cơ, dinh dưỡng và vi sinh vật (COD, TSS, NH_4^+ , PO_4^{3-}) của nước thải đều vượt ngưỡng quy chuẩn cho phép so với QCVN 62-2025 tương ứng là COD (639-5326 mg/L); TSS (340-3200 mg/L), NH_4^+ (105-785 mg/L) và PO_4^{3-} (30,6-187,65 mg/L). Điều này khẳng định rằng nước thải sau biogas vẫn là nguồn ô nhiễm nghiêm trọng nếu xả thẳng ra môi trường.

Tuy nhiên, với hàm lượng nitơ và photpho cao, nước thải chăn nuôi sau biogas đồng thời là nguồn tài nguyên dinh dưỡng có thể thu hồi và tái sử dụng trong nông nghiệp. Việc kết hợp các công nghệ xử lý - bao gồm kết tủa Struvite để thu hồi NH_4^+ và PO_4^{3-} , keo tụ điện hóa để loại bỏ phần dư PO_4^{3-} và chất hữu cơ và quang xúc tác để xử lý triệt để hợp chất hữu cơ khó phân hủy và kháng sinh tồn dư - có thể hình thành một quy trình xử lý tuần hoàn, vừa giảm tải ô nhiễm vừa tạo ra sản phẩm có giá trị.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội trong đề tài mã số QG.23.62.

Tài liệu tham khảo

- [1] H. Roubík, S. Barrera, D. V. Dung, L. D. Phung, J. Mazancová, Emission Reduction Potential of Household Biogas Plants in Developing Countries: The Case of central Vietnam, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 270, 2020, pp. 122257, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122257>.
- [2] S. Tundup, M. Selvam S, P. S. Roshini, A. Kumar, A. Sahoo, B. Paramasivan, Evaluating the Scientific Contributions of Biogas Technology on Rural Development through Scientometric Analysis, *Environmental Technology & Innovation*, Vol. 24, 2021, pp. 101879, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101879>.
- [3] L. T. T. Huong, Y. Takahashi, H. Nomura, C. T. Son, T. Kusudo, M. Yabe, Manure Management and Pollution Levels of Contract and Non-contract Livestock Farming in Vietnam, *Science of the Total Environment*, Vol. 710, 2020, pp. 136200, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136200>.
- [4] Y. Pinatha, W. Rongchapo, T. Neamhom, P. Pentamwa, Product Characterization, Application, and Techno-economic Aspects of Phosphorus Recovery as Struvite from Swine Wastewater: A Case of Small-Scale Swine Farm, *Science of the Total Environment*, Vol. 982, 2025, pp. 179685, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179685>.
- [5] J. A. Rodriguez, J. Ryschawy, M. Grillot, G. Martin, Circularity and Livestock Diversity: Pathways to Dustainability in Intensive Pig Farming Regions, *Agricultural Systems*, Vol. 213, 2024, pp. 103809, <https://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103809>.
- [6] N. Q. Lich, V. Q. Linh, T. D. Hanh, N. Q. Huy, N. V. Khanh, L. V. Tuan, C. T. Huong, Efficiency of Integrated System Using Biochar and Waste Stabilization Pond for Treatment of Effluent from Swine Manure Biogas Digester, *Hue University Journal of Science: Agriculture and Rural Development*, Vol. 130, No. 3B, 2021, pp. 119-130, <https://doi.org/10.26459/hueunijard.v130i3B.6024> (in Vietnamese).
- [7] A. Reza, J. S. Owen, Y. Choi, C. Jang, S. Jung, K. Kim, J. Eum, B. Kim, Phosphorus Budget for a Forested-Agricultural Watershed in Korea, *Water*, Vol. 11, No. 1, 2018, <https://doi.org/10.3390/w11010004>.
- [8] S. Shim, A. Reza, S. Kim, S. Won, C. Ra, Nutrient Recovery from Swine Wastewater at Full-scale: An Integrated Technical, Economic and Environmental Feasibility Assessment, *Chemosphere*, Vol. 277, 2021, pp. 130309, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130309>.