



Tiềm năng áp dụng công nghệ tạo hạt tầng sôi thu hồi nitơ, phospho và kali trong nước thải trang trại chăn nuôi lợn theo hướng kinh tế tuần hoàn tại Việt Nam

LÊ VĂN GIANG, LƯU THẾ ANH

Viện Tài nguyên và Môi trường, Đại học Quốc gia Hà Nội

1. MỞ ĐẦU

Năng suất nông nghiệp thế giới phụ thuộc rất lớn vào lượng phân bón vô cơ bao gồm nitơ (N), kali (K) và phospho (P) đầu vào. Nhu cầu lớn về phân bón vô cơ cùng với việc sử dụng chất dinh dưỡng này kém hiệu quả đã gây ra áp lực lớn lên trữ lượng các mỏ khoáng này và thị trường phân bón vô cơ toàn cầu hoàn toàn phụ thuộc vào nguồn dự trữ của các mỏ khoáng P tự nhiên. Hiện thế giới đang đứng trước việc khai thác quá mức các loại khoáng này; trong năm 2020, lượng khai thác N, P và K lần lượt là 119 triệu tấn, 46 triệu tấn P và 37 triệu tấn để phục vụ cho nhu cầu sản xuất phân bón [1]. Trong đó, hơn 90% trữ lượng mỏ P trên thế giới đến từ Maroc, Iraq, Trung Quốc, Algeria và Syria [2, 3]. Sự phân bố tập trung ở phạm vi địa lý nhất định của các mỏ nguyên liệu này đã tiềm ẩn những rủi ro chính trị và kinh tế cho các quốc gia phụ thuộc vào nguồn nhập khẩu phân bón chứa P. Tuy nhiên, trữ lượng mỏ khoáng P không phải là vô tận, chỉ có thể khai thác trong vòng 90 năm tới và sẽ bị cạn kiệt [4]. Trong những năm gần đây, giá phân bón P trên thị trường thế giới tăng lên nhanh chóng, tác động trực tiếp đến chuỗi cung ứng lương thực toàn cầu [5, 6]. Để đối phó với những thách thức này, việc tìm kiếm nguồn P mới thay thế đã trở thành vấn đề quan tâm của nhiều nước trên thế giới, ngay cả tại Việt Nam và đây là hướng nghiên cứu đầy triển vọng.

Một nghiên cứu gần đây nhất từ Zhang và cộng sự năm 2019 thuộc Viện Khoa học Trung Quốc cho biết, lượng nước thải toàn cầu được ước tính là 400 tỷ m³/năm, gây ô nhiễm khoảng 5.500 tỷ m³ nước/năm. Đối với nước thải chăn nuôi, riêng các nước Trung Quốc, Mỹ, Brazil, Canada và Châu Âu đã chiếm hơn 90% số lượng đàn lợn trên toàn cầu, ước tính mỗi ngày lượng nước thải từ chăn nuôi lợn hơn 453 triệu m³/ngày [7]. Trong nước thải chăn nuôi lợn có chứa nồng độ các chất N, K và P rất cao (tương ứng 200 - 3000 mg-N/L; 230-342 mg K/L và 230-342 mg-P/L) [8]. Việc xả nước thải chăn nuôi lợn chưa qua xử lý ra môi trường gây ô nhiễm đất và nguồn nước rất nghiêm trọng. Nồng độ các chất N và P cao trong nước thải dẫn đến hiện tượng phú dưỡng hóa các nguồn nước tiếp nhận, làm giảm nồng độ oxy trong nước, gây độc cho các thủy sinh như cá, tôm và sinh vật phù du [9].

Tại Việt Nam, nông nghiệp được xác định là lợi thế và nền tảng cho phát triển bền vững quốc gia, trong đó tập trung vào đồng bằng sông Cửu Long và đồng bằng

sông Hồng. Chính phủ có chủ trương đổi mới tư duy từ sản xuất nông nghiệp sang phát triển kinh tế nông nghiệp với ba trụ cột chính là nông nghiệp sinh thái, nông thôn hiện đại và nông dân văn minh. Tuy nhiên, nông nghiệp Việt Nam vẫn còn quá phụ thuộc vào lượng lớn phân bón vô cơ đầu vào, gồm các loại phân bón nitơ (N), phốt phat (P₂O₅) và kali (K₂O) [10]. Bên cạnh đóng góp quan trọng cho kinh tế nông nghiệp, ngành chăn nuôi Việt Nam cũng gây ra nhiều áp lực lên môi trường do lượng chất thải phát sinh rất lớn. Theo Bộ NN&PTNT, cả nước có khoảng 12 triệu hộ gia đình có hoạt động chăn nuôi và 23.500 trang trại chăn nuôi tập trung. Trong đó, phổ biến là chăn nuôi lợn (khoảng 4 triệu hộ) và gia cầm (gần 8 triệu hộ), với tổng đàn khoảng 362 triệu con gia cầm, 29 triệu con lợn và 8 triệu con gia súc [11]. Ước tính mỗi năm lượng chất thải chăn nuôi thải ra môi trường khoảng 84,5 triệu tấn/năm, riêng chăn nuôi lợn có hơn 0,8 triệu m³ nước thải/ngày, đêm (1 con lợn cần 25 lít nước tắm, rửa chuồng) và tạo ra khoảng 75.000 tấn phân/ngày đêm. Trong số đó, chỉ có khoảng 20% khối lượng chất thải chăn nuôi được sử dụng hiệu quả (làm khí sinh học, ủ phân, nuôi trùn quế, cho cá ăn,...), 80% lượng chất thải chăn nuôi còn lại đã bị lãng phí và phần lớn thải ra môi trường gây ra tình trạng ô nhiễm nghiêm trọng. Rõ ràng đây nguồn tài nguyên đang bị lãng phí, chưa thu hồi được các chất (N, P, K) để tái sử dụng để làm phân bón [12].

Bảng 1. Thành phần nước thải chăn nuôi từ các trang trại lợn trên thế giới

Thành phần	Quốc gia					
	Việt Nam	Đài Loan	Trung Quốc	Nhật Bản	Hàn Quốc	Mỹ
pH (-)	6,92	7,11	8,2	7,4	8,6	7,91
COD (mg/l)	5214	2086	5756,9	-	4152,5	3570
BOD ₅ (mg/l)	2323	-	-	4050	-	1078
TOC (mg/l)	-	-	-	-	-	111
NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	1740	512,4	477,3	532	2166,0	835
Tổng N (mg/l)	1688	-	551,3	-	2302,5	953
PO ₄ ³⁻ -P (mg/l)	-	-	-	72	185,6	121
Tổng P (mg/l)	112,5	92,8	236	145	295,5	174
K (mg/l)	508,1	336	-	-	-	-
Mg (mg/l)	-	18,5	-	102	-	-
Cu (mg/l)	-	1,1	-	0,40	-	1,54
Al (mg/l)	-	1,2	-	-	-	-
Zn (mg/l)	-	0,55	-	5,88	-	1,47
Ca (mg/l)	-	25,2	-	80	-	-

(Lưu ý: Bảng chỉ cung cấp một mức độ đại diện cho nồng độ các chất ô nhiễm trong chất thải chăn nuôi lợn và giá trị cụ thể có thể thay đổi tùy thuộc vào từng trang trại lợn cụ thể, điều kiện môi trường địa phương).



2. CÔNG NGHỆ XỬ LÝ NƯỚC THẢI CHĂN NUÔI LỢN TRONG NƯỚC VÀ TRÊN THẾ GIỚI

Chăn nuôi lợn là ngành quan trọng và chủ đạo trong nền kinh tế nông nghiệp ở các nước đang phát triển, nó tạo ra việc làm và đảm bảo an ninh lương thực, an ninh kinh tế cho người dân. Việc thiếu kiến thức trong thực hành chăn nuôi hiện đại dẫn đến phương pháp quản lý chất thải chăn nuôi không phù hợp, gây ra tình trạng ô nhiễm môi trường và các vấn đề liên quan khác. Để giải quyết được thách thức mang tầm quốc tế, việc nghiên cứu và phát triển công nghệ mới về xử lý nước thải chăn nuôi lợn có ý nghĩa rất to lớn đối với việc bảo vệ nguồn nước, bảo vệ sức khỏe của nhân loại. Hiện nay, có rất nhiều phương pháp xử lý nước thải chăn nuôi lợn, bao gồm công nghệ biogas, công nghệ đệm lót sinh học, công nghệ oxy hóa bậc cao Fenton, công nghệ vi tảo, công nghệ bùn hoạt tính hiếu khí kết hợp thiếu khí,... Tuy nhiên, các phương pháp này có hiệu quả xử lý chưa còn thấp, chi phí đầu tư và vận hành cao, thời gian xử lý kéo dài và chiếm nhiều diện tích xây dựng hạ tầng, ưu nhược điểm được miêu tả trong Bảng 2.

Bảng 2. Tổng quan các công nghệ xử lý nước thải chăn nuôi lợn hiện nay

Công nghệ xử lý	Ưu điểm	Nhược điểm
Công nghệ biogas	<ul style="list-style-type: none"> - Giảm mùi hôi xung quanh. - Chi phí đầu tư thấp. - Thu hồi được năng lượng (khí biogas) phục vụ nhu cầu về năng lượng. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hiệu suất xử lý thấp. - Thời gian phản ứng chậm. - Khó mở rộng quy mô lớn. - Dễ gây cháy nổ. - Sản sinh ra lượng lớn bùn thải.
Công nghệ bùn hoạt tính hiếu khí theo từng mẻ SBR	<ul style="list-style-type: none"> - Hiệu suất xử lý cao. - Tiết kiệm diện tích do không cần xây dựng bể lắng. - Chi phí đầu tư và vận hành cao. 	<ul style="list-style-type: none"> - Yêu cầu người vận hành có chuyên môn cao. - Dễ bị tắc nghẽn đường ống sục khí. - Chưa có hệ thống tự động.
Công nghệ đệm lót sinh học	<ul style="list-style-type: none"> - Hạn chế mùi phát sinh. - Thân thiện với môi trường. - Thu hồi được chất dinh dưỡng làm phân bón. 	<ul style="list-style-type: none"> - Yêu cầu kỹ thuật cao để vận hành. - Chiếm diện tích lớn, hiệu quả xử lý mùi không cao khi tăng số lượng đàn lợn. - Thời gian sử dụng đệm lót ngắn. - Chi phí đầu tư và vận hành cao. - Dễ nhiễm và truyền bệnh cho vật nuôi.
Công nghệ bùn hoạt tính hiếu khí kết hợp thiếu khí	<ul style="list-style-type: none"> - Ít gây ra mùi hôi, hiệu quả xử lý cao. - Khả năng vận hành đơn giản. - Chi phí đầu tư thấp. 	<ul style="list-style-type: none"> - Chi phí vận hành cao. - Tạo ra lượng bùn thải lớn. - Chỉ áp dụng với nguồn nước thải có nồng độ COD thấp.
Công nghệ hồ sinh học	<ul style="list-style-type: none"> - Chi phí vận hành thấp. - Bảo trì, vận hành đơn giản, không yêu cầu người quản lý thường xuyên. - Ít tiêu hao năng lượng. - An toàn thân thiện với môi trường. - Có thể kết hợp nuôi cá, trồng tạo mang lại hiệu quả kinh tế cao. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diện tích đòi hỏi lớn vì có thể kết hợp nhiều hồ để xử lý. - Chi phí xây dựng cao. - Phát sinh mùi đối với khu vực xung quanh. - Hiệu quả xử lý khó kiểm soát và phụ thuộc vào yếu tố khí hậu, thời tiết.
Công nghệ vi tảo	<ul style="list-style-type: none"> - Thân thiện với môi trường. - Thu hồi được sinh khối. - Vận hành được với nồng độ N và P cao. - Chi phí vận hành thấp. 	<ul style="list-style-type: none"> - Chiếm diện tích xây dựng lớn. - Hiệu quả xử lý chưa cao. - Thời gian vận hành kéo dài. - Đòi hỏi có chuyên môn khi vận hành.
Công nghệ Fenton	<ul style="list-style-type: none"> - Hiệu quả xử lý cao. - Chiếm ít diện tích xây dựng. - Thân thiện với môi trường. - Dễ vận hành vì có chế độ tự động. - Vận hành với chi phí thấp. 	<ul style="list-style-type: none"> - Chỉ hoạt động ở nồng độ COD thấp. - Chi phí xây dựng cao. - Cần chuyên môn khi vận hành hệ thống.
Công nghệ kết tủa N và P	<ul style="list-style-type: none"> - Hiệu quả xử lý và thu hồi cao - Dễ mở rộng công suất xử lý. - Tiêu tốn ít hóa chất sử dụng. - Thu hồi được các chất có giá trị và tái sử dụng nước thải. 	<ul style="list-style-type: none"> - Đòi hỏi chuyên môn vận hành. - Chi phí đầu tư cao.

Các nghiên cứu gần đây cho thấy, công nghệ kết tủa struvite ($\text{NH}_4\text{MgPO}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$) trong nước thải chăn nuôi lợn

thu hồi N và P không những hiệu quả về chi phí mà còn có ý nghĩa lớn về môi trường. Struvite được sử dụng như một dạng phân bón nhả chậm cung cấp đồng thời nguyên tố đa lượng (N: 6% và P_2O_5 : 28,9%) và nguyên tố trung lượng (Mg: 10%) phù hợp cho nhiều loại cây trồng nên struvite được sử dụng làm nguyên liệu đầu vào để sản xuất các loại phân bón hỗn hợp hoặc phức hợp khác [13]. Các nghiên cứu công bố gần đây cho thấy struvite có thể được thu hồi từ các nguồn nước thải khác nhau như nước rỉ rác, nước thải chăn nuôi, nước tiểu con người, nước thải sinh hoạt và nước thải nhà máy sản xuất phân bón [14].

3. THỰC TRẠNG ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ TIỀN TIẾN TẮNG SÔI TẠO HẠT ĐỒNG NHẤT

Hiện nay trên thế giới, công nghệ tạo hạt tầng sôi (FBHC) nổi lên như một công nghệ mới đầy hứa hẹn để khắc phục được các nhược điểm của những công nghệ nêu trên trong việc xử lý nước thải chăn nuôi lợn nói riêng và các loại nước thải công nghiệp nói chung. Bản chất của công nghệ này cũng là một quá trình kết tinh tăng cường. Do đó, các quá trình khác như: keo tụ, kết tủa và lắng không cần thiết, nên làm giảm diện tích xây dựng của các công trình xử lý nước thải. Điểm nổi bật chính của công nghệ này là sản phẩm sau khi thu hồi có hàm lượng nước trong hạt tinh thể dưới 5% và dễ dàng tách pha rắn - lỏng trong cột phản ứng. Nước thải đầu ra sau xử lý của quá trình đạt tiêu chuẩn/quy chuẩn xả thải quốc gia và không gây ô nhiễm thứ cấp (như phát sinh bùn thải) ra môi trường.



▲ Hình 1. So sánh công nghệ kết tinh và công nghệ tạo hạt tầng sôi (Nguồn: Lê Văn Giang, 2022)

Bằng công nghệ này, các nhà khoa học trên thế giới đã thành công thu hồi các chất có trong chất thải dưới dạng hạt kết tinh như trong Hình 2 dưới đây, cụ thể: (a) MgCO_3 , (b) MgNH_4PO_4 , (c) MgKPO_4 , (d) $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$, (e) BaHPO_4 , (f) MgHPO_4 , (g) NiCO_3 , (h) $\text{Cu}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3$, (i) $\text{Al}(\text{OH})_3$, (j) FePO_4 (k) $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$, (l) $\text{Ba}(\text{B}(\text{OH})_3\text{OOH})_2$, (m)



$Mn_3(PO_4)_2$, (n) $Ca_5(PO_4)_3(OH)$, (o) $CaCO_3$, (p) $FeOOH$, (q) CoC_2O_4 , (r) $CoO(OH)$, (s) $BaCO_3$, (t) $CoCO_3$, (u) $NiO(OH)$, (v) $BaB_2O_4(OH)_4$, (w) $Ca(B(OH)_3OOH)_2$, (x) $Co_3(PO_4)_2$, (y) $SrHPO_4$. Các sản phẩm thu hồi từ công nghệ FBHC hoàn toàn có thể làm nguyên liệu thô đầu vào cho các ngành công nghiệp sản xuất liên quan vì các hạt kết tinh có độ tinh khiết cao và hàm lượng nước thấp. Đây là công nghệ mới đầy hứa hẹn trong thúc đẩy phát triển mảng công nghiệp xanh để thu hồi năng lượng từ nước thải và biến chất thải thành tài nguyên có giá trị.



▲ Hình 2. Hình ảnh các loại sản phẩm thu hồi bằng công nghệ FBHC từ các nguồn nước thải khác nhau (Nguồn: Lê Văn Giang, 2022)

Dựa trên tính chất nước thải, quy mô và lưu lượng xả thải, có thể thiết kế cột FBHC cho phù hợp với nhu cầu và mục đích sử dụng trong quy trình xử lý nước thải. Hình 3, cho thấy các quy mô có thể kết hợp vận hành cột FBR từ 0,5 m³/ngày đêm đến trên 10.000 m³/ngày, đêm. Ưu điểm của các thiết kế này là chiếm diện tích xây dựng ít, dễ dàng scale-up với quy mô lớn.



▲ Hình 3. Hệ thống FBR lắp đặt quy mô (a) 0,5; (b) 5,0; (c) 10; (d) 1000 và (e) 10.000 m³/ngày, đêm (Nguồn: Lê Văn Giang, 2022)

4. CÔNG NGHỆ TẠO HẠT TĂNG SÔI TẠO HẠT ĐỒNG NHẤT - MỘT GIẢI PHÁP KINH TẾ TUẦN HOÀN VÀ BỀN VỮNG

Công nghệ thu hồi struvite trong nước thải chăn nuôi lợn tại Việt Nam đang có tiềm năng lớn về ứng dụng và đóng góp vào việc xử lý và tận dụng tài nguyên từ chất thải chăn nuôi. Sau đây là một số tiềm năng ứng dụng của công nghệ này, cụ thể:

Tạo nguồn cung cấp phân bón vô cơ: N và P là hai nguyên tố dinh dưỡng quan trọng cho cây trồng. Thu hồi và chuyển hóa chúng từ nước thải chăn nuôi thành phân bón vô cơ giúp cung cấp nguồn dinh dưỡng tự nhiên cho đất và cây trồng. Điều này giúp cải thiện chất lượng đất, tăng năng suất và giảm sự phụ thuộc vào phân bón hóa học.

Giảm ô nhiễm môi trường: Nước thải chăn nuôi chứa nhiều lượng N và P, khi xả thải trực tiếp vào môi trường, có thể gây ô nhiễm nước và sự phát triển của các loại tảo, gây suy thoái chất lượng nước. Việc thu hồi và xử lý N và P trong nước thải chăn nuôi giúp giảm tải lượng chất ô nhiễm xả thải và bảo vệ môi trường nước.

Tạo nguồn thu nhập thứ cấp: Việc thu hồi struvite từ nước thải chăn nuôi có thể mang lại thu nhập thứ cấp cho người chăn nuôi. Chúng có thể tiến xử lý thành phân bón và bán ra thị trường hoặc sử dụng trong sản xuất nông nghiệp. Điều này giúp tạo ra các cơ hội kinh doanh mới và đóng góp vào tăng trưởng kinh tế nông thôn.

Giảm tải lượng nước thải: Thu hồi N và P trong nước thải chăn nuôi có thể giảm tải lượng nước thải xả ra môi trường. Quá trình này giúp cải thiện hiệu quả xử lý nước thải và giảm áp lực đối với hệ thống thoát nước công cộng.

Đóng góp vào phát triển bền vững: Ứng dụng công nghệ thu hồi N và P trong nước thải chăn nuôi đóng góp tích cực vào phát triển bền vững của ngành chăn nuôi. Nó không chỉ giúp tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên và giảm tác động tiêu cực lên môi trường, mà còn tạo ra cơ hội kinh doanh mới và tăng thêm giá trị cho ngành chăn nuôi.

Việc nghiên cứu hoàn thiện và ứng dụng công nghệ tạo hạt tăng sôi xử lý nước thải có thành phần N-P-K trong chất thải có nhiều lợi ích thiết thực, góp phần vào việc hoàn thiện công nghệ mới trong xử lý nước thải, đáng chú ý là đồng thời thu hồi và chuyển hóa các chất thải thành sản phẩm có ứng dụng trong thực tiễn sản xuất công-nông nghiệp, ngăn ngừa và giảm thiểu ô nhiễm môi trường xung quanh. Đây là xu hướng nghiên cứu mới góp phần thúc đẩy mô hình kinh tế tuần hoàn (Hình 4), bền vững và tăng trưởng xanh thay thế các công nghệ lỗi thời, đồng thời, nó cũng đóng góp vào phát triển bền vững của ngành chăn nuôi và giúp tối ưu hóa sự tận dụng tài nguyên từ chất thải chăn nuôi.



▲ Hình 4. Mô hình kinh tế tuần hoàn cho thu hồi NPK và tái sử dụng làm phân bón (Nguồn: Lê Văn Giang, 2022)



5. KIẾN NGHỊ MỘT SỐ GIẢI PHÁP, CHÍNH SÁCH VÀ CƠ CHẾ ĐẶC THÙ ĐỐI VỚI ÁP DỤNG CÔNG NGHỆ THU HỒI TRONG TÌNH HÌNH MỚI HIỆN NAY

Một là, xây dựng chính sách và quy định rõ ràng: Cần thiết lập các chính sách và quy định phù hợp để khuyến khích và định hướng sử dụng công nghệ thu hồi tài nguyên trong chất thải. Điều này bao gồm việc xác định các tiêu chuẩn và quy định về việc xử lý nước thải chăn nuôi, thu hồi chất dinh dưỡng và phân bón từ nước thải. Cần có cơ chế thúc đẩy và ưu tiên các doanh nghiệp áp dụng công nghệ này.

Hai là, tạo điều kiện và khuyến khích đầu tư công nghệ: Cần tạo môi trường thuận lợi để các doanh nghiệp đầu tư và áp dụng công nghệ thu hồi theo hướng kinh tế tuần hoàn. Điều này có thể bao gồm việc cung cấp hỗ trợ tài chính, chính sách ưu đãi thuế và giảm phí, hỗ trợ đào tạo và nâng cao năng lực kỹ thuật cho người lao động trong ngành chăn nuôi.

Ba là, xây dựng hệ thống quản lý và giám sát: Cần xây dựng hệ thống quản lý và giám sát hiệu quả để đảm bảo việc áp dụng công nghệ thu hồi được thực hiện đúng quy trình và đáp ứng các tiêu chuẩn môi trường và bền vững. Điều này bao gồm việc xây dựng hệ thống giám sát chất lượng nước thải, kiểm soát quy trình xử lý và giám sát việc sử dụng lại chất thu hồi.

Bốn là, tăng cường năng lực và truyền thông: Cần tăng cường năng lực kỹ thuật và kiến thức về công nghệ thu hồi theo hướng kinh tế tuần hoàn cho các chuyên gia, nhà nghiên cứu và nhân viên liên quan. Đồng thời, cần đẩy mạnh công tác truyền thông và tạo thêm nhận thức về lợi ích và tiềm năng của công nghệ thu hồi đối với môi trường, kinh tế và xã hội.

Năm là, hợp tác và đối tác công tư: Cần tạo cơ chế hợp tác và đối tác công tư để thúc đẩy việc áp dụng công nghệ thu hồi. Hợp tác giữa các doanh nghiệp, tổ chức nghiên cứu, chính quyền địa phương và các bên liên quan sẽ tạo điều kiện để chia sẻ kiến thức, kinh nghiệm và tài nguyên, từ đó tăng cường khả năng ứng dụng công nghệ và đẩy mạnh chuyển giao quy mô sản xuất. Cần thiết lập các cơ chế đối tác công tư như chia sẻ rủi ro, chia sẻ lợi ích và chia sẻ trách nhiệm để đảm bảo sự phát triển bền vững của ngành chăn nuôi và bảo vệ môi trường.

Sáu là, khuyến khích nghiên cứu và phát triển công nghệ: Cần đẩy mạnh hoạt động nghiên cứu và phát triển công nghệ thu hồi trong lĩnh vực chăn nuôi. Việc tài trợ và khuyến khích các dự án nghiên cứu, thí điểm và ứng dụng thực tế sẽ giúp tìm ra các giải pháp hiệu quả và tiếp cận được công nghệ tiên tiến hơn. Qua đó, tạo ra các công nghệ tiên tiến và phù hợp với điều kiện địa phương để giải quyết vấn đề xử lý nước thải chăn nuôi.

Bảy là, đẩy mạnh cơ chế kích thích và khen thưởng: Cần tạo cơ chế kích thích và khen thưởng để động viên và thúc đẩy các doanh nghiệp và hộ chăn nuôi áp dụng công nghệ thu hồi theo hướng kinh tế tuần hoàn. Các chính sách khuyến khích và khen thưởng có thể bao gồm cung cấp các

gói hỗ trợ tài chính, giảm thuế, ưu đãi về quyền sử dụng đất và các phần thưởng kinh tế khác. Điều này sẽ tạo động lực cho các doanh nghiệp và hộ chăn nuôi để đầu tư và áp dụng công nghệ thu hồi, đồng thời thúc đẩy sự phát triển bền vững của ngành chăn nuôi.

Việc thực hiện những giải pháp và chính sách này sẽ mang lại nhiều lợi ích cụ thể: Giúp giảm ô nhiễm môi trường do nước thải chăn nuôi gây ra, bảo vệ nguồn nước và hệ sinh thái tự nhiên; Việc thu hồi N và P từ nước thải chăn nuôi giúp tạo ra phân bón tự nhiên giàu chất dinh dưỡng, giúp nâng cao hiệu suất sản xuất nông nghiệp và giảm sự phụ thuộc vào phân bón hóa học; Áp dụng công nghệ thu hồi còn tạo ra cơ hội kinh doanh và thúc đẩy phát triển kinh tế trong lĩnh vực chăn nuôi. Để thành công trong việc áp dụng công nghệ thu hồi N và P, cần có sự hợp tác và phối hợp chặt chẽ giữa các bên liên quan, bao gồm chính quyền, doanh nghiệp, nhà nghiên cứu và cộng đồng. Qua đó, việc thu hồi chất dinh dưỡng từ nước thải chăn nuôi sẽ trở thành một giải pháp bền vững, góp phần vào bảo vệ môi trường, phát triển kinh tế và nâng cao chất lượng cuộc sống của cộng đồng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. L. Babcock-Jackson, T. Konovalova, J.P. Krogman, R. Bird, L.L. Díaz, *Sustainable Fertilizers: Publication Landscape on Wastes as Nutrient Sources, Wastewater Treatment Processes for Nutrient Recovery, Biorefineries, and Green Ammonia Synthesis*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (2023).
2. K. Suzuki, Y. Tanaka, K. Kuroda, D. Hanajima, Y. Fukumoto, T. Yasuda, M. Waki, *Removal and recovery of phosphorous from swine wastewater by demonstration crystallization reactor and struvite accumulation device*, *Bioresource technology*, 98 (2007) 1573-1578.
3. H.H. Mahdi, R.S. Mouhamad, *Behavior of phosphorus in the calcareous soil*, *Advances in Agricultural Technology & Plant Sciences*, 1 (2018) 180018.
4. V.-G. Le, D.-V.N. Vo, N.-H. Nguyen, Y.-J. Shih, C.-T. Vu, C.-H. Liao, Y.-H. Huang, *Struvite recovery from swine wastewater using fluidized-bed homogeneous granulation process*, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9 (2021) 105019.
5. W.J. Brownlie, M.A. Sutton, D. Cordell, D.S. Reay, K.V. Heal, P.J. Withers, I. Vanderbeck, B.M. Spears, *Phosphorus price spikes: A wake-up call for phosphorus resilience*, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7 (2023).
6. M. Mew, G. Steiner, N. Haneklaus, B. Geissler, *Phosphate price peaks and negotiations-Part 2: The 2008 peak and implications for the future*, *Resources Policy*, 83 (2023) 103588.
7. Y. Zhang, Y. Shen, *Wastewater irrigation: past, present, and future*, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6 (2019) e1234.
8. H. Huang, P. Zhang, Z. Zhang, J. Liu, J. Xiao, F. Gao, *Simultaneous removal of ammonia nitrogen and recovery of phosphate from swine wastewater by struvite electrochemical precipitation and recycling technology*, *Journal of cleaner production*, 127 (2016) 302-310.
9. M.C. Chrispim, M. Scholz, M.A. Nolasco, *Phosphorus recovery from municipal wastewater treatment: Critical review of challenges and opportunities for developing countries*, *Journal of environmental management*, 248 (2019) 109268.
10. P.Q. Hà, N.V. Bộ, *Sử dụng phân bón trong mối quan hệ với sản xuất lương thực, bảo vệ môi trường và giảm phát thải khí nhà kính*, *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, tháng 3, (2013).
11. P.T.T. Thảo, N.X. Trách, P.K. Đăng, *Ảnh hưởng của áp dụng VietGAHP trong chăn nuôi nông hộ đến năng suất chăn nuôi lợn TNU* *Journal of Science and Technology*, 207 (2019) 149-152.
12. S. Montalvo, C. Huiliñir, A. Castillo, J. Pagés-Díaz, L. Guerrero, *Các bon, nitrogen and phosphorus recovery from liquid swine wastes: a review*, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 95 (2020) 2335-2347.
13. T.Đ. Khoa, T.T. Lê Như Hoàng Anh, N.T.D.T. Trí, H. Thị, N. Huyền, N.H. Chiểu, N.T. Thị, Đ.T.M. Hiếu, N. Quang, *Nghiên cứu thu hồi và đánh giá các tính chất của kết tủa struvite từ nước thải*
14. L. Peng, H. Dai, Y. Wu, Y. Peng, X. Lu, *A comprehensive review of phosphorus recovery from wastewater by crystallization processes*, *Chemosphere*, 197 (2018) 768-781.