VNU Journal of Science: Natural Sciences and Technology, Vol. 41, No. 3 (2025) 66-76

VNU Journal of Science: Natural Sciences and Technology

Journal homepage: https://js.vnu.edu.vn/NST

Original Article

Aquaculture Wastewater Treatment by Constructed Wetlands Planted with Anthurium Plants *(Anthurium andraeanum)*

Nguyen Minh Phuong[1,*], Tran Minh Kha[1], Bui Thi Kim Anh[2]

[1]*VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*
[2]*Institute of Science and Technology for Energy and Environment, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Hanoi, Vietnam*

Received 29th August 2024
Revised 04th January 2025; Accepted 08th January 2025

Abstract: Aquaculture wastewater often has high content of organic matter and nutrients (nitrogen, phosphorus). Along with the rapid development of the aquaculture industry is the problem of water pollution, eutrophication because of untreated wastewater. Among current wastewater treatment methods, constructed wetland technology is an environmentally friendly wastewater treatment solution, providing high treatment efficiency and low cost. In this study, constructed wetland systems planted with anthurium plants (*Anthurium andraeanum)* at laboratory-scale were established to treat shrimp farming wastewater in Quang Ninh province. The results showed that after 15 experimental days, the wetland system planted with anthurium plants on gravel and coconut fiber materials had organic matter (COD) removal efficiency, ammonium (NH_4^+-N) and phosphate (PO_4^{3-}-P) removal efficiency of 87.5%, 76% and 44.1%, respectively. The wetland system planted with anthurium plants on gravel had organic matter (COD) removal efficiency, NH_4^+-N and PO_4^{3-}-P removal efficiency of 75.7%, 46.7%, and 40.6%, respectively. Meanwhile, the COD removal efficiency, NH_4^+-N and PO_4^{3-}-P removal efficiencyin the control system were only 15.8%, 12.6% and 19.4%, respectively. The research results show the ability of constructed wetland systems planted with anthurium plants to treat aquaculture wastewater.

Keywords: Wastewater, aquaculture, constructed wetlands, anthurium plants.

* Corresponding author.
E-mail address: nmphuong.hn@hus.edu.vn

https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.5772

Nghiên cứu xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản bằng hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hồng môn (*Anthurium andraeanum*)

Nguyễn Minh Phương[1,*], Trần Minh Kha[1], Bùi Thị Kim Anh[2]

[1]*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*

[2]*Viện Khoa học Công nghệ Năng lượng và Môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 29 tháng 8 năm 2024
Chỉnh sửa ngày 04 tháng 01 năm 2025; Chấp nhận đăng ngày 08 tháng 01 năm 2025

Tóm tắt: Nước thải nuôi trồng thủy sản thường có hàm lượng chất hữu cơ, chất dinh dưỡng (nitơ, photpho) cao. Cùng với sự phát triển nhanh chóng của ngành nuôi trồng thủy sản là vấn đề ô nhiễm nguồn nước, hiện tượng phú dưỡng do nước thải không được xử lý. Trong các phương pháp xử lý nước thải hiện nay, công nghệ đất ngập nước nhân tạo là giải pháp xử lý nước thải thân thiện môi trường, cho hiệu quả xử lý cao, chi phí thấp. Nghiên cứu này sử dụng hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hồng môn (*Anthurium andraeanum*) quy mô phòng thí nghiệm để xử lý nước thải nuôi tôm ở Quảng Ninh. Kết quả cho thấy sau 15 ngày thí nghiệm, hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hồng môn trên nền vật liệu sỏi và xơ dừa cho hiệu quả xử lý chất hữu cơ (COD), amoni (NH_4^+-N), photphat (PO_4^{3-}-P) lần lượt đạt 87,5%, 76% và 44,1%. Hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hồng môn trên vật liệu sỏi cho hiệu quả xử lý chất hữu cơ (COD), NH_4^+-N, PO_4^{3-}-P lần lượt đạt 75,7%, 46,7%, và 40,6%. Trong khi đó ở hệ đối chứng cho hiệu quả loại bỏ COD, NH_4^+-N, PO_4^{3-}-P lần lượt chỉ đạt 15,8%, 12,6% và 19,4%. Kết quả nghiên cứu cho thấy tiềm năng xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản của hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hồng môn.

Từ khóa: Nước thải, nuôi trồng thủy sản, đất ngập nước nhân tạo, cây hồng môn.

1. Mở đầu

Nước thải nuôi trồng thủy sản thường có hàm lượng chất hữu cơ và chất dinh dưỡng (nitơ, photpho) cao, gây hiện tượng phú dưỡng và ảnh hưởng nghiêm trọng đến hệ sinh thái cũng như sức khỏe con người khi chưa được xử lý phù hợp [1]. Công nghệ bùn hoạt tính hiếu khí đã được áp dụng trong xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản, tuy nhiên phương pháp này tạo ra bùn thải và có tiêu tốn năng lượng cao do sự cần thiết phải sục khí [2, 3]. Công nghệ điện hóa và một số phương pháp hóa học sử dụng các chất oxy hóa mạnh như ozon sinh ra một số sản phẩm phụ có thể ảnh hưởng đến hệ sinh thái thủy vực. Các phương pháp hóa học thường đòi hỏi tiêu tốn hóa chất, chi phí cao [4]. Công nghệ sinh học sử dụng một số chủng vi khuẩn như *Bacillus subtilis, Bacillus licheniformis* và vi tảo *Chlorella vulgaris* cũng đã được áp dụng trong xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản, tuy nhiên phương pháp vi sinh cũng gặp một số khó khăn trong việc lựa chọn được chủng vi sinh có khả năng xử lý hiệu quả, đồng thời thích nghi với nước thải nuôi trồng thủy sản [5, 6]. Hiện nay trên thế giới, công nghệ đất ngập nước nhân tạo ("constructed wetlands") là công nghệ sinh thái thân thiện môi trường và đã được áp dụng trong xử lý nước thải khá hiệu quả [7, 8]. Vai trò của hệ thống đất ngập nước nhân tạo trong xử lý nước nuôi trồng thủy sản với hiệu quả loại bỏ chất hữu cơ và các chất dinh dưỡng (nitơ, photpho) đã được chứng minh qua nhiều

* Tác giả liên hệ.
Địa chỉ email: nmphuong.hn@hus.edu.vn

https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.5772

nghiên cứu trước đây trên thế giới [4, 7]. Cơ chế xử lý chất ô nhiễm trong nước thải bao gồm các quá trình xảy ra trong đất ngập nước như quá trình hấp phụ, lắng, sự chuyển hóa chất ô nhiễm bằng vi sinh vật (quá trình phân giải chất hữu cơ, quá trình nitrat hóa - phản nitrat hóa,...), sự hấp thụ ở thực vật,... [7, 8]. Với các ưu điểm nổi bật như công nghệ sinh thái thân thiện môi trường, không tiêu tốn hóa chất, chi phí đầu tư và vận hành hợp lý, không tạo ra bùn thải, đồng thời còn có khả năng cải tạo cảnh quan môi trường và hệ sinh thái, các hệ thống đất ngập nước nhân tạo đang ngày càng được ứng dụng cao trong xử lý nước thải [4, 7, 9, 10]. Một số loài thực vật như sậy (*Phragmites australis)*, cỏ nến *(Typha angustifolia)*, thủy trúc *(Cyperus alternifolius),...* thường được sử dụng trong các hệ đất ngập nước nhân tạo xử lý nước thải [4, 7, 11]. Hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hến biển (*Scirpus littoralis)* xử lý nước thải nuôi tôm cho hiệu quả xử lý chất hữu cơ (COD) đạt 76% [12]. Hiệu quả loại bỏ tổng nitơ và nitrat trong hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây cỏ nến *(T. angustifolia)* và chuối hoa *(Canna indica)* đạt 40 - 43% [11]. Hiệu quả loại bỏ nitrit trong nước thải nuôi tôm siêu thâm canh cũng được loại bỏ 83 - 94% bởi hệ đất ngập nước nhân tạo trồng sậy và cỏ nến [13]. Mặc dù trên thế giới cũng đã có một số nghiên cứu về khả năng xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản của hệ đất ngập nước nhân tạo, khả năng sử dụng một số loài thực vật tạo cảnh quan như cây lan ý (*Spathiphyllum wallisii*), cây hồng môn (*Anthurium andraeanum*),... trong các hệ đất ngập nước nhân tạo còn ít được quan tâm nghiên cứu. Nghiên cứu này được tiến hành nhằm đánh giá khả năng xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản ở Quảng Ninh của hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hồng môn (*A. andraeanum*) quy mô phòng thí nghiệm.

2. Thực nghiệm

2.1. Đối tượng

2.1.1. Nước thải nuôi trồng thủy sản

Mẫu nước thải từ ao nuôi tôm siêu thâm canh được lấy tại phường Yên Thanh, thành phố Uông Bí, tỉnh Quảng Ninh. Tọa độ vị trí lấy mẫu nước thải là 21°00'38.2"N - 106°44'52.6"E. Diện tích ao nuôi tôm là 1000 m^2 với mật độ nuôi 200 con/m^3.

2.1.2. Thực vật

Loài thực vật được sử dụng trong nghiên cứu là cây hồng môn (*Anthurium andraeanum*) (Hình 1).



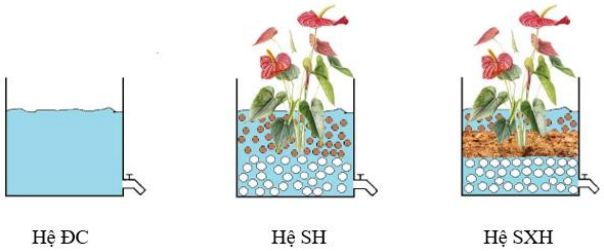
Hình 1. Cây hồng môn (*A. andraeanum).*

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Thiết kế thí nghiệm

Ba hệ thí nghiệm hình trụ làm bằng vật liệu nhựa PET có chiều cao 45 cm và đường kính 27 cm được sử dụng trong nghiên cứu. Hệ thứ nhất chỉ bổ sung nước thải (không có vật liệu và thực vật) là hệ đối chứng (ĐC), hệ thứ hai trồng cây hồng môn trên nền vật liệu là sỏi (1 lớp sỏi trắng có kích cỡ 6-8 cm ở đáy hệ với chiều dày lớp vật liệu là 8 cm và 1 lớp sỏi dăm kích cỡ 2 - 4 cm phía trên có chiều dày 8 cm) (hệ SH); hệ thứ ba trồng cây hồng môn trên nền vật liệu là sỏi và xơ dừa (1 lớp sỏi trắng kích cỡ 6-8 cm ở đáy hệ có chiều dày 8 cm, 1 lớp sỏi dăm 2 - 4 cm, phía trên có chiều dày 3 cm và 1 lớp xơ dừa ở giữa hai lớp vật liệu sỏi có chiều dày 5 cm) (hệ SXH). Số nhánh cây ban đầu của hồng môn trong mỗi hệ SH và SXH là 20. Hệ thí nghiệm là bình hở và có van lấy mẫu phía dưới. Vị trí của van lấy mẫu nước sau xử lý ở

cách đáy các hệ thí nghiệm 3 cm. Nước sau xử lý ở hệ SH sau khi qua toàn bộ lớp sỏi dăm phía trên và 5 cm đầu tiên của lớp sỏi trắng. Nước sau xử lý ở hệ SXH sau khi qua toàn bộ lớp sỏi dăm, xơ dừa và 5 cm đầu tiên của lớp sỏi trắng. Các hệ thí nghiệm sử dụng trong nghiên cứu được thể hiện trên Hình 2. Thể tích nước thải nuôi tôm ban đầu bổ sung vào mỗi hệ là 5 L. Các chỉ tiêu hóa lý (COD, NH_4^+-N, NO_2^- -N, NO_3^--N, PO_4^{3-}-P) trong mẫu nước thải ban đầu và sau thời gian lưu là 3, 5, 8, 11, 13 và 15 ngày được phân tích ở các hệ thí nghiệm. Các hệ thí nghiệm được đặt tại hành lang tầng 4 nhà T2, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội với điều kiện nhiệt độ ngoài trời (25-30 ^{0}C), có ánh sáng mặt trời chiếu trực tiếp và có mái che để không bị ảnh hưởng bởi nước mưa (nếu có).



Hình 2. Các hệ thí nghiệm trong nghiên cứu.

2.2.2. Phương pháp phân tích các chỉ tiêu hóa lý.

Các phương pháp phân tích các chỉ tiêu hóa lý trong nước thải được thể hiện trên Bảng 1. Tại các mốc thời gian thí nghiệm, trong mỗi hệ tiến hành lấy 50 mL mẫu nước để phân tích ở vòi dưới mỗi bình. Các mẫu nước trước khi phân tích được lọc qua màng lọc 0,45 µm. Các chỉ tiêu được phân tích lặp lại 3 lần để tính kết quả trung bình. Kết quả phân tích được thể hiện bằng phần mềm Microsoft Excel (version 2019).

* Hiệu quả xử lý được tính theo công thức:

$H = (C_0 – C)/C_0 \times 100$ (%)

- H: hiệu quả xử lý (%)
- C_0: nồng độ của chất phân tích trong nước thải đầu vào(mg/L).
- C: nồng độ chất phân tích sau xử lý (mg/L).

Các số liệu thí nghiệm được phân tích thống kê sử dụng ANOVA, T-test ($p<0.05$).

Bảng 1. Các phương pháp phân tích chỉ tiêu hóa lý

Chỉ tiêu	Phương pháp xác định
pH	TCVN 6492:2011
COD	TCVN 6491:1999
NH_4^+-N	Phương pháp so màu sử dụng thuốc thử Nessler
NO_3^--N	TCVN 6180:1996
Chỉ tiêu	Phương pháp xác định
pH	TCVN 6492:2011

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc điểm mẫu nước thải nuôi trồng thủy sản tại khu vực nghiên cứu

Kết quả phân tích các thông số ban đầu của nước thải nuôi trồng thủy sản được thể hiện tại Bảng 2. Kết quả phân tích cho thấy nước thải nuôi trồng thủy sản tại Quảng Ninh có hàm lượng chất hữu cơ cao (giá trị COD trong nước thải nuôi tôm đạt 600 mg/L).

Giá trị COD cao hơn 4 lần so với ngưỡng quy chuẩn cho phép QCVN 40:2011BTNMT, cột B và QCVN 02-19:2014/BNNPTNT. Hàm lượng NH_4^+-N trong mẫu nước thải nuôi tôm là 6,42 mg/L, đạt QCVN 40:2011/BTNMT, cột B.

Bảng 2. Đặc điểm của nước thải nuôi trồng thủy sản

Chỉ tiêu	Đơn vị	Mẫu nước thải nuôi tôm	QCVN 40:2011/BTNMT(B)	QCVN 02-19:2014/BNNPTNT
pH	-	7,8 ± 0,01	5,5 - 9	5,5 - 9
COD	mg/L	600 ± 15,5	150	≤150
NH_4^+-N	mg/L	6,42 ± 0,33	10	-
NO_3^--N	mg/L	1,61 ± 0,15	-	-
NO_2^--N	mg/L	1,91 ± 0,08	-	-
PO_4^{3-}-P	mg/L	2,73 ± 0,09	-	-

Ghi chú: QCVN 40:2011/BTNMT, cột B: quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải công nghiệp áp dụng cho nước thải công nghiệp thải vào nguồn tiếp nhận không dùng cho mục đích cấp nước sinh hoạt; QCVN 02-19:2014/BNNPTNT: quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về cơ sở nuôi tôm nước lợ - Điều kiện bảo đảm vệ sinh thú y, bảo vệ môi trường và an toàn thực phẩm áp dụng cho nước thải từ ao xử lý nước thải trước khi thải ra ngoài môi trường.

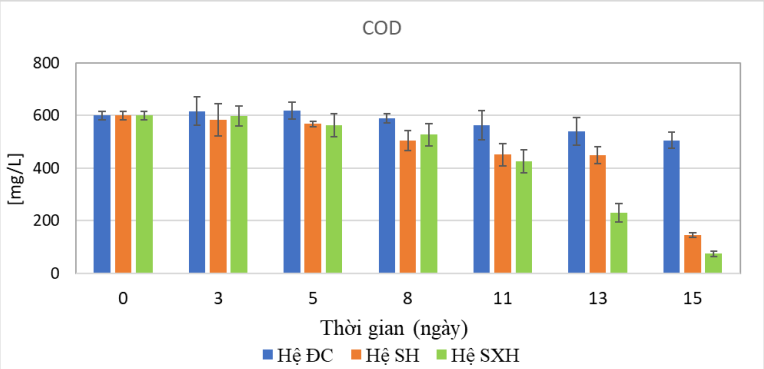
3.2. Khả năng xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản bằng hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hồng môn

3.2.1.Hiệu quả xử lý chất hữu cơ (COD)

Giá trị COD trong nước thải nuôi tôm sau các thời gian lưu khác nhau (3, 5, 8, 11, 13 và 15 ngày) của các hệ thí nghiệm được thể hiện trên Hình 3.

Kết quả cho thấy sau 15 ngày thí nghiệm, giá trị COD ở hệ đối chứng (ĐC) không có sự thay đổi nhiều, tuy nhiên giá trị COD đều giảm đáng kể ở hai hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hồng môn ($p < 0,05$). Hệ thí nghiệm trồng cây hồng môn trên nền vật liệu sỏi và xơ dừa (hệ SXH) cho khả năng xử lý chất hữu cơ (COD) cao nhất với hiệu quả giảm COD đạt 87,5%. Hệ trồng cây hồng môn trên vật liệu sỏi (hệ SH) cho hiệu quả giảm COD đạt 75,7%. Giá trị COD ban đầu giảm từ 600 ± 15,5 mg/L xuống còn 75 ± 10 mg/L ở hệ SXH, đã đạt QCVN 40:2011/BTNMT, cột B và QCVN 02-19:2014/BNNPTNT sau 15 ngày. Trong khi đó, ở hệ đối chứng (ĐC), giá trị COD chỉ giảm 15,8%. Hiệu quả loại bỏ chất hữu cơ (COD) của hệ SXH và SH trong nghiên cứu này khá tương đồng với kết quả của một số nghiên cứu trước đây về hiệu quả xử lý COD của các hệ đất ngập nước nhân tạo trồng sậy và hến biển [12, 14-16] và cao hơn kết quả nghiên cứu về khả năng xử lý nước thải xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản của một số thực vật họ cói [17]. Nghiên cứu về hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hến biển (*S. littoralis)* của tác giả Phạm Thị Thu Hằng và cộng sự (2021) tại Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh cho hiệu quả xử lý chất hữu cơ (COD) trong nước thải nuôi tôm đạt 76% [12]. Nghiên cứu về khả năng xử lý nước thải nuôi tôm tại Bến Tre bằng hệ đất ngập nước nhân tạo trồng sậy (*P. australis, P. vallatoria)* cho hiệu quả loại bỏ COD đạt 70% (giá trị COD ban đầu khoảng 300 mg/L) [16]. Nghiên cứu của Đại học Tài nguyên và môi trường thành phố Hồ Chí Minh cho hiệu quả loại bỏ COD trong nước thải nuôi tôm đạt 89,4% ở hệ đất ngập nước nhân tạo trồng sậy (giá trị COD ban đầu là 570 mg/L) [14]. Nghiên cứu về khả năng xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản tại tỉnh Bạc Liêu của hệ đất ngập nước nhân tạo trồng một số thực vật họ cói (*S. littoralis*, C. *involucratus*) và cỏ biển *(Posidoniaceae)* chỉ cho hiệu quả giảm COD trong khoảng 19 - 31% [17].

Mặc dù chưa có nghiên cứu nào về khả năng xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản của đất ngập nước nhân tạo trồng cây hồng môn, khả năng loại bỏ chất hữu cơ (COD) trong nước thải sinh hoạt của hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hồng môn (*A. andraeanum*) đã được chứng minh đạt 80% theo một nghiên cứu ở Mexico [15].



Hình 3. Sự thay đổi giá trị COD trong hệ thí nghiệm.

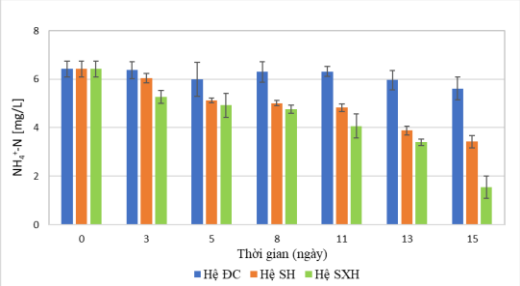
Ngoài ưu điểm về hiệu quả xử lý cao, một số nghiên cứu gần đây cũng đã chỉ ra rằng việc sử dụng thực vật tạo cảnh quan trong các hệ thống đất ngập nước nhân tạo có thể mang lại hiệu quả kinh tế do lợi nhuận từ việc bán cây cảnh và tiềm năng phát triển thành các công viên sinh thái, thu hút khách du lịch [18, 19]. Các quá trình lắng, lọc, phân hủy sinh học đều là các quá trình làm giảm nồng độ chất hữu cơ trong các hệ đất ngập nước nhân tạo xử lý nước thải [8]. Với hàm lượng lignin và cellulose cao (>40%), diện tích bề mặt lớn, độ bền cơ học tốt, vật liệu xơ dừa đã được chứng minh có vai trò quan trọng trong hấp phụ chất ô nhiễm và làm giá thể sinh học giúp tăng cường sự sinh trưởng và phát triển của các vi sinh vật tham gia vào các quá trình xử lý chất hữu cơ trong nước thải [20]. Theo nghiên cứu trước đây, hiệu quả loại bỏ chất hữu cơ trong nước thải sinh hoạt (giá trị COD đầu vào: 192 mg/L) ở hệ chỉ có xơ dừa đạt 75% sau 18 ngày, trong khi đó giá trị COD chỉ giảm 47% ở hệ đối chứng (hệ chỉ bổ sung nước thải và không có vật liệu xơ dừa [21]. Trong nghiên cứu này, ở hệ SXH, xơ dừa và bộ rễ thực vật đóng vai trò làm giá thể cho vi sinh vật phát triển, nhờ đó thúc đẩy quá trình phân hủy sinh học các chất hữu cơ trong nước thải. Ngoài ra, oxy giải phóng từ bộ rễ của một số loài thực vật ngập nước phổ biến (sậy, cỏ nến, thủy trúc,...) đã được ghi nhận đạt khoảng 2 - 6 µmol O_2/kg trọng lượng tươi/giờ sau 2 tuần trong môi trường nước thải nhân tạo [22]. Vì vậy, sự cấp oxy từ bộ rễ thực vật có khả năng thúc đẩy quá trình oxy hóa các hợp chất hữu cơ, góp phần làm tăng hiệu quả xử lý ở các hệ đất ngập nước [22].

3.2.2. Hiệu quả xử lý NH_4^+-N

Sự thay đổi nồng độ NH_4^+-N trong 15 ngày thí nghiệm được thể hiện trên hình 4. Sau 3 ngày đầu thí nghiệm, nồng độ NH_4^+-N ở hệ SXH và SH lần lượt chỉ giảm 17,97% và 5,94%, tương ứng. Sau 15 ngày, hiệu quả loại bỏ NH_4^+-N đạt 76% ở hệ SXH (nồng độ NH_4^+-N giảm từ 6,42 ± 0,33 xuống còn 1,54 ± 0,45 mg/L) và 46,7% ở hệ SH (nồng độ NH_4^+-N còn 3,42 ± 0,26 mg/L), trong khi đó ở hệ đối chứng, nồng độ NH_4^+-N chỉ giảm 12,6% ($p < 0,05$).

Hiệu quả xử lý NH_4^+-N của các hệ đất ngập nước nhân tạo xử lý nước thải đã được ghi nhận đạt 30 - 99% [16, 23]. Hiệu quả xử lý NH_4^+-N bởi các hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hồng môn trong nghiên cứu này (46,7 – 76%) khá tương đồng với hiệu quả loại bỏ NH_4^+-N của hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây sậy (*P. australis, P. vallatoria)* xử lý nước thải nuôi tôm ở Bến Tre (64,1 - 76,6%) [16]. Một số nghiên cứu trước đây sử dụng hệ đất ngập nước nhân tạo trồng các loài thực vật tạo cảnh quan như cây chuối hoa *(C. indica)*, cây lan ý (*S. wallisii*) cho hiệu quả loại bỏ NH_4^+-N đạt khoảng 30 - 73% [23]. Một số cơ chế loại bỏ NH_4^+-N trong các hệ đất ngập nước nhân tạo đã được chứng minh là quá trình hấp phụ, quá trình nitrat hóa - phản nitrat hóa và sự hấp thụ amoni ở thực vật [8, 24, 25]. Sỏi là loại vật liệu nền phổ biến trong các hệ thống đất ngập nước nhân tạo xử lý nước thải [9, 25]. Dung lượng

hấp phụ NH_4^+-N của sỏi (kích cỡ 0,3 - 0,9 mm) trong các hệ đất ngập nước nhân tạo được ghi nhận trong khoảng 0,31 - 0,77 mg/g [26]. Với ưu điểm dễ kiếm, dung lượng hấp phụ một số cation và anion trong nước thải tốt, việc tận dụng các phụ phẩm nông nghiệp như rơm rạ, vỏ trấu, xơ dừa,... làm vật liệu trong các hệ thống đất ngập nước ngày càng trở nên phổ biến [9, 25]. Với diện tích bề mặt đạt 286,7 - 540,6 m^2/g, tỷ trọng 1,2 g/cm^3, xơ dừa và nhiều vật liệu biến tính từ xơ dừa đã được ứng dụng trong xử lý nước [27, 28]. Hiệu quả loại bỏ amoni trong nước thải sinh hoạt bởi hệ thí nghiệm chỉ có xơ dừa đạt 68% [21]. Dung lượng hấp phụ NH_4^+-N của than hoạt tính từ gáo dừa đạt 5,47 mg/g [29].



Hình 4. Sự thay đổi nồng độ NH_4^+-N trong các hệ thí nghiệm.

Ngoài quá trình hấp phụ, sự tiết oxy từ vùng rễ thực vật có thể làm tăng cường quá trình nitrat hóa, vì vậy góp phần đáng kể trong việc giảm nồng độ amoni trong nước thải [22]. Ngoài ra, amoni cũng được hấp thụ ở thực vật [24, 30]. Trong nghiên cứu này, với số nhánh cây ban đầu của hồng môn ở mỗi hệ SH và SXH là 20, khi kết thúc thí nghiệm, hồng môn thích nghi và sinh trưởng tốt trong môi trường nước thải nuôi trồng thủy sản với số nhánh cây tăng nhẹ ở hệ SH và hệ SXH lần lượt là 24 và 30 nhánh. Theo C. Muratore và cộng sự (2021), NH_4^+-N có thể được thực vật hấp thụ ở nồng độ 1 - 45 mM [30]. Nghiên cứu trước đây cho thấy tốc độ hấp thụ amoni của các loài thực vật ngập nước đạt 3,57 - 68,97 mmol/kg trọng lượng tươi/giờ [31].

3.2.3. Hiệu quả xử lý NO_2^--N

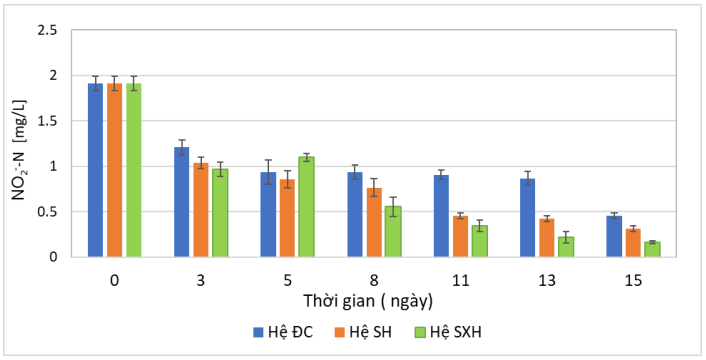
Sự thay đổi nồng độ NO_2^--N trong nước thải nuôi tôm ở các thời gian lưu khác nhau của các hệ thí nghiệm được thể hiện trên Hình 5.

Kết quả cho thấy khả năng loại bỏ NO_2^--N rất tốt ở hệ SXH và hệ SH. Ở hệ SXH, hiệu bỏ loại bỏ NO_2^--N lên đến 91,6% (nồng độ NO_2^--N giảm từ 1,91 ± 0,08 mg/L xuống còn 0,16 ± 0,02 mg/L). Ở hệ SH, hiệu quả loại bỏ NO_2^--N đạt 83,7%. Hiệu quả loại bỏ NO_2^--N ở cả hai hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hồng môn trong nghiên cứu này phù hợp với kết quả nghiên cứu trước đây, cho hiệu quả loại bỏ NO_2^--N đạt 83 - 94% ở hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây sậy (*P. australis*) và cỏ nến *T. angustifolia* L.) xử lý nước thải nuôi tôm siêu thâm canh ở Đài Loan [13] và hệ đất ngập nước trồng một số thực vật thuộc họ cói để xử lý nước thải nuôi tôm ở Việt Nam (>90%) [12]. Nitrit trong nước thải có thể được loại bỏ nhờ quá trình nitrat hóa trong các hệ đất ngập nước nhân tạo [8]. Ngoài ra, dung lượng hấp phụ NO_2^--N của than sinh học từ gáo dừa được ghi nhận dao động trong khoảng 0,24 - 15,1 mg/g [32].

3.2.4. Hiệu quả xử lý NO_3^--N

Sự thay đổi nồng độ NO_3^--N trong 15 ngày thí nghiệm được thể hiện trên Hình 6.

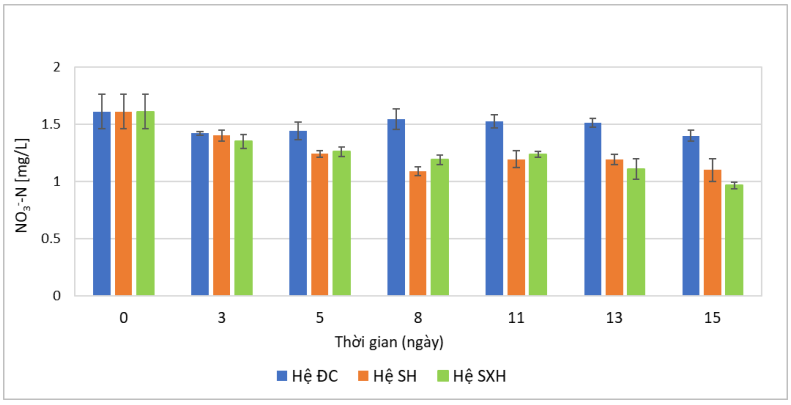
Kết quả cho thấy hiệu quả xử lý NO_3^--N ở hệ SXH và hệ SH lần lượt đạt 40% và 31,7%. Ở hệ đối chứng, hiệu quả loại bỏ NO_3^--N chỉ đạt 13,2% ($p < 0,05$). Kết quả của nghiên cứu này khá tương đồng với nghiên cứu của T. Mahmood và cộng sự (2015), cho thấy hiệu quả xử lý NO_3^--N ở hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây cỏ nến (*T. angustifolia)* và chuối hoa (*C. indica*) để xử lý nước thải nuôi tôm ở Trung Quốc đạt khoảng 43,8% [11].



Hình 5. Sự thay đổi nồng độ NO_2^--N trong hệ thí nghiệm.

Nghiên cứu xử lý nước thải nuôi tôm tại Bến Tre sử dụng hệ đất ngập nước nhân tạo trồng sậy (*P. australis, P. vallatoria)* cũng cho hiệu quả xử lý NO_3^- -N đạt khoảng 45% [16]. Trong các hệ đất ngập nước nhân tạo, quá trình phản nitrat hóa đóng vai trò quan trọng trong việc giảm nồng độ nitrat trong nước thải [8]. Sự cung cấp chất hữu cơ từ vùng rễ thực vật hoặc từ chính các vật liệu phụ phẩm nông nghiệp như xơ dừa, vỏ trấu...trong các hệ đất ngập nước nhân tạo có thể góp phần làm tăng cường quá trình phản nitrat hóa [8, 31, 33, 34]. Với diện tích bề mặt lớn và hàm lượng carbon trong xơ dừa đạt 49,6%, xơ dừa và các vật liệu biến tính từ xơ dừa được sử dụng để loại bỏ nitrat trong nước thải [27, 32].

Dung lượng hấp phụ nitrat của than sinh học từ xơ dừa đạt 12,97 mg/g [32]. Ngoài ra, thực vật cũng có khả năng hấp thụ nitrat và làm giảm nồng độ nitrat trong nước thải [27]. Nghiên cứu trước đây cho thấy tốc độ hấp thụ NO_3^- -N của các loài thực vật ngập nước đạt 3,79 - 28,57 mmol/kg trọng lượng tươi/giờ [31]. Theo nghiên cứu của Zurita và cộng sự (2011), hiệu quả loại bỏ tổng nitơ (TN) trong nước thải sinh hoạt của hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hồng môn được ghi nhận đạt 70% [15].

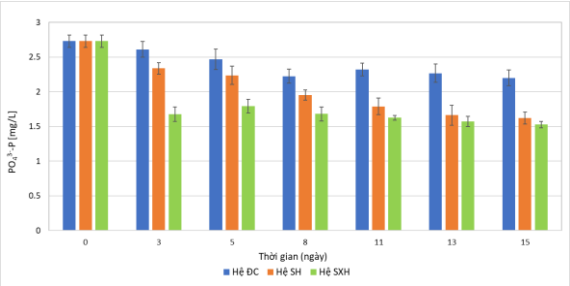


Hình 6. Sự thay đổi nồng độ NO_3^--N trong hệ thí nghiệm.

3.2.5. Hiệu quả xử lý PO_4^{3-}-P

Sự thay đổi nồng độ PO_4^{3-} -P trong các hệ thí nghiệm được thể hiện trên hình 7. Hệ SXH và hệ SH cho hiệu quả loại bỏ PO_4^{3-}-P lần lượt là 44,1% và 40,6%. Trong khi đó, ở hệ đối chứng, nồng độ PO_4^{3-} -P chỉ giảm 19,4% ($p < 0,05$). Kết quả về hiệu quả loại bỏ PO_4^{3-} -P của nghiên cứu này cao hơn kết quả nghiên cứu trước đây về hiệu quả loại bỏ PO_4^{3-} -P ở hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây cỏ nến (*T. angustifolia)* và chuối hoa (*C. indica*) xử lý nước thải nuôi tôm (13,1%) [11] và khá tương

đồng với hiệu quả loại bỏ PO_4^{3-}-P trong nước thải nuôi tôm ở Bến Tre của hệ đất ngập nước trồng sậy (30 - 55%) [16]. Theo nghiên cứu trước đây, hệ đất ngập nước nhân tạo trồng các loài thực vật tạo cảnh quan như cây chuối hoa (*C. indica*), lan ý (*S. wallisii*), cây vân môn (*Zantedeschia aethiopica)*,... có khả năng loại bỏ photphat trong nước thải đạt 30 - 80% [23]. Cơ chế loại bỏ photphat trong nước thải ở các hệ đất ngập nước nhân tạo có thể gồm các quá trình hấp phụ trên vật liệu, quá trình tích lũy photpho ở vi sinh vật và quá trình hấp thụ ở thực vật [8]. Khả năng hấp phụ photpho của sỏi trong hệ đất ngập nước xử lý nước thải đạt 129,73 mg/kg [25]. Xơ dừa và một số vật liệu biến tính từ xơ dừa cũng đã được chứng minh có khả năng loại bỏ tốt các anion như nitrat và photphat có trong nước thải [21, 32, 35]. Dung lượng hấp phụ PO_4^{3-}-P của xơ dừa biến tính đạt 200 mg/g [35]. Ngoài ra, các loài thực vật ngập nước có khả năng hấp thụ photpho. Nghiên cứu của L. Nikolic và cộng sự (2023) chỉ ra rằng sậy (*P. australis*) có thể tích lũy photpho trong sinh khối đạt 2,57 - 13,12 g/m^2 [36]. Tốc độ hấp thụ PO_4^{3-}-P của các loài thực vật ngập nước như *Dracaena sanderiana*, *Juncus effusus* L,... đạt 0,16 - 2,06 mmol/kg trọng lượng tươi/giờ [31].



Hình 7. Sự thay đổi nồng độ PO_4^{3-}-P trong hệ thí nghiệm.

4. Kết luận

Hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hồng môn (*A. andraeanum*) quy mô phòng thí nghiệm trong nghiên cứu này có khả năng xử lý chất hữu cơ và amoni khá tốt trong nước thải nuôi tôm tại phường Yên Thanh, thành phố Uông Bí, tỉnh Quảng Ninh. Hiệu quả loại bỏ chất hữu cơ (COD) và amoni (NH_4^+-N) ở hai hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây hồng môn lần lượt đạt 75,7 - 87,5% và 46,7 - 76% sau 15 ngày thí nghiệm. Kết quả của nghiên cứu này là cơ sở khoa học để sử dụng cây hồng môn trong các hệ thống đất ngập nước nhân tạo trong xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản (đặc biệt là chất hữu cơ và amoni).

Tài liệu tham khảo

[1] C. B. C. Brana, K. Cerbule, P. Senff, I. K. Stolz, Towards Environmental Sustainability in Marine Finfish Aquaculture, Frontiers in *Marine Science*, Vol. 8, 2021, https://doi.org/10.3389/fmars.2021.666662.

[2] L. Gordo, X. Huang, S. L. Aalto, P. B. Pedersen, Activated Sludge Denitrification in Marine Recirculating Aquaculture System Effluent Using External and Internal Carbon Sources, Aquacultural Engineering, Vol. 90, 2020, https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102096.

[3] N. T. Nguyen, P. L. T. Nguyen, T. B. C. Vo, Advances in Aeration and Wastewater Treatment in Shrimp Farming: Emerging Trends, Current Challenges, and Future Perspectives, AQUA - Water Infrastructure, Ecosystems and Society, Vol. 73, No. 5, 2024, pp. 902-916, https://doi.org/10.2166/aqua.2024.328.

[4] A. H. M. Kashem, P. Das, A. H. Hawari, et al., Aquaculture From Inland Fish Cultivation to Wastewater Treatment: A Review, Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, Vol. 22, 2023, pp. 969-1008, https://doi.org/10.1007/s11157-023-09672-1.

[5] A. P. Tom, J. S. Jayakumar, M. Biju, J. Somarajan, M. A. Ibrahim, Aquaculture Wastewater Treatment Technologies and Their Sustainability: A review, Energy Nexus, Vol. 4, 2021, pp. 100022, https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100022.

[6] B. Geng, Y. Li, X. Liu et al., Effective Treatment of Aquaculture Wastewater with Mussel/Microalgae/Bacteria Complex Ecosystem: A Pilot Study, Scientific Reports, Vol. 12, 2022, https://doi.org/10.1038/s41598-021-04499-8.

[7] Y. Tepe, F. A. Temel, Treatment of Effluents from Fish and Shrimp Aquaculture in Constructed Wetlands, in Constructed Wetlands for Industrial Wastewater Treatment, Wiley, 2018, pp. 105-125, https://doi.org/10.1002/9781119268376.ch5.

[8] J. García, D. P. L.Rousseau, J. Morató, E. Lesage, V. Matamoros, J. M. Bayona, Contaminant Removal Processes in Subsurface-Flow Constructed Wetlands: A Review, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol. 40, No. 7, 2010, pp. 561-661, https://doi.org/10.1080/10643380802471076.

[9] H. Ikrema, S. R. Chowdhury, P. K. Prihartato, S. A. Razzak, Wastewater Treatment Using Constructed Wetland: Current Trends and Future Potential, Processes Vol. 9, No. 11, 2021, https://doi.org/10.3390/pr9111917.

[10] S. Wu, P. Kuschk, H. Brix, J. Vymazal, R. Dong, Development of Constructed Wetlands in Performance Intensifications for Wastewater Treatment: A Nitrogen and Organic Matter Targeted Review, Water Research, Vol. 57, 2014, pp. 40-55, https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.020.

[11] T. Mahmood, J. Zhang, G. Zhang, Assessment of Constructed Wetland in Nutrient Reduction, in the Commercial Scale Experiment Ponds of Freshwater Prawn *Macrobrachium rosenbergii*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 96, 2016, pp. 361-368, https://doi.org/10.1007/s00128-015-1713-3.

[12] P. T. T Hang, V. Cochevelou, H. D. K. Dinh, F. Breider, P. Rossi, Implementation of a Constructed Wetland for The Sustainable Treatment of Inland Shrimp Farming Water, Journal of Environmental Management, Vol. 279, 2021, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111782.

[13] Y. F. Lin, S. R. Jing, D. Y. Lee, Y. F. Chang, Y. M. Chen, K. C Shih, Performance of a Constructed Wetland Treating Intensive Shrimp Aquaculture Wastewater under High Hydraulic Loading Rate, Environmental Pollution, Vol. 134, 2005, pp. 411-421, https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.09.015.

[14] T. D. Phan, N. T. Dinh. Highly Efficient Treatment of Shrimp Farm Wastewater by Using The Horizontal Subsurface flow (HSSF) Constructed Wetlands with *Phragmites australis* Plant. Asian Journal of Environment & Ecology, 2017, pp. 1-9, https://doi.org/10.9734/AJEE/2017/37021.

[15] F. Zurita, M. A. Belmont, J. D. Anda, J. R. White, Seeking a Way to Promote the use of Constructed Wetlands for Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries, Water Science & Technology, Vol. 63, 2011, pp. 654-659, https://doi.org/10.2166/wst.2011.229.

[16] L. T. That, H. Y. Hoang, Utilizing a Settling Pond-based Constructed Wetland for the Treatment of Shrimp Aquaculture Wastewater - From Laboratory to Field Scale: A Case study in Ben Tre Province, Vietnam, Ecological Engineering, Vol. 199, 2024, https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107172.

[17] H. Q. A. Le, T. N. Dinh, D. T. Phan, et al., Treatment of Shrimp Farm Effluents Using a Combination of Native Plant Species in the Mekong Delta Region, International Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 20, 2023, pp. 4459-4466, https://doi.org/10.1007/s13762-022-04238-0.

[18] F. G. Avila, A. A. Añazco, R. C. Torres, A. G. Quito, M. C. Galabay, H. G. Ortega, R .A. Ochoa, C. Z. Arévalo, Application of Ornamental Plants in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Scientometric Analysis, Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, Vol. 7, 2023, https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100307.

[19] H. Zhang, W. Tang, W. Wang, W. Yin, H. Liu, X. Ma, Y. Zhou, P. Lei, D. Wei, L. Zhang, C. Liu, J. Zha, A Review on China's Constructed Wetlands in Recent Three Decades: Application and Practice, Journal of Environmental Sciences, Vol. 104, 2021, pp. 53-68, https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.11.032.

[20] N. Sato, W. Dharmarathne, S. Takeshi, S. Hiroyasu, T. Norio, K. Ken, Microcosm Experiments on a Coconut-Fibre Biofilm Treatment System to Evaluate Wastewater Treatment Efficiencies, International Journal of Geomate, Vol. 12, No. 33, 2017, pp. 160-166, http://dx.doi.org/10.21660/2017.33.2754.

[21] P. M. Nguyen, L. M. Luu, H. T. Do, Initial Research on Evaluation of Domestic Wastewater Treatment by Using Coconut Fiber Substrate, Journal of Environment, Special Issue, 2021, pp. 135-139 (in Vietnamese).

[22] F. Yao, G. Shen , X. Li, H. Li, H. Hu, W. Ni, A Comparative Study on The Potential of Oxygen Release by Roots of Selected Wetland Plants,

Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2011, pp. 475-478, https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.11.001.

[23] L Sandoval, S. A. Z. Castro; M. V. Álvarez, J. L. M. Muñiz, Role of Wetland Plants and Use of Ornamental Flowering Plants in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review, Applied Sciences, Vol. 9, No. 4, 2019, https://doi.org/10.3390/app9040685.

[24] Y. Chen, Y. Wen, Q. Zhou, J. Vymazal, Effects of Plant Biomass on Nitrogen Transformation in Subsurface-Batch Constructed Wetlands: A Stable Isotope and Mass Balance Assessment. Water Research, Vol. 63, 2014, pp. 158-167, https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.06.015.

[25] C. Yang, X. Zhang, Y. Tang, Y. Jiang, S. Xie, Y. Zhang, Y. Qin, Selection and Optimization of the Substrate in Constructed Wetland: A Review, Journal of Water Process Engineering, Vol. 49, 2022, https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103140.

[26] W. Zhu, L. Cui, Y. O. Yang, C. Long, X. Tang, Kinetic Adsorption of Ammonium Nitrogen by Substrate Materials for Constructed Wetlands, Pedosphere, Vol. 21, No. 4, 2011, pp. 454-463, https://doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60147-1.

[27] L. Mishra, G. Basu, Coconut Fibre: Its Structure, Properties and Applications, Editor(s): R. M. Kozłowski, M. M. Talarczyk, In Woodhead Publishing Series in Textiles, Handbook of Natural Fibres (Second Edition), Woodhead Publishing, 2020, pp. 231-255, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818398-4.00010-4.

[28] M. H. Khan, N. M. Akash, S. Akter, M. Rukh, C. Nzediegwu, M. Islam, A Comprehensive Review of Coconut-based Porous Materials for Wastewater Treatment and CO_2 Capture, Journal of Environmental Management, Vol. 338, 2023, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117825.

[29] B. Han, C. Butterly, W. Zhang, J. He, D. Chen, Adsorbent Materials for Ammonium and Ammonia Removal: A Review, Journal of Cleaner Production, Vol. 283, 2021, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124611.

[30] C. Muratore, L. Espen, B. Prinsi. Nitrogen Uptake in Plants: The Plasma Membrane Root Transport Systems from a Physiological and Proteomic Perspective. Plants (Basel), Vol. 10, No. 4, 2021, https://doi.org/10.3390/plants10040681.

[31] F. Yao, J. Sun, C. Tang, W. Ni, Kinetics of Ammonium, Nitrate and Phosphate Uptake by Candidate Plants Used in Constructed Wetlands, Procedia Environmental Sciences, Vol. 10, Part B, 2011, pp. 1854-1861, https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.290.

[32] M. Konneh, S. M. Wandera, S. I. Murunga, J. M. Raude, Adsorption and Desorption of Nutrients from Abattoir Wastewater: Modelling and Comparison of Rice, Coconut and Coffee Husk Biochar, Heliyon, Vol. 7, No. 11, 2021, https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08458.

[33] C. Fan, S. He, S. Wu et al., Improved Denitrification in Surface Flow Constructed Wetland Planted with Calamus. Journal of Cleaner Production, Vol. 291, 2021, pp. 125944, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125944.

[34] X. Zhang, P. Guo, X. Yang et al., Research on Enhanced Effects and Mechanisms of Nitrogen Removal with Plant Carbons Sources in Constructed Wetlands, Journal of Environmental Chemical Engineering, Vol. 11, 2023, pp. 110397, https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110397.

[35] A. C. A. de Lima, R. F. Nascimento, F. F. de Sousa, J. M. Filho, A. C. Oliveira. Modified Coconut Shell Fibers: A Green and Economical Sorbent for the Removal of Anions from Aqueous Solutions, Chemical Engineering Journal, Vol. 185186, 2012, pp. 274-284, https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.037.

[36] L. Nikolic, I. Maksimović, D. Džigurski, M. P. Delić, B. L. Mašić, Removal of Nitrogen and Phosphorus by Aboveground Biomass of *Phragmites australis* in Constructed Wetland System under the Conditions of Temperate Continental Climate, International Journal of Phytoremediation, Vol. 25, 2023, pp. 483-492, https://doi.org/10.1080/15226514.2022.2090498.