



Original Article

Aquaculture Wastewater Treatment Using Constructed Wetlands Planted with Umbrella Palm (*Cyperus alternifolius*)

Nguyen Minh Phuong^{1,*}, Hoang Thi Luu Ly^{1,2}

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

²Institute of Environmental Sciences and Public Health,
165 Duong Quang Ham, Nghia Do, Hanoi, Vietnam

Received 08th August 2025

Revised 15th September 2025; Accepted 30th September 2025

Abstract: Aquaculture in Vietnam plays an important role in the economy, however along with that is the problem of water pollution due to untreated wastewater. This study evaluated the capacity of constructed wetlands (CW) planted with umbrella palm (*Cyperus alternifolius*) using gravel, coconut fiber and Leca materials as substrate layers to treat aquaculture wastewater in Quang Ninh. The results showed that after 14 days, the wetland system planted with *C. alternifolius* on gravel and coconut fiber (CW1) and the wetland system planted with *C. alternifolius* using gravel and Leca (CW2) had good organic matter removal capacity with COD and BOD₅ reduction efficiency of over 82%, while the system using only gravel and coconut fiber (CW3) had COD and BOD₅ reduction efficiency of 71.6% and 75.9%, respectively; the system using only gravel and Leca (CW4) had COD and BOD₅ reduction efficiencies of 75.2 and 77.4%, respectively. After 14 days, the CW1 system had total suspended solids (TSS), ammonium (NH₄⁺-N), nitrate (NO₃⁻-N) and phosphate (PO₄³⁻-P) removal efficiencies of 71.3%, 93.6%, 74.2% and 88.5%, respectively; meanwhile the TSS, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N and PO₄³⁻-P removal efficiencies in the CW2 system reached 76%, 87.7%, 68.5% and 92.8%, respectively. The research results showed the potential for applying constructed wetland systems planted with umbrella palm to treat aquaculture wastewater in Vietnam.

Keywords: Constructed wetlands, aquaculture wastewater, umbrella palm, coconut fiber, Leca.

* Corresponding author.

E-mail address: nmpuong.hn@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5422>

Nghiên cứu xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản bằng hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây thủy trúc (*Cyperus alternifolius*)

Nguyễn Minh Phương^{1,*}, Hoàng Thị Lưu Ly^{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

²Viện Khoa học Môi trường và Sức khỏe Cộng đồng, 165 Dương Quảng Hàm, Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 08 tháng 8 năm 2025

Chỉnh sửa ngày 15 tháng 8 năm 2025; Chấp nhận đăng ngày 30 tháng 9 năm 2025

Tóm tắt: Ngành nuôi trồng thủy sản ở Việt Nam đóng vai trò quan trọng trong nền kinh tế, tuy nhiên cùng với đó là vấn đề ô nhiễm nguồn nước do nước thải không được xử lý. Nghiên cứu này đánh giá khả năng sử dụng hệ đất ngập nước nhân tạo (ĐNNNT) (CW) trồng cây thủy trúc *Cyperus alternifolius* (*C. alternifolius*) trên nền vật liệu sỏi, xơ dừa và Leca để xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản ở Quảng Ninh. Kết quả cho thấy sau 14 ngày thí nghiệm, hệ ĐNNNT trồng thủy trúc *C. alternifolius* trên vật liệu sỏi và xơ dừa (CW1) và hệ ĐNNNT trồng thủy trúc *C. alternifolius* sử dụng vật liệu sỏi và Leca (CW2) có khả năng loại bỏ chất hữu cơ tốt với hiệu quả giảm các thông số COD và BOD₅ đều đạt >82%, trong khi đó, hệ thí nghiệm chỉ sử dụng vật liệu sỏi và xơ dừa (CW3) cho hiệu quả giảm COD và BOD₅ lần lượt là 71,6% và 75,9%; hệ chỉ sử dụng sỏi và Leca (CW4) cho hiệu quả giảm COD và BOD₅ lần lượt là 75,2 và 77,4%. Sau 14 ngày, hệ CW1 cho hiệu quả loại bỏ tổng chất rắn lơ lửng (TSS), amoni (NH₄⁺-N), nitrat (NO₃⁻-N) và photphat (PO₄³⁻-P) lần lượt là 71,3%, 93,6%, 74,2% và 88,5%; hiệu quả loại bỏ TSS, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N và PO₄³⁻-P ở hệ CW2 lần lượt đạt 76%, 87,7%, 68,5% và 92,8%. Kết quả nghiên cứu cho thấy tiềm năng ứng dụng hệ đất ngập nước nhân tạo trồng cây thủy trúc *C. alternifolius* để xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản ở Việt Nam.

Từ khóa: ĐNNNT, nước thải nuôi trồng thủy sản, thủy trúc, xơ dừa, Leca.

1. Mở đầu

Cùng với sự phát triển nhanh chóng của ngành nuôi trồng thủy sản là vấn đề ô nhiễm môi trường nước do nước thải nuôi trồng thủy sản chưa được xử lý hợp lý. Với đặc tính giàu chất hữu cơ, nitơ, phốt pho,... nước thải nuôi trồng thủy sản gây ra nhiều ảnh hưởng đến hệ sinh thái thủy vực, là nguyên nhân gây ra hiện tượng phú dưỡng và các tác động có hại khác đến thủy sinh

vật và con người [1]. Ở nồng độ cao, amoni có thể trở nên độc hại đối với cá và sự phát triển nhanh chóng của tảo. Nitrit rất độc với một số loại cá, gây ra suy hô hấp do mất khả năng vận chuyển ôxy trong máu [2]. Nitrat và photphat cũng góp phần lớn gây ra hiện tượng phú dưỡng và tảo nở hoa [1, 2]. Xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản bằng phương pháp hóa học có nhiều bất lợi vì có thể tạo ra bùn thải độc hại, có khả năng gây ô nhiễm thứ cấp và ảnh hưởng đến sức khỏe

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: nmphuong.hn@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5422>

con người [3]. Các phương pháp hóa học cũng thường tốn kém và không thân thiện với môi trường, trong khi đó, phương pháp sinh học trong xử lý nước thải tiết kiệm chi phí và ít tạo ra sản phẩm phụ độc hại hơn [3, 4]. Trong các phương pháp sinh học thân thiện môi trường đang được áp dụng hiện nay, công nghệ đất ngập nước tự nhiên (ĐNNNT) là công nghệ xử lý nước thải được thiết lập và tạo dựng mô phỏng có điều chỉnh theo tính chất của đất ngập nước tự nhiên với thực vật được lựa chọn và thiết kế để tận dụng các quá trình trong hệ đất ngập nước tự nhiên. Trong các hệ ĐNNNT, nhiều quá trình diễn ra như hấp phụ, kết tủa, sự hấp thụ ở thực vật và các quá trình phân hủy sinh học được thực hiện nhờ vi sinh vật,... đều đóng góp vào quá trình xử lý nước thải [5]. Một số nghiên cứu trên thế giới cho thấy hệ ĐNNNT trồng các loài thực vật như sậy, cỏ,... có khả năng cho hiệu quả xử lý chất hữu cơ (COD) trong nước thải nuôi trồng thủy sản có thể đạt >70% [6, 7]. Sỏi, đá vôi, zeolite, cát,... là một số vật liệu phổ biến thường được sử dụng làm chất nền trong hệ ĐNNNT [8]. Xơ dừa là vật liệu phổ biến thường được sử dụng làm giá thể trồng cây [9]. Viên đất sét nung nhẹ hay còn gọi là Leca (được viết tắt từ "Light expanded clay aggregates") là vật liệu có độ bền cơ học, có khả năng giữ nước, giúp duy trì độ ẩm và lưu thông khí tốt cho vùng rễ cây, tuy nhiên vật liệu này cũng chưa được áp dụng rộng rãi trong hệ ĐNNNT xử lý nước thải [10]. Nghiên cứu này được tiến hành nhằm đánh giá khả năng xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản ở Quảng Ninh của các hệ ĐNNNT trồng cây thủy trúc *Cyperus alternifolius* (*C. alternifolius*) trên nền vật liệu sỏi, xơ dừa và Leca quy mô phòng thí nghiệm.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Nước thải nuôi trồng thủy sản được lấy từ kênh xả của ao nuôi tôm với diện tích 2000 m², chiều sâu 2 m, mật độ nuôi là 100 con/m². Mẫu nước thải được bảo quản trong can nhựa sạch, không tiếp xúc với ánh sáng và được vận chuyển

đến phòng thí nghiệm Bộ môn Công nghệ Môi trường, Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội để phân phối vào các hệ thí nghiệm.

Thực vật sử dụng là thủy trúc *C. alternifolius*; các vật liệu sử dụng là sỏi trắng (kích cỡ 3-5 cm), sỏi dăm (kích cỡ 4-8 mm), Leca (kích cỡ 1 cm) và xơ dừa (dạng sợi). Hệ ĐNNNT được sử dụng trong nghiên cứu được mô tả trong mục 2.2.1.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Thiết kế thí nghiệm

Bốn hệ thí nghiệm được sử dụng trong nghiên cứu, gồm có CW1, CW2, CW3 và CW4. Mỗi hệ có chiều cao 62 cm, đường kính 14 cm. Trong mỗi hệ đều được bố trí một lớp vật liệu là sỏi trắng (3-5 cm) phía dưới đáy, sau đó là sỏi dăm (4-8 mm), tiếp đến là xơ dừa (ở hệ CW1 và CW3); và Leca (ở hệ CW2 và CW4) (Hình 1). Thủy trúc được trồng trong hệ CW1, CW2 và có lượng sinh khối cây ban đầu là 250 g/hệ. Lớp vật liệu trên cùng của cả bốn hệ là sỏi dăm. Các hệ thí nghiệm được thiết kế dạng hở, có vòi để lấy nước thải đầu ra. Hệ được đặt ở tầng 4 nhà T2, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội ở điều kiện nhiệt độ ngoài trời (25-30°C) và có ánh sáng mặt trời. Thể tích nước thải ở mỗi hệ là 4 L. Mẫu nước thải được tiến hành phân tích các chỉ tiêu hóa lý ở các thời gian lưu là 0, 2, 4, 6, 11 và 14 ngày.

2.2.2 Phương pháp phân tích các chỉ tiêu hóa lý

Phương pháp phân tích các chỉ tiêu hóa lý trong nước thải được thể hiện ở Bảng 1. Các mẫu nước trước khi phân tích được lọc qua màng 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 phân mềm Microsoft Excel.

Hiệu quả xử lý được tính theo công thức:

$$H = (C_0 - C) / C_0 \times 100 (\%)$$

- H: hiệu quả xử lý (%);

- C₀: nồng độ của chất phân tích trong nước thải đầu vào (mg/L);

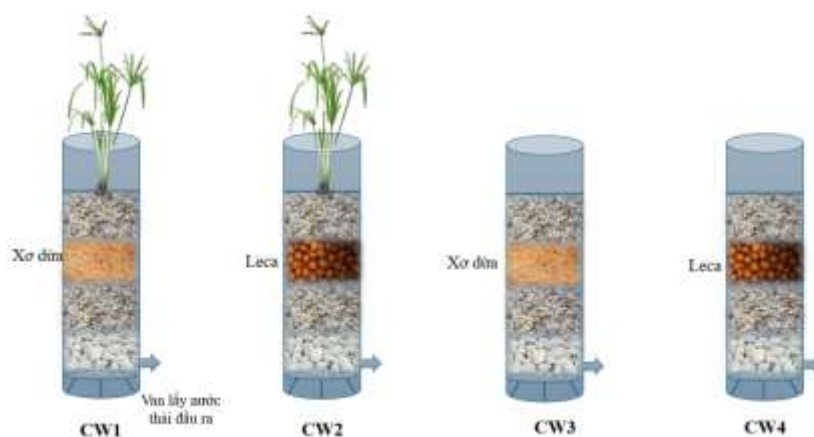
- C: nồng độ chất phân tích sau xử lý (mg/L.).

pH được xác định theo TCVN 6292:2011, sử dụng máy đo HI8314-1, Hanna. Hàm lượng TSS được xác định theo TCVN 6625:2000 (sử dụng máy lọc chân không, sấy giấy lọc trong tủ sấy ở nhiệt độ 103-105°C trong 1 giờ, để nguội giấy ở nhiệt độ phòng và bảo quản trong bình hút âm, lượng cặn được xác định bằng cách cân khối lượng giấy lọc sau sấy). COD được xác định theo SMEWW 5520C:2023, sử dụng $K_2Cr_2O_7$ là tác nhân oxy hóa mạnh trong môi trường H_2SO_4 đặc (phá mẫu ở 150°C trong 2 giờ), sau đó chuẩn độ bằng muối Mohr. BOD₅ được xác định theo TCVN 6001-1:2021 (ủ mẫu trong 5 ngày ở 20 °C trong điều kiện tối). Nồng độ NH_4^+ -N được xác định theo TCVN 6179-1:1996 (phương pháp trắc phổ thao tác bằng tay, so màu ở bước sóng 655 nm). Nồng độ NO_3^- -N được xác định theo TCVN

6180:1996 (phương pháp trắc phổ sử dụng axit sunfosalixilic, so màu ở bước sóng 420 nm). Nồng độ PO_4^{3-} -P được xác định theo TCVN 6202:2008 (sử dụng amoni molipdat, so màu ở bước sóng 880 nm).

Bảng 1. Phương pháp phân tích các chỉ tiêu hóa lý

Các chỉ tiêu phân tích	Các phương pháp phân tích
pH	TCVN 6492 : 2011
TSS	TCVN 6625:2000
COD	SMEWW 5520C:2023
BOD ₅	TCVN 6001-1:2021
NH_4^+ -N	TCVN 6179-1:1996
NO_3^- -N	TCVN 6180:1996
PO_4^{3-} -P	TCVN 6202:2008



Hình 1. Các hệ ĐNNNT sử dụng trong nghiên cứu.

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

Chỉ tiêu	Đơn vị	Mẫu nước thải nuôi trồng thủy sản	QCVN 40:2011/BTNMT (cột B)	QCVN 02-19:2014/BNNPTNT
TSS	mg/L	43 ± 4	100	≤100
COD	mg/L	176 ± 9,8	150	≤150
BOD ₅	mg/L	107,5 ± 6	50	≤50
NH_4^+ -N	mg/L	1,25 ± 0,02	10	-
NO_3^- -N	mg/L	1,1 ± 0,03	-	-
PO_4^{3-} -P	mg/L	1,49 ± 0,031	-	-
pH	-	7,86 ± 0,08	5,5 - 9	5,5 - 9

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. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc điểm mẫu nước thải nuôi trồng thủy sản

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 giá trị pH đạt giá trị trung tính ($7,86 \pm 0,08$); hàm lượng chất hữu cơ khá cao (giá trị COD và BOD₅ lần lượt là $176 \pm 9,8$ mg/L và $107,5 \pm 6$ mg/L).

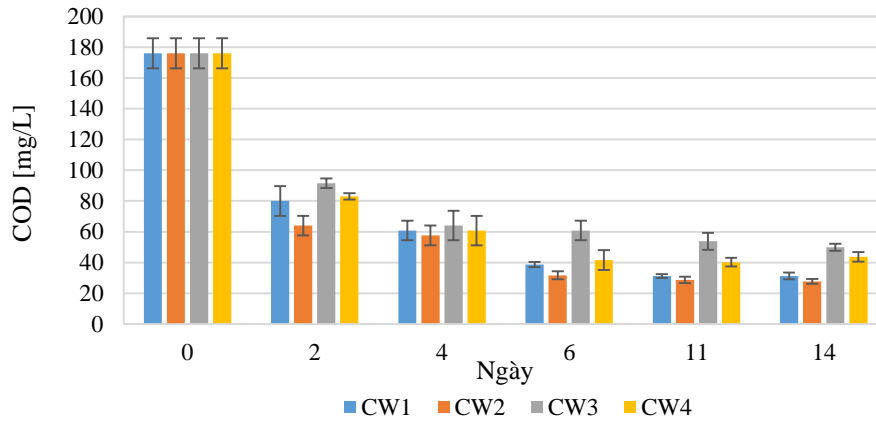
Giá trị COD và BOD₅ cao hơn 1,17-2,15 lần so với ngưỡng quy chuẩn cho phép QCVN 40:2011BTNMT, cột B và QCVN 02-19:2014/BNNPTNT. Hàm lượng TSS trong

nước thải nuôi trồng thủy sản là 43 ± 4 mg/L, đạt QCVN 40:2011BTNMT, cột B và QCVN 02-19:2014/BNNPTNT. Hàm lượng NH₄⁺-N là $1,25 \pm 0,02$ mg/L, nằm trong ngưỡng so với QCVN 40:2011BTNMT, cột B. Hàm lượng NO₃⁻-N và PO₄³⁻-P mg/L đều < 1,5 mg/L.

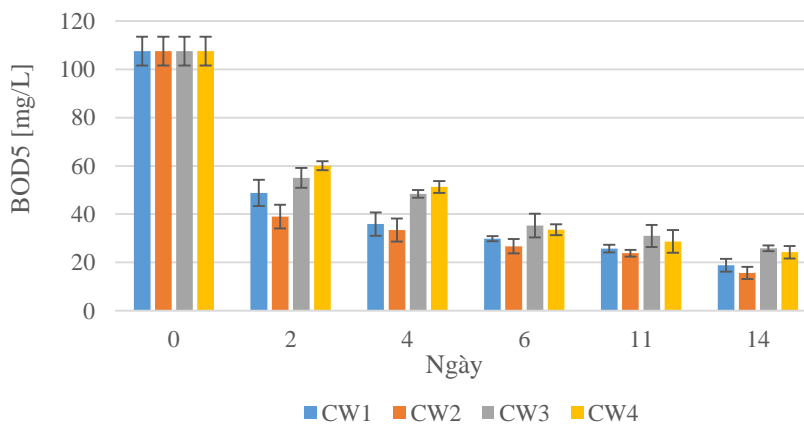
3.2. Khả năng xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản

3.2.1. Hiệu quả xử lý chất hữu cơ (COD, BOD₅)

Giá trị COD và BOD₅ trong nước thải nuôi tôm trong quá trình thí nghiệm được thể hiện lần lượt ở Hình 2 và Hình 3.



Hình 2. Sự thay đổi giá trị COD trong các hệ thí nghiệm.



Hình 3. Sự thay đổi giá trị BOD₅ trong các hệ thí nghiệm.

Sau 14 ngày thí nghiệm, hệ CW1 và CW2 có trồng cây thủy trúc có giá trị COD và BOD₅ giảm mạnh nhất, với hiệu suất xử lý COD và BOD₅ lần lượt đạt 82,23% và 82,45% ở hệ CW1 và 84,24% và 85,43% ở hệ CW2. Trong khi đó, hiệu quả giảm COD và BOD₅ ở hệ CW3 lần lượt là 71,63% và 75,94%; ở hệ CW4 lần lượt là 75,19% và 77,43%. Giá trị COD ở hai hệ CW2 và CW1 lần lượt là $27,7 \pm 1,63$ mg/L và $31,3 \pm 2,21$ mg/L, đã đạt QCVN 40:2011/BTNMT, cột B và QCVN 02-19:2014/BNNPTNT. Kết quả của nghiên cứu này khá tương đồng với một số nghiên cứu trước đây trên thế giới về hiệu quả xử lý chất hữu cơ trong nước thải nuôi trồng thủy sản của các hệ thống ĐNNNT. Trong nghiên cứu của Tepe và cộng sự (cs) (2018) về 11 hệ ĐNNNT xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản cho hiệu quả giảm COD trung bình đạt ~86% [7]. Trong nghiên cứu của Elela và cs (2017), hiệu suất xử lý COD của hệ ĐNNNT trồng cây cỏ giấy *Cyperus papyrus* là 86% [11]. Theo nghiên cứu của Le và cs (2023), hiệu quả giảm COD chỉ đạt 31% ở hệ ĐNNNT trồng *Scirpus littoralis*, *Cyperus involucratus* và *Posidoniaceae* xử lý nước thải nuôi tôm ở khu vực đồng bằng sông Mekong (nồng độ COD ban đầu là 106 ± 14 mg/L) [12]. Theo một nghiên cứu tại Việt Nam của Hoàng Thị Thu Hằng và cs (2024), kết quả nghiên cứu sau 14 ngày cho thấy khả năng loại bỏ BOD₅ trong nước thải giàu hữu cơ của cây thủy trúc lên tới 96% [13]. Sự loại bỏ chất hữu cơ trong các hệ ĐNNNT bằng quá trình lắng – lọc vật lý, quá trình phân hủy hiếu khí ở vùng rễ giàu oxy và phân hủy kỵ khí ở các tầng sâu [14]. Tiềm năng giải phóng oxy ở vùng rễ có thể tăng nguồn cung cấp oxy cho hệ ĐNNNT và tăng cường quá trình chuyển hóa và loại bỏ chất hữu cơ bằng con đường hiếu khí [15]. Khả năng giải phóng oxy từ bộ rễ của thủy trúc *C. alternifolius* trong môi trường dinh dưỡng và nước thải nhân tạo đã được ghi nhận đạt khoảng $1,46 - 1,94$ $\mu\text{mol O}_2/\text{kg}$ khối lượng tươi/giờ [15]. Ngoài ra, bộ rễ thực vật và các vật liệu trong hệ ĐNNNT như sỏi, xơ dừa, Leca có vai trò quan trọng trong hấp phụ chất ô nhiễm, đồng thời làm giá thể cho vi sinh vật trong nước thải thực hiện quá trình phân hủy chất hữu cơ ô nhiễm [16]. Hiệu quả loại bỏ chất hữu cơ (COD) trong nước

thải chăn nuôi bởi hệ ĐNNNT trồng sậy *P. australis* sử dụng vật liệu Leca có thể đạt >90% [10]. Hạt Leca (kích thước 1,5-2,5 mm) có dung trọng khoảng 750 kg/m^3 và diện tích bề mặt đạt khoảng $2200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ [17]. Nghiên cứu trước đây cho thấy Leca có khả năng hấp phụ các chất hữu cơ như phenanthrene, fluoranthene và pyrene đạt lần lượt là 70,70; 70,82 và 72,12%, khi sử dụng khối lượng chất hấp phụ là 0,2 g sau 21 giờ. Khả năng hấp phụ tăng lên và đạt 92,61; 93,91 và 94,15% với phenanthrene, fluoranthene và pyrene khi tăng khối lượng vật liệu đến 4,0 g LECA [17]. Xơ dừa và một số vật liệu biến tính từ xơ dừa có diện tích bề mặt trong khoảng 286,7 - 540,6 m^2/g [18, 19]. Khả năng hấp phụ các chất hữu cơ như thuốc nhuộm xanh metylen, Congo đỏ bởi các vật liệu biến tính từ xơ dừa đã được chứng minh [20]. Ngoài ra, các vi khuẩn thuộc chi *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Halomonas*,... có khả năng phân giải chất hữu cơ trong các hệ ĐNNNT sử dụng vật liệu sỏi, xơ dừa đã được phát hiện [21].

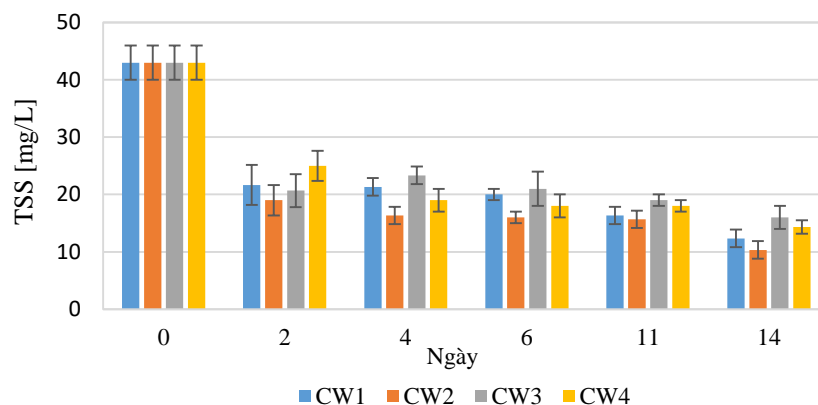
3.2.2. Hiệu quả xử lý tổng chất rắn lơ lửng

Sự thay đổi hàm lượng TSS trong các hệ thí nghiệm được thể hiện ở Hình 4. Kết quả cho thấy hàm lượng TSS trong các hệ thí nghiệm đều giảm rõ rệt theo thời gian lưu. Sau 14 ngày, hệ CW1 và CW2 có hiệu quả xử lý lần lượt là 71,32% và 75,97%. Hàm lượng TSS giảm mạnh nhất ở hệ CW2 (từ 43 ± 4 mg/L xuống còn $10,3 \pm 1,5$ mg/L), sau đó là ở hệ CW1, giá trị TSS giảm còn $12,3 \pm 1,5$ mg/L sau 14 ngày.

Ở hệ CW3 (chỉ sử dụng sỏi, xơ dừa) và hệ CW4 (chỉ sử dụng vật liệu sỏi, Leca) hiệu quả xử lý đạt lần lượt là 62,79% và 66,67% sau 14 ngày thí nghiệm. Khả năng loại bỏ TSS bởi các hệ ĐNNNT đã được chứng minh trước đây [5, 22]. Nghiên cứu của Dordio và cs (2013) cho thấy hệ ĐNNNT trồng sậy *Phragmites australis* sử dụng chất nền là Leca cho hiệu quả loại bỏ TSS trong nước thải chăn nuôi đạt >80% [10]. Theo một nghiên cứu gần đây ở Việt Nam, khả năng loại bỏ ở cây thủy trúc rất cao, đạt tới 98% chỉ trong 14 ngày, nồng độ TSS giảm từ ~201,8 mg/L xuống dưới 5 mg/L, vượt trội so với nhiều loài thực vật khác [13]. Hầu hết rễ cây ở các hệ ĐNNNT có cấu trúc dạng lưới, hoạt động như

một hệ thống lọc tự nhiên để loại bỏ TSS. Hệ rễ đan xen dày đặc, tạo điều kiện cho quá trình lắng,

đồng thời thúc đẩy vi sinh vật vùng rễ phân hủy chất hữu cơ [13, 22].



Hình 4. Sự thay đổi hàm lượng TSS trong các hệ thí nghiệm.

3.2.3. Hiệu quả xử lý $\text{NH}_4^+\text{-N}$ và $\text{NO}_3^-\text{-N}$

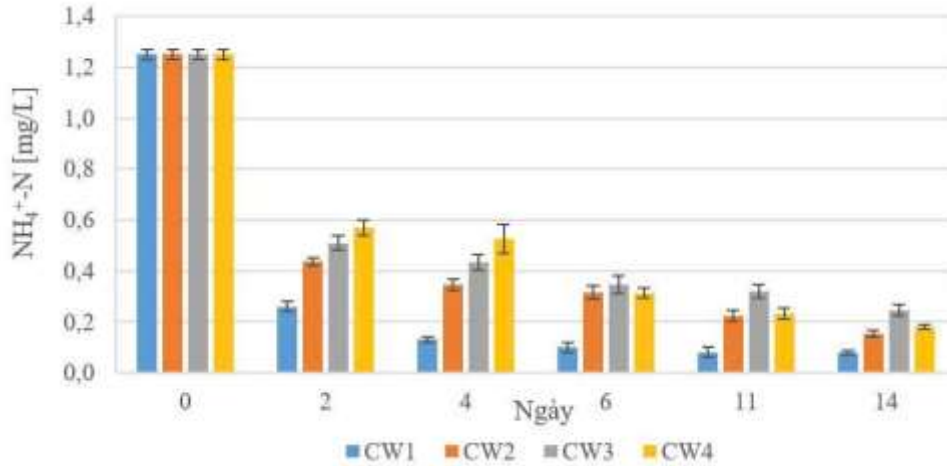
Sự thay đổi nồng độ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ và $\text{NO}_3^-\text{-N}$ trong các hệ thí nghiệm lần lượt được thể hiện ở Hình 5 và Hình 6. Kết quả cho thấy nồng độ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ đều có sự giảm mạnh ở các hệ thí nghiệm. Sau 14 ngày thí nghiệm, nồng độ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ở hệ CW1 và CW2 giảm mạnh nhất, từ nồng độ ban đầu là $1,25 \pm 0,02$ mg/L giảm còn $0,08 \pm 0,01$ mg/L ở hệ CW1 và $0,15 \pm 0,01$ mg/L ở hệ CW2. Hiệu quả loại bỏ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ cao nhất ở hệ CW1, sau đó là hệ CW2, tiếp theo là hệ CW4 và CW3, với hiệu suất lần lượt là 93,60%, 87,73%, 85,60% và 80,27%. Theo các nghiên cứu trước đây, quá trình nitrat hóa và phản nitrat hóa được xem là cơ chế chính trong xử lý nitơ ở các hệ ĐNNNT [14, 22]. Trong thí nghiệm xử lý nước thải nuôi tôm bằng hệ ĐNNNT trồng cây thủy trúc của Nguyễn Trung Hiệp và cs (2023), sau 30 ngày, hiệu quả xử lý $\text{NH}_4^+\text{-N}$ đạt 80,18 - 98,97% và nồng độ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ sau xử lý đạt 0,04 - 1,11 mg/L (nồng độ ban đầu trong khoảng 3,9 - 5,6 mg/L) [23]. Ở một nghiên cứu khác của Hoàng Thị Thu Hằng và cs (2024), sau 14 ngày, hệ thí nghiệm sử dụng thủy trúc cho hiệu quả xử lý $\text{NH}_4^+\text{-N}$ đạt 86,83% (nồng độ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ trong nước thải giảm từ giá trị ban đầu là 6,91 mg/L xuống còn 0,91 mg/L) [13]. Theo nghiên cứu của Raharjo và cs (2018), hệ ĐNNNT chỉ sử dụng thủy trúc có thể loại bỏ 66,7% $\text{NH}_4^+\text{-N}$ trong

nước thải cá tra [24]. Trong nghiên cứu của Liu và cs (2016), hiệu quả xử lý $\text{NH}_4^+\text{-N}$ trong nước thải nuôi cá (nồng độ amoni ban đầu: 0,9-1,3 mg/L) đạt 60- 80% bởi hệ ĐNNNT trồng cây diên vĩ *Iris pseudacorus* [16]. Trong một nghiên cứu sử dụng hệ thống ĐNNNT trồng sậy *P. australis* và *P. vallatoria* xử lý nước thải nuôi tôm ở Bến Tre (nồng độ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ trong nước thải ban đầu là 1,4 mg/L), hiệu quả loại bỏ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ trong đạt đến 77% sau 4 tuần xử lý [22]. Theo nghiên cứu trước đây, khả năng tiết oxy từ vùng rễ của cây thủy trúc *C. alternifolius* đạt tối đa 3,5 $\mu\text{mol O}_2/\text{kg}$ khối lượng tươi/giờ sau 4 tuần trong môi trường nước thải nhân tạo [15]. Khả năng tiết oxy từ bộ rễ thực vật góp phần tăng cường quá trình oxy hóa amoni trong nước thải [14, 15].

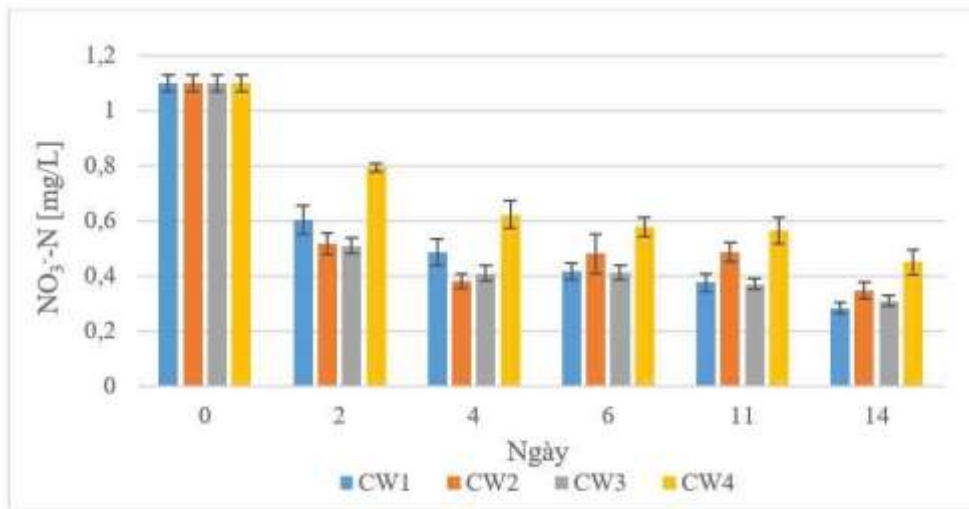
Với kết quả về sự thay đổi nồng độ $\text{NO}_3^-\text{-N}$, sau 14 ngày, nồng độ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ở mỗi hệ đều có xu hướng giảm, hiệu quả loại bỏ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ở CW1, CW2, CW3 lần lượt đạt 74,24%, 68,48% và 71,82%; hiệu quả loại bỏ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ở hệ CW4 (chỉ sử dụng sỏi và Leca) là thấp nhất, chỉ đạt 59,09%. Nghiên cứu sử dụng hệ ĐNNNT trồng sậy cho hiệu quả loại bỏ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ trong nước thải nuôi tôm ở Bến Tre chỉ đạt khoảng 45% [22]. Nghiên cứu của Hamid và cs (2022) cho thấy khả năng xử lý $\text{NO}_3^-\text{-N}$ trong nước thải nuôi cá ở hệ thí nghiệm thủy canh trồng cải tại bèo *L. sativa* sử dụng sỏi và Leca cho hiệu suất đạt 77% [25].

Dung lượng hấp phụ NO_3^- -N của xơ dừa biến tính và Leca được ghi nhận lần lượt đạt 13 mg/g và 56,31 mg/g [26, 27]. Quá trình phản nitrat hóa là quá trình đóng vai trò quan trọng trong việc giảm nồng độ nitrat trong nước [14]. Quá trình này được tăng cường nhờ sự có mặt của nguồn cacbon hữu cơ và vai trò của vi sinh vật phản

nitrat hóa [28, 29]. Một số nghiên cứu trên thế giới đã bổ sung thêm nguồn cacbon bằng cách sử dụng biochar, phụ phẩm nông nghiệp như vỏ trấu, xơ dừa hoặc sinh khối thực vật trong hệ ĐNNNT để thúc đẩy quá trình phản nitrat hóa và tăng hiệu quả xử lý nitrat [28, 29].



Hình 5. Sự thay đổi nồng độ NH_4^+ -N trong các hệ thí nghiệm.



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

3.2.4. Hiệu quả xử lý PO_4^{3-} -P

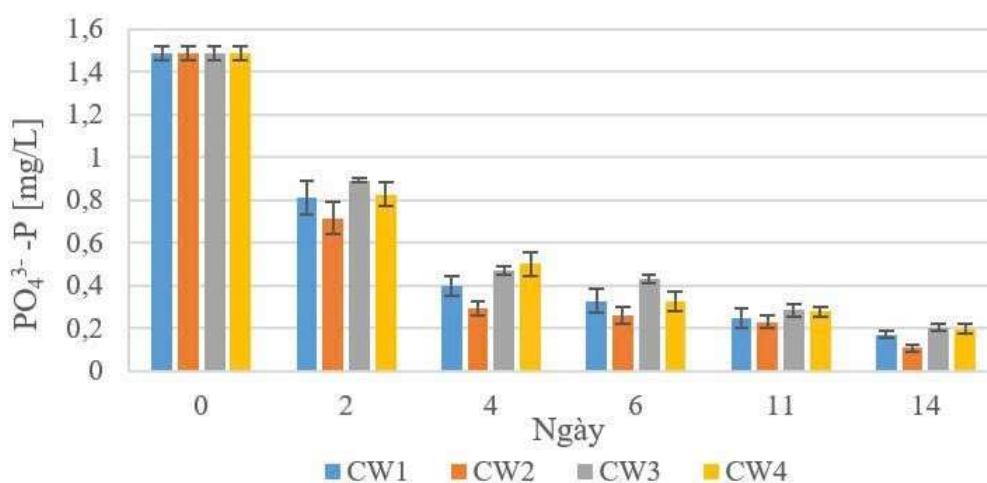
Sự thay đổi nồng độ PO_4^{3-} -P trong các hệ thí nghiệm được thể hiện ở Hình 7.

Kết quả cho thấy sau 14 ngày thí nghiệm, nồng độ PO_4^{3-} -P giảm mạnh ở cả bốn hệ thí nghiệm.

Sau 14 ngày, hệ CW2 có khả năng loại bỏ PO_4^{3-} -P tốt nhất với hiệu quả xử lý đạt 92,83%. Hiệu quả giảm PO_4^{3-} -P ở các hệ CW1, CW3 và CW4 lần lượt đạt 88,57%, 86,32% và 86,77%. Nghiên cứu xử lý nước thải nuôi cá tra của

Raharjo và cs (2018) chỉ sử dụng thủy trúc cho hiệu quả xử lý $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ đạt 71,2% [24]. Trong một nghiên cứu khác của Hamid và cs (2022), hiệu quả loại bỏ $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ của hệ thí nghiệm thủy canh trồng cải tai bèo *L. sativa* sử dụng vật liệu Leca đạt khoảng 64% [25]. Nghiên cứu sử dụng hệ ĐNNNT trồng sậy cho hiệu quả loại bỏ $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ trong nước thải nuôi tôm ở Bến Tre chỉ đạt tới 55% [22]. Trong các hệ ĐNNNT, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ có thể được loại bỏ nhờ quá trình hấp thụ ở thực vật, quá trình hấp phụ trên vật liệu và tích lũy

phốt pho ở vi sinh vật vùng rễ [8]. Khả năng hấp phụ của sỏi với phốt pho được ghi nhận đạt 129,7 mg/kg và vật liệu Leca (với hàm lượng SiO_2 khoảng 62%) có dung lượng hấp phụ P có thể đạt tới 1000 mg/kg [9, 17, 26]. Theo nghiên cứu trước đây, xơ dừa biến tính có khả năng hấp phụ $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ đạt 200 mg/g [30]. Ngoài ra, một số thực vật ngập nước trong các hệ ĐNNNT có khả năng hấp thụ P trong nước thải, trong đó thủy trúc *C. alternifolius* có khả năng hấp thụ P đạt 4,9 g/kg [31].



Hình 7. Sự thay đổi nồng độ $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ trong các hệ thí nghiệm.

4. Kết luận

Nghiên cứu cho thấy hệ ĐNNNT trồng cây thủy trúc *C. alternifolius* trên nền vật liệu sỏi, xơ dừa và Leca có hiệu quả xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản ở Quảng Ninh khá tốt. Sau 14 ngày thí nghiệm, hệ ĐNNNT CW1 và CW2 có khả năng loại bỏ chất hữu cơ đạt tốt nhất (với hiệu quả giảm COD và BOD_5 đạt 82 - 84%). Giá trị COD và BOD_5 sau xử lý đều đạt quy chuẩn cho phép (QCVN 40:2011/BTNMT, cột B và QCVN 02-19:2014/BNNPTNT). Hiệu quả loại bỏ TSS, amoni và photphat của các hệ thí nghiệm CW1, CW2 (hệ sử dụng thủy trúc, vật liệu sỏi, xơ dừa, Leca) đều đạt >70%; hiệu quả loại bỏ TSS, amoni, photphat của các hệ CW3, CW4 (chỉ sử dụng vật liệu sỏi, xơ dừa và Leca)

đạt >62%. Hiệu quả loại bỏ nitrat ở ba hệ CW1, CW2 và CW3 đạt 68-74% và thấp nhất ở hệ CW4 (59,1%). Nghiên cứu cho thấy tiềm năng ứng dụng của công nghệ ĐNNNT trồng cây thủy trúc *C. alternifolius* trên nền vật liệu sỏi, xơ dừa và Leca trong xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản. Kết quả của nghiên cứu này mới ở quy mô phòng thí nghiệm với mô hình nhỏ, vì vậy cần triển khai thử nghiệm trên mô hình quy mô pilot hoặc ngoài thực địa tại một số cơ sở nuôi trồng thủy sản ở Quảng Ninh để đánh giá hiệu quả xử lý trong điều kiện thực tế và tính ổn định của hệ ĐNNNT, ngoài ra cũng cần xác định tính khả thi về mặt kinh tế khi triển khai ở quy mô hộ gia đình hoặc trang trại nuôi trồng thủy sản và tiềm năng tái sử dụng nước sau xử lý cho mục đích tưới tiêu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Hà Nội trong đề tài mã số QG.24.07.

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] D. R. Kioussis, F. W. Wheaton, P. Kofinas, Reactive Nitrogen and Phosphorus Removal from Aquaculture Wastewater Effluents Using Polymer Hydrogels, *Aquacultural Engineering*, Vol. 23, 2000, pp. 315-332, [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(00\)00058-3](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(00)00058-3).
- [3] X. Liu, Y. Wang, H. Liu, Y. Zhang, Q. Zhou, X. Wen, W. Guo, Z. Zhang, A Systematic Review on Aquaculture Wastewater: Pollutants, Impacts, and Treatment Technology, *Environmental Research*, Vol. 262, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119793J>.
- [4] B. T. Iber, N. A. Kasan, Recent Advances in Shrimp Aquaculture Wastewater Management, *Heliyon*, Vol. 7, 2021, pp. e08283, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08283>.
- [5] H. Wu, J. Zhang, H. H. Ngo, W. Guo, Z. Hu, S. Liang, J. Fan, H. Liu, A Review on the Sustainability of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Design and Operation, *Bioresource Technology*, Vol. 175, 2015, pp. 594-601, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.068>.
- [6] 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>.
- [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. T. Mogale, M. K. Maluleke, The Effect of Varying Coconut Coir Substrates and Loam Soil on the Physiology, and Biochemical Constituents of Tomato (*Solanum lycopersicum* var. *esculentum*) Grown Under Greenhouse Environment, *Discover Sustainability*, Vol. 6, 2025, <https://doi.org/10.1007/s43621-025-00933-3>.
- [9] 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>.
- [10] A. Dordio, A. J. Carvalho, Constructed Wetlands with Light Expanded Clay Aggregates for Agricultural Wastewater Treatment, *Science of the Total Environment*, Vol. 463 - 464, 2013, pp. 454-461, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.052>.
- [11] S. I. A. Elela, M. A. Elekhaway, M. T. Khalilv, M. S. Hellal, Factors Affecting the Performance of Horizontal Flow Constructed Treatment Wetland Vegetated with *Cyperus Papyrus* for Municipal Wastewater Treatment, *International Journal of Phytoremediation*, Vol. 19, 2017, pp. 102-1028, <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1319327>.
- [12] Q. A. Le, N. Dinh, T. Phan, P. Nguyen, N. Pham, L. Nguyen, U. Rudolph, J. Hilbig, 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.
- [13] H. T. T. Hang, N. D. Tuan, Assessment of the Growth Characteristics of Umbrella *Papyrus* (*Cyperus alternifolius* L.) and its Effects on Reducing Nitrate, BOD₅, and TSS in Organically Polluted Water, *Journal of Tropical Science and Technology*, Vol. 34, 2024, pp. 35-46.
- [14] J. Garcia, D. P. L. Rousseau, J. Morat, E. L. S. 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, 2010, pp. 561-661, <https://doi.org/10.1080/10643380802471076>.
- [15] 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>.
- [16] J. Liu, N. K. Yi, S. Wang, L. J. Lu, X. F. Huang, Impact of Plant Species on Spatial Distribution of Metabolic Potential and Functional Diversity of Microbial Communities in A Constructed Wetland Treating Aquaculture Wastewater, *Ecological Engineering*, Vol. 94, 2016, pp. 564-573.
- [17] M. A. Nkansah, A. A. Christy, T. Barth, G. W. Francis, The Use of Lightweight Expanded Clay Aggregate (LECA) as Sorbent for PAHs Removal

- from Water, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 217-218, 2012, pp. 360-365.
- [18] 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>.
- [19] 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 CO₂ Capture, *Journal of Environmental Management*, Vol. 338, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117825>.
- [20] L. Zhang, L. Y. Tu, Y. Liang, Q. Chen, Z. Li, C. Li, Z. Wang, W. Li, Coconut-based Activated Carbon Fibers for Efficient Adsorption of Various Organic Dyes, *RSC Advances*, Vol. 8, 2018, pp. 42280-42291.
- [21] A. Rani, M. Chauhan, K. Sharma, M. Kumari, D. Mitra, S. Joshi, Microbiological Dimensions And Functions in Constructed Wetlands: A Review, *Current Research in Microbial Sciences*, Vol. 7, 2024, pp. 100311, <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100311>.
- [22] 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>.
- [23] N. T. Hiep, L. H. Q. Anh, P. D. Tuan, D. S. Khang, P. D. Dong, H. T. N Han, D. T. Thuan, D. T. Nga, Improving the Treatment of Saline Wastewater from Shrimp Farms Using Hybrid Constructed Wetlands Models toward Sustainable Development, *Environment and Natural Resources Journal*, Vol. 21, 2023, pp. 54-562, <https://doi.org/10.32526/enrj/21/20230146>.
- [24] S. Raharjo, E. S. F. Irmawati, M. Manaf, Constructed Wetland with Flow Water Surface Type for Elimination of Aquaculture Wastewater from Catfish (*Clarias gariepinus*, Var), IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 187, 2018, pp. 012061, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/187/1/012061>.
- [25] S. H. Hamid, F. Lananan, N. A. M. Noor, A. Endut, Physical Filtration of Nutrients Utilizing Gravel-based and Lightweight Expanded Clay Aggregate (LECA) as Growing Media in Aquaponic Recirculation System (ARS), *Aquacultural Engineering*, Vol. 98, 2022, pp. 102261, <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2022.102261>.
- [26] E. M. Kalhori, T. J. A. Musawi, E. Ghahramani, H. Kazemian, M. Zarrabi, Enhancement of the Adsorption Capacity of the Light-Weight Expanded Clay Aggregate Surface for the Metronidazole Antibiotic by Coating with Mgo Nanoparticles: Studies on the Kinetic, Isotherm, and Effects of Environmental Parameters, *Chemosphere*, Vol. 175, 2017, pp. 8-20.
- [27] 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>.
- [28] V. R. Mano, N. Vasudevan, Removal of Nutrients in Denitrification System Using Coconut Coir Fibre for the Biological Treatment of Aquaculture Wastewater, *Journal of Environmental Biology*, Vol. 33, 2012, pp. 271-276.
- [29] X. Zhang, P. Guo, X. Yang, X. Yao, H. Cong, B. Xu, 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>.
- [30] A. C. A. D. Lima, R. F. Nascimento, F. F. D. 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>.
- [31] L. H. Cui, X. Z. Zhu, Y. Ouyang, Y. Chen, F. L. Yang, Total Phosphorus Removal from Domestic Wastewater with *Cyperus Alternifolius* Vertical-Flow Constructed Wetlands at the Microcosm Level, *International Journal of Phytoremediation*, Vol. 13, 2011, pp. 692-701.