



Original Article

Study on Aquaculture Wastewater Treatment by Aquatic Plants

Nguyen Minh Phuong*, Nguyen Huu Hung, Tran Minh Kha, Cung Phuong Hoa

VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

Received 19 August 2023

Revised 06 November 2023; Accepted 01 December 2023

Abstract: The aquaculture sector is fast developed in Vietnam, whereas untreated water pollution remains an issue. This study used three aquatic plant species, namely *Ceratophyllum demersum*, *Alternanthera paronychioides*, and *Cyperus corymbosus* to treat aquaculture wastewater in Quang Ninh. In the experiment with shrimp farming wastewater, after 16 days of experiment, the results showed *C. demersum* had the highest ability to remove organic matter (COD) up to 95.2% and the removal efficiency of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ reached 96.3%, whereas the removal efficiency of organic matter (COD) and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ of *A. paronychioides* were 90.5% and 97%, respectively; the removal efficiency of organic matter (COD) and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ of *C. corymbosus* were 66.7% and 81.8%, respectively. In the experiment with fish farming wastewater, *C. corymbosus* had the highest ability to remove organic matter (COD) up to 96% and the removal efficiency of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ reached 100%, the removal efficiency of organic matter (COD) and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ of *A. paronychioides* were 91.8% and 86%, respectively; the removal efficiency of organic matter (COD) and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ of *C. demersum* were 83.7% and 76.4%, respectively; whereas in the control sample, the removal efficiency of organic matter (COD) and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ were only 34.7% and 56%, respectively. In the experiment with shrimp farming wastewater, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ treatment efficiency in the *C. corymbosus*, *C. demersum* and *A. paronychioides* system was 76.1%, 78.7% and 82%, respectively after 3 days of experiment, however $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration gradually increased until the 16th day. In the experiment with fish farming wastewater, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration gradually increased during 16 experimental days in systems using three aquatic plants ($\text{NO}_3^-\text{-N} < 3$ mg/L at the end of the experiment). The results prove the ability to treat organic matter and ammonium of *C. demersum*, *A. paronychioides* and *C. corymbosus*, however, further studies need to be conducted to limit the increase of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration in aquaculture wastewater treatment.

Keywords: wastewater, aquaculture, aquatic plants.

* Corresponding author.

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

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4995>

Nghiên cứu khả năng xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản bằng thực vật thủy sinh

Nguyễn Minh Phương*, Nguyễn Hữu Hùng, Trần Minh Kha, Cung Phương Hoa

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

Nhận ngày 19 tháng 8 năm 2023

Chỉnh sửa ngày 06 tháng 11 năm 2023; Chấp nhận đăng ngày 01 tháng 12 năm 2023

Tóm tắt: Ngành nuôi trồng thủy sản ở Việt Nam đang phát triển mạnh mẽ, tuy nhiên cùng với đó là vấn đề ô nhiễm nguồn nước do nước thải không được xử lý. Nghiên cứu này đã sử dụng ba loài thực vật là rong đuôi chồn (*Ceratophyllum demersum*), cây đậu (*Alternanthera paronychioides*) và cây cói (*Cyperus corymbosus*) để xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản ở Quảng Ninh. Với nước thải nuôi tôm, kết quả sau 16 ngày thí nghiệm cho thấy cây rong đuôi chồn có khả năng loại bỏ chất hữu cơ (COD) đạt 95,2% và hiệu quả loại bỏ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ đạt 96,3%. Hiệu quả xử lý chất hữu cơ (COD) và $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ở cây đậu lần lượt đạt 90,5% và 97%; hiệu quả xử lý COD và $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ở cây cói lần lượt đạt 66,7% và 81,8%. Với nước thải nuôi cá, cây cói cho hiệu quả xử lý tốt nhất với khả năng loại bỏ chất hữu cơ (COD) lên tới 96%, hiệu quả loại bỏ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ đạt 100%. Hiệu quả xử lý COD và $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ở cây đậu lần lượt đạt 91,8% và 86%; hiệu quả xử lý COD và $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ở rong đuôi chồn lần lượt đạt 83,7% và 76,4%, trong khi đó ở mẫu đối chứng có hiệu quả loại bỏ COD và $\text{NH}_4^+\text{-N}$ chỉ đạt 34,7% và 56%, tương ứng. Với nước thải nuôi tôm, hiệu quả xử lý $\text{NO}_3^- \text{-N}$ lần lượt đạt 76,1%, 78,7% và 82% ở hệ cói, rong và đậu sau 3 ngày thí nghiệm, tuy nhiên sau đó nồng độ $\text{NO}_3^- \text{-N}$ tăng dần đến ngày thứ 16. Với nước thải nuôi cá, nồng độ $\text{NO}_3^- \text{-N}$ tăng dần trong 16 ngày thí nghiệm ở cả ba hệ thực vật thủy sinh ($\text{NO}_3^- \text{-N} < 3 \text{ mg/L}$ khi kết thúc thí nghiệm). Kết quả nghiên cứu cho thấy khả năng xử lý chất hữu cơ và amoni của rong đuôi chồn, đậu và cói, tuy nhiên cần tiến hành các nghiên cứu tiếp theo để hạn chế sự tăng nồng độ $\text{NO}_3^- \text{-N}$ trong xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản.

Từ khóa: Nước thải, nuôi trồng thủy sản, thực vật thủy sinh.

1. Mở đầu

Ngành nuôi trồng thủy sản đóng vai trò quan trọng trong công nghiệp thực phẩm và đây cũng là động lực kinh tế do đánh bắt và nuôi trồng thủy sản mang lại sinh kế cho con người. Sản lượng nuôi trồng thủy sản trên thế giới có tốc độ gia tăng nhanh chóng (từ 34 triệu tấn năm 1997 lên đến 112 triệu tấn trong năm 2017) [1]. Tuy nhiên, cùng với sự phát triển của ngành nuôi

trồng thủy sản là vấn đề ô nhiễm môi trường nước khi nước thải được xả trực tiếp hoặc chưa được xử lý hợp lý. Nước thải nuôi trồng thủy sản thường chứa các chất hữu cơ, chất dinh dưỡng như nitơ, photpho và các chất kháng sinh có trong thuốc trị bệnh cho tôm, cá,... Vì vậy, nước thải nuôi trồng thủy sản khi chưa được xử lý sẽ gây hại cho hệ sinh thái thủy vực và phá vỡ chuỗi thức ăn tự nhiên, ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe con người và môi trường [2]. Một số

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: nmphuong.hn@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4995>

phương pháp hiện nay đã được áp dụng để xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản như quá trình oxy hóa tiên tiến (AOP), công nghệ bùn hoạt tính, màng sinh học,... cho hiệu quả xử lý tốt nhưng có chi phí vận hành và bảo dưỡng cao [3]. Phương pháp sử dụng ozon làm chất oxy hóa gây nguy hại tiềm tàng cho thủy sinh vật và các vi sinh vật trong môi trường nước do độc tính từ sản phẩm phụ của quá trình oxy hóa. Ngoài ra, công nghệ bùn hoạt tính dù cho hiệu quả loại bỏ chất hữu cơ, N và P khá hiệu quả song phương pháp này tạo ra bùn thải và tiêu tốn năng lượng do cần sục khí [3]. Hiện nay trên thế giới việc áp dụng các phương pháp sinh học trong xử lý nước thải đang được ưu chuộng đặc biệt là sử dụng các loài thực vật để xử lý ô nhiễm [4, 5]. Phương pháp sử dụng thực vật thủy sinh đã được nhiều nghiên cứu trên thế giới chứng minh có khả năng loại bỏ chất ô nhiễm trong nước thải với chi phí thấp, dễ thực hiện, đặc biệt là thân thiện với môi trường [4, 6, 7]. Cơ chế của biện pháp xử lý nước thải sử dụng thực vật thủy sinh gồm có quá trình hấp thụ chất ô nhiễm ở thực vật, quá trình quang hợp giải phóng oxy, khả năng tiết oxy từ bộ rễ thực vật làm thúc đẩy quá trình phân hủy sinh học bởi các vi sinh vật hiếu khí vùng rễ [5]. Các chất ô nhiễm trong nước thải như amoni, nitrat, photphat,... là các chất dinh dưỡng cho quá trình sinh trưởng và phát triển của thực vật. Các loài thực vật được lựa chọn trong xử lý nước thải thường có các đặc điểm là có khả năng tăng sinh khối nhanh, hệ rễ tốt, sinh trưởng nhanh [7]. Một số loài thực vật như bèo tây (*Eichhornia crassipes*), rau muống (*Ipomoea aquatica*), bèo cái (*Pistia stratiotes*), sậy (*Phragmites australis*) thường được sử dụng trong các nghiên cứu xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản trước đây [4, 7, 8], trong khi đó, khả năng xử lý của một số loài thực vật khác như rong đuôi chồn, cây dậu và cây cói trong xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản còn ít được quan tâm nghiên cứu. Khả năng loại bỏ chất hữu cơ ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt và nước thải nuôi trồng thủy sản của rong đuôi chồn, dậu và cói đã được ghi nhận qua một vài nghiên cứu trước đây (giá trị COD trong các mẫu nước ban đầu giảm 51 – 86%) [6, 7, 9]. Ánh sáng và nhiệt độ đều ảnh hưởng đến sự sinh trưởng

của các loài thực vật này [10]. Tốc độ tăng sinh khối của rong đuôi chồn đạt từ 400 g lên đến 800 g sau 28 ngày thí nghiệm [7]. Khả năng tăng sinh khối nhanh của các cây thuộc họ dậu và cói cũng đã được chứng minh qua nhiều nghiên cứu trên thế giới [9, 11]. Nghiên cứu này được tiến hành nhằm đánh giá khả năng xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản ở Quảng Ninh của ba loài thực vật thủy sinh bản địa là rong đuôi chồn *Ceratophyllum demersum* (*C. demersum*), cây dậu *Alternanthera paronychioides* (*A. paronychioides*) và cây cói *Cyperus corymbosus* (*C. corymbosus*). Ngành nuôi trồng thủy sản ở tỉnh Quảng Ninh phát triển nhanh, diện tích và sản lượng nuôi trồng thủy sản của tỉnh không ngừng tăng qua các năm. Theo quy hoạch của tỉnh đến năm 2030, diện tích nuôi trồng thủy hải sản sẽ đạt đến 27.000 ha và đạt sản lượng 135.000 tấn/năm. Tuy nhiên, quá trình phát triển nuôi trồng thủy sản còn mang tính tự phát, chưa theo quy hoạch, chưa có khu xử lý nước thải. Nước thải nuôi tôm, nuôi cá của tỉnh Quảng Ninh ngoài thành phần chất hữu cơ từ thức ăn thừa, phân, dịch tiết của cá, tôm còn chứa dư lượng clo và kháng sinh (erythromycin, ciprofloxacin, enrofloxacin,...) sử dụng trong quá trình nuôi gây tác động đến môi trường [12]. Ba loài thực vật là rong đuôi chồn, cây dậu và cây cói được lựa chọn sử dụng trong nghiên cứu do đây là ba loài thực vật bản địa, phân bố rộng, chiếm ưu thế tại khu vực nghiên cứu.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

2.1.1. Nước thải nuôi trồng thủy sản

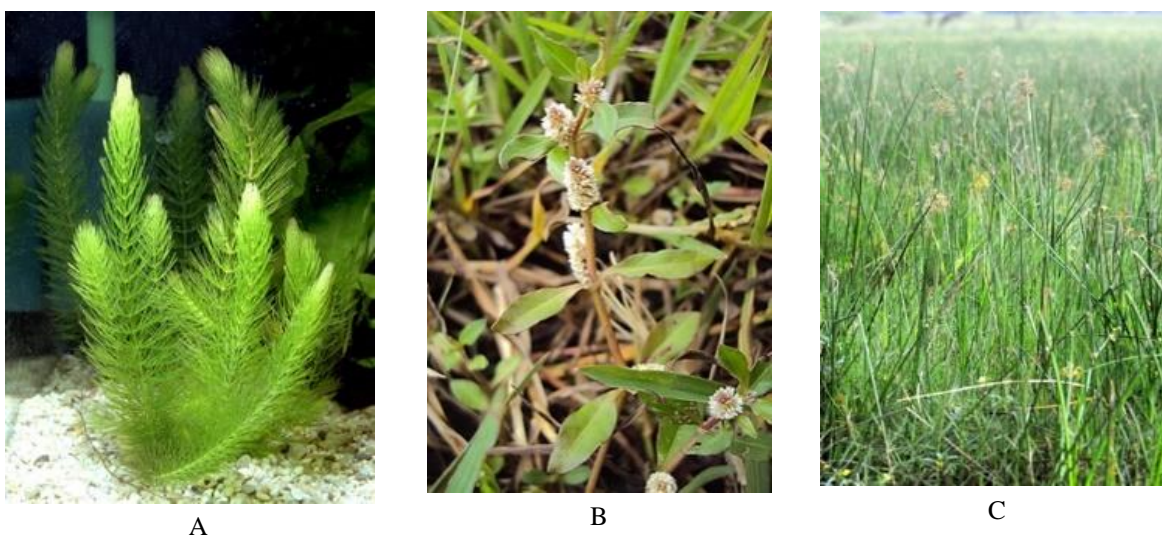
Mẫu nước thải từ ao nuôi tôm và ao nuôi cá rô phi được lấy tại phường Yên Thanh, thành phố Uông Bí, tỉnh Quảng Ninh. Tọa độ vị trí lấy mẫu nước thải từ ao nuôi tôm và ao nuôi cá lần lượt là 21°00'40.4"N - 106°44'33.7"E và 21°00'32.6"N - 106°44'55.4"E. Diện tích ao nuôi tôm là 2000 m² với mật độ 150 con/m². Diện tích ao nuôi cá rô phi là 1300 m² với mật độ 7 con/m². Quy mô nuôi là 2 vụ/năm. Hiện nay chưa có hệ

thống xử lý nước thải từ các ao nuôi tôm và nuôi cá. Nước thải được lấy cách bờ 2 m, ở độ sâu 1,5 m. Tại mỗi ao nuôi, thể tích mẫu nước thải được lấy là 30 L, nước được bảo quản trong can nhựa 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. Các mẫu nước thải

khi lấy sau các mốc thời gian lưu được tiến hành phân tích trong ngày và bảo quản trong tủ lạnh đựng mẫu (4 °C).

2.1.2. Thực vật

Ba loài thực vật được sử dụng trong nghiên cứu là cây rong đuôi chồn (*C. demersum*), cây dậu (*A. paronychioides*) và cây cói (*C. corymbosus*) (Hình 1).



Hình 1. Các loài thực vật sử dụng nghiên cứu (A: rong đuôi chồn, B: cây dậu, C: cây cói).

Ba loài thực vật này đều là các loài thực vật bản địa, mọc tự nhiên gần khu vực nuôi trồng thủy sản tại phường Yên Thanh, thành phố Ưông Bí, tỉnh Quảng Ninh. Thực vật được lấy từ bản địa và đảm bảo sự toàn vẹn của bộ rễ và tán cây. Sau khi lấy về, cây được nuôi trong môi trường nước máy có bổ sung dinh dưỡng (KH_2PO_4 6 mg/L, KNO_3 30 mg/L, NH_4Cl 30 mg/L, glucose 150 mg/L, vitamin B1 10 mg/L) trong 7 ngày để đảm bảo sự phát triển của bộ rễ trước khi cho cây vào các hệ thí nghiệm chứa nước thải.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

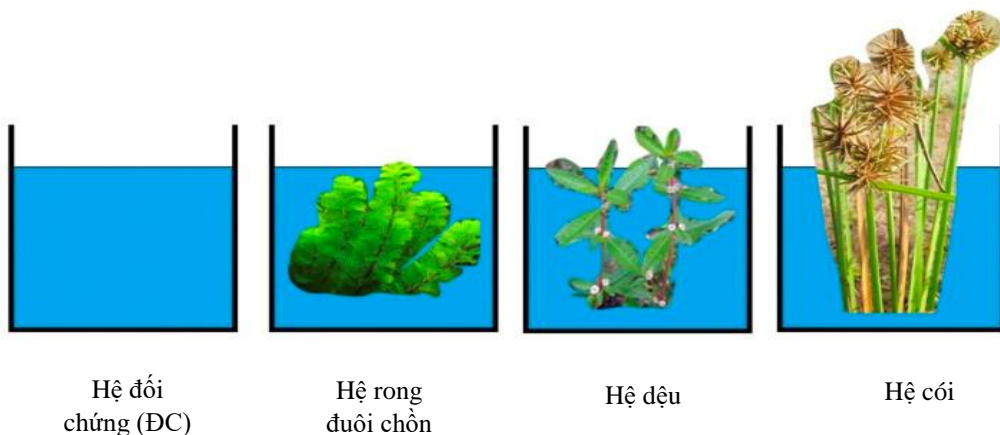
2.2.1. Thiết kế thí nghiệm

Thí nghiệm đánh giá khả năng xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản tại Quảng Ninh được tiến hành sử dụng bốn chậu thí nghiệm (vật liệu

polystyrene) hình chữ nhật có kích thước chiều dài x rộng x cao là 33 x 25x17 (cm). Hệ thứ nhất chỉ bổ sung nước thải (không có thực vật) là hệ đối chứng, hệ thứ 2 gồm nước thải và cây rong đuôi chồn, hệ thứ 3 gồm nước thải và cây dậu, hệ thứ 4 bao gồm nước thải và cây cói. Hình 2 thể hiện các hệ thí nghiệm sử dụng trong nghiên cứu. Thể tích nước thải ở mỗi hệ là 5 L. Hệ thí nghiệm được thiết kế dạng hở, mẫu nước thải trong nước thải được tiến hành phân tích các chỉ tiêu hóa lý ở mốc thời gian lưu là 0, 3, 5, 9, 11, 12 và 16 ngày. 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 °C), có ánh sáng mặt trời chiếu trực tiếp và có mái che để không bị ảnh hưởng bởi nước mưa (nếu có). Thí nghiệm tiến hành trong 2 đợt, đợt thứ nhất sử dụng nước thải từ ao

nuôi tôm, đợt thứ 2 sử dụng nước thải từ ao nuôi cá. Với đợt thí nghiệm sử dụng nước thải từ ao nuôi tôm, mật độ ban đầu của cây rong là 85 g/m², cây đêu là 133 g/m² và cây cói là 306 g/m². Với đợt thí nghiệm sử dụng nước thải từ ao nuôi

cá, mật độ ban đầu của cây rong là 109 g/m², cây đêu là 152,7 g/m² và cây cói là 318,8 g/m². Sự sinh trưởng của thực vật được theo dõi trong quá trình tiến hành thí nghiệm.



Hình 2. Các hệ thí nghiệm trong nghiên cứu.

2.2.2. Phương pháp phân tích các chỉ tiêu hóa lý

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
PO ₄ ³⁻ -P	TCVN 6202 : 2008

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 độ sâu 5 cm tính từ mặt nước. 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, các số liệu thí nghiệm được phân tích thống kê sử dụng ANOVA, T-test (p<0,05). Kết quả phân tích được thể hiện bằng phần mềm Microsoft Excel (version 2108).

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).

3. Kết quả và thảo luận

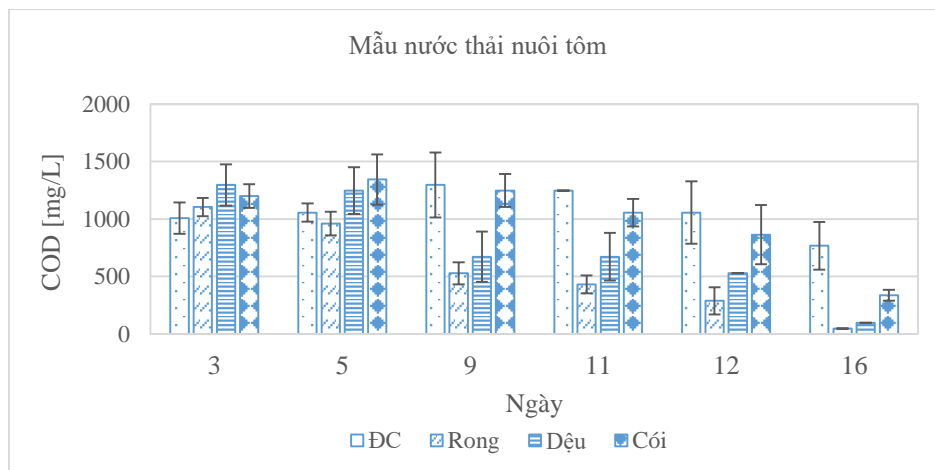
3.1. Đặc điểm mẫu nước thải nuôi trồng thủy sản tại khu vực nghiên cứu

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 và nước thải nuôi cá lần lượt đạt 1008 mg/L và 1176 mg/L). Giá trị COD cao hơn 6,72 – 7,84 lần so với ngưỡng quy chuẩn cho phép QCVN 40:2011/BTNMT, cột B và QCVN 02-19:2014/BNNPTNT. Hàm lượng NH₄⁺-N trong mẫu nước thải nuôi tôm và nuôi cá lần lượt là 3,3 và 3,46 mg/L, đạt QCVN 40:2011/BTNMT, cột B. Hàm lượng NO₃⁻-N và PO₄³⁻-P trong mẫu nước thải nuôi tôm và nuôi cá khá thấp. Với mẫu nước thải nuôi tôm, hàm lượng NO₃⁻-N và PO₄³⁻-P lần lượt là 0,89 mg/L và 0,311 mg/L. Với mẫu nước thải nuôi cá, hàm lượng NO₃⁻-N và PO₄³⁻-P là 0,006 mg/L và 0,65 mg/L.

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

Chỉ tiêu	Đơn vị	Mẫu nước thải nuôi tôm	Mẫu nước thải nuôi cá	QCVN 40:2011/BTNMT(B)	QCVN 02-19:2014/BNNPTNT
pH	-	7,8 ± 0,01	7,9 ± 0,04	5,5 - 9	5,5 - 9
COD	mg/L	1008 ± 10,58	1176 ± 27,5	150	≤150
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	3,3 ± 0,1	3,46 ± 0,14	10	-
NO ₃ ⁻ -N	mg/L	0,89 ± 0,01	0,006 ± 0,001	-	-
PO ₄ ³⁻ -P	mg/L	0,311 ± 0,001	0,65 ± 0,02	-	-

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.



Hình 3. Sự thay đổi giá trị COD trong các hệ thí nghiệm với mẫu nước thải nuôi tôm.

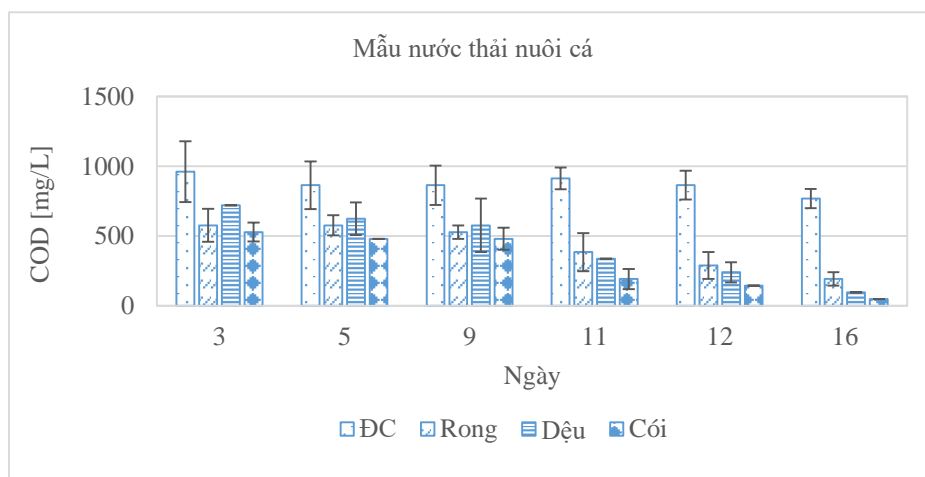
3.1. Khả năng xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản bằng thực vật thủy sinh

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

Giá trị COD trong nước thải nuôi tôm và nước thải nuôi cá sau các thời gian lưu khác nhau (3, 5, 9, 11, 12 và 16 ngày) tại 4 hệ thí nghiệm được thể hiện lần lượt trên Hình 3 và Hình 4.

Kết quả cho thấy hàm lượng COD trong mẫu nước thải nuôi tôm và nuôi cá trong các hệ thí nghiệm có thực vật thủy sinh đều giảm rõ rệt theo thời gian lưu. Với mẫu nước thải nuôi tôm, sau 16 ngày, hệ thí nghiệm có cây rong đuôi chồn

cho khả năng xử lý tốt nhất với hiệu quả loại bỏ chất hữu cơ (COD) lên tới 95%, sau đó là hệ đệu với giá trị COD giảm 90% và hệ cói với giá trị COD giảm 67%. Hiệu quả xử lý COD giữa các công thức thí nghiệm đều có ý nghĩa sai khác qua phân tích thống kê ($p < 0,05$). Trong 16 ngày thí nghiệm, giá trị COD trong mẫu nước thải nuôi tôm trong các hệ thí nghiệm có thực vật thủy sinh giảm mạnh từ ngày thứ 9 (33,3 – 47,6%), đến ngày thứ 12, giá trị COD giảm 48 – 71%. Giá trị COD sau 16 ngày ở hệ rong và hệ đệu là $48 \pm 2,7$ và $96 \pm 8,6$ mg/L, đã đạt QCVN 40:2011/BTNMT, cột B và QCVN 02-19:2014/BNNPTNT.



Hình 4. Sự thay đổi giá trị COD trong các hệ thí nghiệm với mẫu nước thải nuôi cá.

Với nước thải nuôi cá, sau 16 ngày, hệ cói cho khả năng loại bỏ chất hữu cơ (COD) tốt nhất (96%), sau đó là hệ dệu với giá trị COD giảm 92% và hệ rong (giá trị COD giảm 83%). Trong 16 ngày thí nghiệm, giá trị COD trong mẫu nước thải nuôi cá trong các hệ thí nghiệm có thực vật thủy sinh giảm mạnh từ ngày thứ 9 (51– 59,2%), đến ngày thứ 12, giá trị COD giảm 75 – 88%. Sau 16 ngày, giá trị COD ở hệ cói và hệ dệu đạt QCVN 40:2011/BTNMT, cột B và QCVN 02-19:2014/BNNPTNT. Ở hệ đối chứng, sau 16 ngày, giá trị COD chỉ giảm lần lượt là 24% và 35% ở nước thải nuôi tôm và nước thải nuôi cá. Khả năng loại bỏ chất hữu cơ của các loài thực vật thủy sinh như rong đuôi chồn, cói và dệu đã được công bố ở một số nghiên cứu trước đây. Nghiên cứu của Abbasi và cộng sự (2019) cho thấy cây dệu có khả năng loại bỏ chất hữu cơ hiệu quả (sau 10 ngày thí nghiệm, giá trị COD giảm 80% trong mẫu nước thải sinh hoạt (COD đầu vào: 600 mg/L) [6]. Kết quả Nuwansi và cộng sự (2018) cho thấy rong đuôi chồn có khả năng giảm 51% COD trong nước thải nuôi trồng thủy sản sau 28 ngày thí nghiệm (COD ban đầu: 412 mg/L) [7]. Theo Elela và cộng sự (2017), cây cói cho hiệu quả giảm COD đạt tới 86% chỉ sau 5 ngày [11]. Các hợp chất hữu cơ có thể được loại bỏ khỏi nước thải qua các quá trình lọc, lắng, phân hủy sinh học nhờ vi sinh vật, trong đó quá trình phân hủy sinh học đóng vai trò quan trọng

[13]. Oxy cần đến cho sự phân hủy hiếu khí được cung cấp trực tiếp từ khí quyển bằng cách khuếch tán và tiếp xúc với bầu rễ. Các loài thực vật chìm hẳn trong nước như rong đuôi chồn dưới tác dụng của ánh sáng mặt trời vẫn có khả năng cố định CO₂ để giải phóng O₂ qua quá trình quang hợp với diện tích lá phát triển (CO₂ + H₂O → CH₂O + O₂) [14, 15]. Ngoài ra, oxy cũng được cung cấp từ chính vùng rễ của thực vật [16]. Khả năng cung cấp oxy từ vùng rễ phụ thuộc vào mỗi loài thực vật. Một số loài thực vật chỉ có tốc độ cung cấp oxy từ vùng rễ khá thấp (0,001 – 0,8 g O₂ m²/ngày), trong khi ở sậy (*Phragmites australis*) tốc độ này có thể đạt 5-2 g O₂/m²/ngày [13, 17]. Một số vi sinh vật vùng rễ như *Rhizobium* spp., *Burkholderia* spp,... đã được chứng minh có vai trò quan trọng trong xử lý chất hữu cơ ô nhiễm trong nước thải [18].

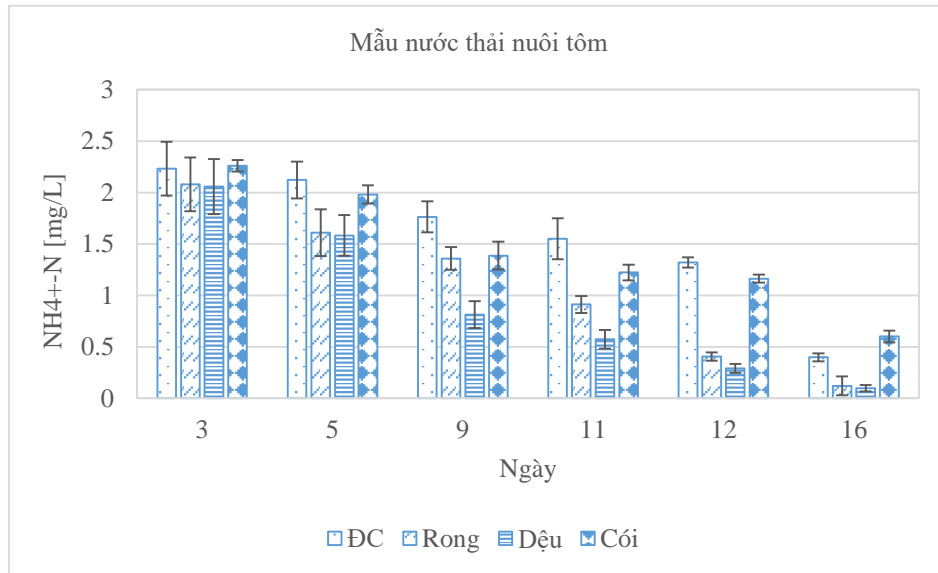
3.1.2. Hiệu quả xử lý NH₄⁺-N

Sự thay đổi hàm lượng NH₄⁺-N trong nước thải nuôi tôm và nước thải nuôi cá sau các thời gian lưu khác nhau ở các hệ thí nghiệm lần lượt được thể hiện trên Hình 5 và Hình 6.

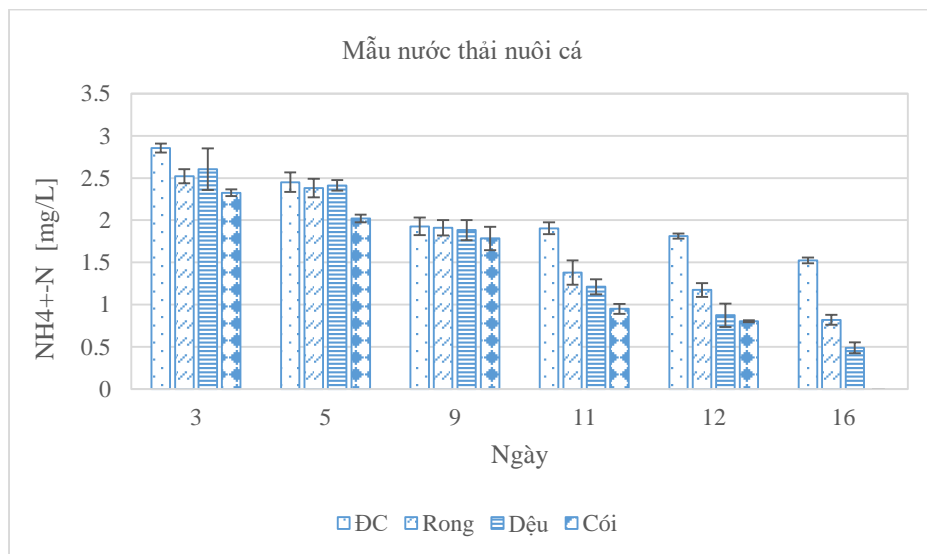
Kết quả cho thấy nồng độ NH₄⁺-N đều giảm ở các hệ thí nghiệm. Sau 16 ngày thí nghiệm, với nước thải nuôi tôm, nồng độ NH₄⁺-N giảm mạnh nhất tại hệ dệu và hệ rong (từ 3,3 mg/L xuống còn 0,1 mg/L). Hiệu quả loại bỏ NH₄⁺-N ở hệ dệu và hệ rong lần lượt đạt 97% và 96,3%, sau đó là hệ

cói cho hiệu quả loại bỏ 81,8%. Với nước thải nuôi cá, sau 16 ngày, hệ cói đã loại bỏ 100% $\text{NH}_4^+\text{-N}$, hệ dậu và hệ rong lần lượt cho khả năng

loại bỏ 86% và 76% $\text{NH}_4^+\text{-N}$, trong khi đó ở hệ đối chứng, nồng độ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ giảm 56%.



Hình 5. Sự thay đổi nồng độ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ trong các hệ thí nghiệm với mẫu nước thải nuôi tôm.



Hình 6. Sự thay đổi nồng độ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ trong các hệ thí nghiệm với mẫu nước thải nuôi cá.

Kết quả về hiệu quả loại bỏ amoni trong nghiên cứu này khá tương đồng với các nghiên cứu khác trên thế giới [4, 7]. Hiệu quả loại bỏ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ trong nước thải đạt 60 - 90% ở một số loài thực vật như rau muống (*I. aquatica*), bèo

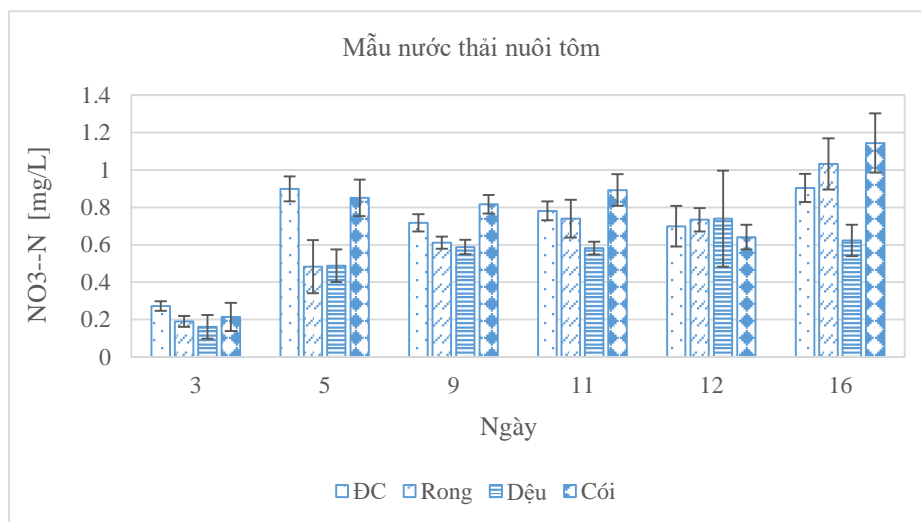
tây (*E. crassipes*), bèo cái (*P. stratiotes*) [4, 7]. Trong nghiên cứu của Nuwansi và cộng sự (2018), hiệu quả xử lý $\text{NH}_4^+\text{-N}$ trong nước thải nuôi trồng thủy sản của rong đuôi chồn và dậu được ghi nhận đạt >80% sau 14 ngày thí nghiệm

[7]. Cơ chế chính loại bỏ amoni trong nước thải ở các hệ thực vật thủy sinh được cho là quá trình nitrat hóa – phản nitrat hóa và sau đó là sự hấp thụ amoni ở thực vật [13, 19]. Trong nghiên cứu này, cả ba loài thực vật sử dụng đều có sự phát triển về sinh khối sau 16 ngày thí nghiệm so với ban đầu. Trong môi trường nước thải nuôi tôm, sinh khối của cây rong đuôi chồn tăng từ 85 g/m² lên 131 g/m², sinh khối của cây dẻ tăng từ 133 g/m² lên đến 166 g/m², sinh khối của cây cói tăng từ 306 g/m² lên 335 g/m². Trong môi trường nước thải nuôi cá, sinh khối của cây rong đuôi chồn tăng từ 109 g/m² lên 180,6 g/m², sinh khối cây dẻ tăng từ 152,7 g/m² lên 195 g/m², sinh khối cây cói tăng từ 318,8 g/m² lên 355 g/m². Theo nghiên cứu trước đây, sự hấp thụ ở thực vật

chỉ chiếm 7,5 – 14,3% trong việc loại bỏ nitơ, còn quá trình nitrat hóa – phản nitrat hóa đóng vai trò đáng kể, chiếm tới 54 – 94% [19]. Sự nhả oxy từ hệ rễ thực vật góp phần tăng cường quá trình hiếu khí và làm tăng hiệu quả của quá trình nitrat hóa [17]. Các vi sinh vật nitrat hóa như *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*,... đóng vai trò quan trọng trong quá trình oxy hóa amoni trong nước thải [18, 20].

3.1.3. Hiệu quả xử lý NO₃⁻-N

Sự thay đổi nồng độ NO₃⁻-N trong nước thải nuôi tôm và nước thải nuôi cá ở thời gian lưu khác nhau của hệ thí nghiệm được thể hiện lần lượt trên Hình 7 và Hình 8.



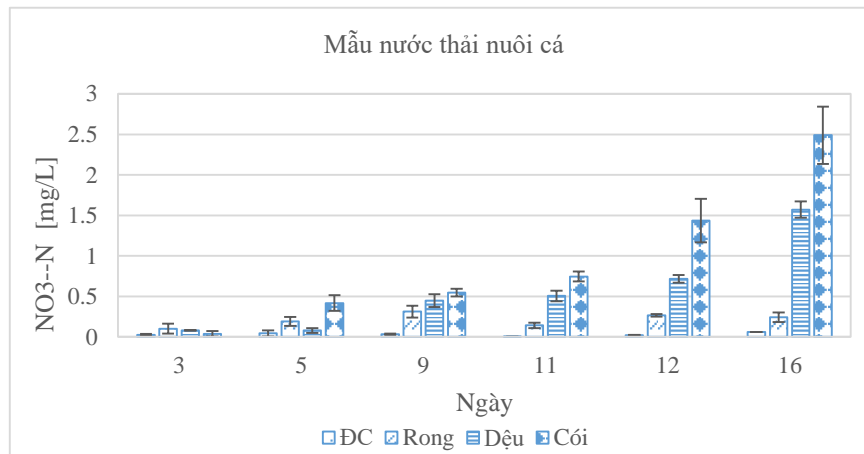
Hình 7. Sự thay đổi nồng độ NO₃⁻-N trong các hệ thí nghiệm với mẫu nước thải nuôi tôm.

Kết quả cho thấy với mẫu nước thải nuôi tôm, nồng độ NO₃⁻-N giảm từ 0,89 mg/L xuống còn 0,16 – 0,21 mg/L (tỷ lệ giảm NO₃⁻-N đạt 76,1%, 78,7% và 82% ở hệ cói, rong và dẻ sau 3 ngày thí nghiệm), sau đó nồng độ NO₃⁻-N tăng dần. Sau 16 ngày thí nghiệm, nồng độ NO₃⁻-N ở hệ rong là 1,03 ± 0,14 mg/L, hệ dẻ là 0,62 ± 0,08 mg/L và hệ cói là 1,14 ± 0,16 mg/L. Với nước thải nuôi cá, nồng độ NO₃⁻-N tăng dần trong thời gian tiến hành thí nghiệm. Sau 16 ngày thí nghiệm, nồng độ NO₃⁻-N cao nhất ở hệ cói (2,5 ± 0,35 mg/L), sau đó là hệ dẻ và rong lần

lượt là 1,57 ± 0,1 và 0,24 ± 0,06 mg/L. Sự hấp thụ ở thực vật đóng góp vào sự giảm nồng độ NO₃⁻-N ở hệ thực vật thủy sinh, ngoài ra do vùng rễ của thực vật có khả năng tiết ra chất hữu cơ nên có thể tăng cường quá trình phản nitrat hóa [13, 21]. Nghiên cứu của Nuwansi và cộng sự (2018) cho thấy hiệu quả loại bỏ NO₃⁻-N ở rong đuôi chồn đạt 80% [7]. Sự tăng nồng độ NO₃⁻-N có thể do quá trình nitrat hóa xảy ra mạnh mẽ, kết quả này phù hợp với sự giảm nồng độ amoni (mục 3.2.2). Quá trình nitrat hóa gồm 2 giai đoạn là quá trình oxy hóa amoni thành nitrit (NH₄⁺ +

$1,5 \text{ O}_2 \rightarrow \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_2^-$) và quá trình oxy hóa nitrit thành nitrat ($\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$) [22]. Quá trình nitrat hóa trong các hệ thí nghiệm có thực

thực vật thủy sinh được tăng cường nhờ sự cấp oxy từ vùng rễ thực vật, do vậy làm tăng nồng độ NO_3^- -N.



Hình 8. Sự thay đổi nồng độ NO_3^- -N trong các hệ thí nghiệm với nước thải nuôi cá.

Ngoài ra amoni cũng có thể oxy hóa thành nitrat nhờ sự kết hợp của quá trình oxy hóa amoni và “Anammox” (hay còn gọi là quá trình “Canon”: $\text{NH}_4^+ + 0,85 \text{ O}_2 \rightarrow 0,435 \text{ N}_2 + 0,13 \text{ NO}_3^- + 1,3 \text{ H}_2\text{O} + 1,4 \text{ H}^+$) [22]. Sự tăng NO_3^- -N phù hợp với sự giảm nồng độ NH_4^+ -N trong nghiên cứu này, vì vậy xu hướng tăng NO_3^- -N cho thấy rõ hiệu quả của quá trình nitrat hóa và khả năng loại bỏ amoni của các loài thực vật trong nghiên cứu. Ngoài ra, trong quá trình phản nitrat hóa, NO_3^- -N đóng vai trò là chất nhận điện tử trong điều kiện kỵ khí, vì vậy sự tăng NO_3^- -N có thể góp phần thúc đẩy sự phân hủy sinh học chất hữu cơ ô nhiễm nhờ các vi sinh vật phản nitrat hóa, do đó làm tăng khả năng xử lý chất hữu cơ (COD). Một số nghiên cứu trên thế giới đã bổ sung thêm nguồn cacbon bằng cách sử dụng biochar, phụ phẩm nông nghiệp hoặc sinh khối thực vật trong hệ đất ngập nước nhân tạo để thúc đẩy quá trình phản nitrat hóa và tăng hiệu quả xử lý nitrat [23, 24].

4. Kết luận

Ba loài thực vật thủy sinh bản địa là rong đuôi chồn (*C. demersum*), cây dệu

(*A. paronychioides*) và cói (*C. corymbosus*) sử dụng trong nghiên cứu đều có khả năng xử lý chất hữu cơ và amoni tốt trong nước thải nuôi tôm và nước thải nuôi cá tại phường Yên Thanh, thành phố Uông Bí, tỉnh Quảng Ninh. Với nước thải nuôi tôm, hệ rong cho hiệu quả loại bỏ chất hữu cơ (COD) và amoni đều đạt >95% sau 16 ngày thí nghiệm. Với nước thải nuôi cá, hệ cói cho hiệu quả giảm COD và amoni lần lượt đạt tới 96% và 100%. Nồng độ NO_3^- -N giảm 76,1 – 82% với nước thải nuôi tôm sau 3 ngày thí nghiệm, tuy nhiên sau đó nồng độ NO_3^- -N tăng dần đến ngày thứ 16. Với nước thải nuôi cá, nồng độ NO_3^- -N tăng dần trong thời gian thí nghiệm ở cả ba hệ thực vật thủy sinh (NO_3^- -N <3 mg/L khi kết thúc thí nghiệm). Kết quả của nghiên cứu này bổ sung thêm minh chứng và cơ sở khoa học để sử dụng các loài thực vật như rong, dệu, cói để xử lý nước thải trồng thủy sản (đặc biệt là chất hữu cơ và amoni), ngoài ra cũng cần tiếp tục tiến hành các nghiên cứu tiếp theo để hạn chế sự gia tăng hàm lượng NO_3^- -N trong quá trình xử lý.

Tài liệu tham khảo

- [1] R. L. Naylor, R. W. Hardy, A. H. Buschmann, S. R. Bush, L. Cao, D. H. Klinger, D. C. Little,

- J. Lubchenco, S. E. Shumway, M. Troell, A 20-year Retrospective Review of Global Aquaculture, *Nature*, Vol. 591, 2021, pp. 551-563, <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>.
- [2] 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>.
- [3] 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, pp. 102096, <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102096>.
- [4] N. U. M Nizam, M. M. Anafiah, I. M. Noor, H. I. A. Karim, Efficiency of Five Selected Aquatic Plants in Phytoremediation of Aquaculture Wastewater, *Applied Sciences*, Vol. 10, 2020, pp. 1-11, <https://doi.org/10.3390/app10082712>.
- [5] Y. Tepe, F. A. Temel, Treatment of Effluents from Fish and Shrimp Aquaculture in Constructed Wetlands, Chapter 5 in *Constructed Wetlands for Industrial Wastewater Treatment*, Wiley, 2018, pp. 105-125, <https://doi.org/10.1002/9781119268376.ch5>.
- [6] S. A. Abbasi, T. Abbasi, G. Ponny, S. M. Tauseef, Potential of Joyweed *Alternanthera sessilis* for Rapid Treatment of Domestic Sewage in SHEFROL® Bioreactor, *International Journal of Phytoremediation*, 2019, pp. 160-169, <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1488814>.
- [7] K. K. T. Nuwansi, A. K. Verma, C. Prakash, G. P. A Prabhath, R. M. Peter, Performance Evaluation and Phytoremediation Efficiency of Selected Aquatic Macrophytes on Aquaculture Effluent, *Journal of Entomology and Zoology Studies*, Vol. 6, No. 2, 2018, pp. 2885-2891, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10093>.
- [8] Y. Shi, G. Zhang, J. Liu, Y. Zhu, J. Xu, Performance of a Constructed Wetland in Treating Brackish Wastewater from Commercial Recirculating and Super-intensive Shrimp Growout Systems, *Bioresource Technology*, Vol. 102, 2011, pp. 9416-9424, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.07.058>.
- [9] X. Peng, Y. Yang, X. Yan, H. Li, The Effects of Water Control on the Survival and Growth of *Alternanthera philoxeroides* in the Vegetative Reproduction and Seedling Stages, *Scientific Report*, Vol. 11, 2021, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92674-2>.
- [10] S. Jin, M. Ibrahim, S. Muhammad, S. Khan, G. Li, Light Intensity Effects on the Growth and Biomass Production of Submerged Macrophytes in Different Water Strata, *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 13, 2020, <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05924-4>.
- [11] S. I. A. Elela, M. A. Elekhawy, M. T. Khalil, 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*, 2017, pp. 1023-1028, <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1319327>.
- [12] Department of Agriculture and Rural Development, People's Committee of Quang Ninh Province, Summary report on Fisheries Industry Development Planning in Quang Ninh Province to 2020, Vision to 2030, <https://www.quangninh.gov.vn/so/sonongnghioppnt>, 2016 (accessed on: August 1st, 2023) (in Vietnamese).
- [13] 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>.
- [14] O. Pedersen, T. D. Colmer, K. S. Jensen, Underwater Photosynthesis of Submerged Plants - Recent Advances and Methods, *Frontiers in Plant Science*, Vol. 4, 2013, <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00140>.
- [15] L. A. C. J. Voesenek, T. D. Colmer, R. Millenaar, F. F. Pierik, A. J. M. Peeters, How Plants Cope with Complete Submergence, *New Phytologist*, Vol. 170, 2006, <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01692.x>.
- [16] F. Rehman, A. Usman, A. Ditta, F. S. Khan, Q. Mahmood, A. Alataway, A. Z. Dewidar, M. A. Mattar, Optimal Root Oxygen Release from Two Macrophytes *Saururus cernuus* L. and *Pistia stratiotes* L. Varies with Light and Temperature in Simulated Constructed Wetlands Microcosms, *Rhizosphere*, Vol. 26, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100697>.
- [17] 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>.

- [18] J. K. Srivastava, H. Chandra, S. J. S. Kalra et al., Plant–Microbe Interaction in Aquatic System and Their Role in the Management of Water Quality: A Review, *Applied Water Science*, Vol. 7, 2017, pp. 1079-1090, <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0415-2>.
- [19] 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>.
- [20] W. Ahmed, R. Delatolla, Biofilm and Microbiome Response of Attached Growth Nitrification Systems Across Incremental Decreases to Low Temperatures, *Journal of Water Process Engineering*, Vol. 39, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101730>.
- [21] S. Wu, P. Kuschik, 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>.
- [22] T. Saeed, G. Sun, A Review on Nitrogen and Organics Removal Mechanisms in Subsurface flow Constructed Wetlands: Dependency on Environmental Parameters, Operating Conditions and Supporting Media, *Journal of Environmental Management*, Vol. 112, 2012, pp. 429-448, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.011>.
- [23] C. Fan, S. He, S. Wu, J. Huang, Improved Denitrification in Surface Flow Constructed Wetland Planted with Calamus, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 291, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125944>.
- [24] 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, No. 5, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110397>.