

Đánh giá hiệu quả xử lý nước thải ao nuôi tôm bằng công nghệ đất ngập nước kiến tạo

Lê Thị Ngọc Châu¹, Huỳnh Đỗ Đạt^{1,2}, Nguyễn Văn Trục³, Võ Thị Diệu Hiền^{1*}

¹Khoa Khoa học Ứng dụng và Công nghệ, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Thành phố Hồ Chí Minh, 700000, Việt Nam.

²Viện Môi trường và Tài nguyên (IER), Thành phố Hồ Chí Minh, 700000, Việt Nam.

³Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Sài Gòn, Thành phố Hồ Chí Minh, 700000, Việt Nam.

*Tác giả liên hệ: vtdhien@ntt.edu.vn

Tóm tắt

Nghiên cứu đánh giá hiệu quả hệ thống đất ngập nước kiến tạo dòng chảy ngầm phương đứng (VSSF) sử dụng thực vật Cát Lồi (*Cheilocostus speciosus*) trong xử lý nước thải nuôi tôm tại xã Lý Nhơn, Cần Giờ, TP Hồ Chí Minh, Việt Nam. Ba hệ thống sử dụng ba loại vật liệu (đá mi, than củi, vỏ hào) với lưu lượng 10 L/ngày/bể trong 55 ngày được sử dụng, các chỉ tiêu theo dõi và đánh giá là COD, tổng nitơ (TN), tổng phospho (TP). Sau 55 ngày vận hành thấy cho thấy được vỏ hào có hiệu suất xử lý cao nhất với COD (85%), TP (87%), TN (85,7%) đáp ứng yêu cầu xả thải theo QCVN 40:2011/BTNMT (Cột B) và QCVN 08:2023/BTNMT (Cột B). Đặc biệt, việc tận dụng vỏ hào là phế phẩm nuôi trồng sẽ giảm 30–40% chi phí vật liệu, mở ra hướng tiếp cận bền vững theo mô hình kinh tế tuần hoàn cho ngành thủy sản ven biển. Nghiên cứu khẳng định tiềm năng ứng dụng công nghệ VSSF kết hợp vật liệu địa phương để giải quyết ô nhiễm nước thải, đồng thời bảo vệ hệ sinh thái rừng ngập mặn tại khu vực.

Nhận 17/06/2025
Được duyệt 30/08/2025
Công bố 26/11/2025

Từ khóa

Nước thải nuôi tôm, đất ngập nước, *Cheilocostus speciosus*, vỏ hào, Cần Giờ, kinh tế tuần hoàn.

© 2025 Journal of Science and Technology - NTTU

1. Giới thiệu

Nuôi trồng thủy sản đã phát triển nhanh chóng trong những thập kỷ qua, đặc biệt là nuôi tôm, đóng góp đáng kể vào sản lượng thủy sản toàn cầu và an ninh lương thực (Boyd & McNevin, 2014). Theo thống kê mới nhất, sản lượng tôm nuôi toàn cầu đã đạt 5,7 triệu tấn vào năm 2022, chiếm khoảng 55% tổng giá trị thương mại thủy sản toàn cầu (FAO, 2023). Tuy nhiên, sự phát triển mạnh mẽ này cũng tạo ra những thách thức nghiêm trọng về môi trường, đặc biệt là vấn đề ô nhiễm nước thải (Herbeck et al., 2020). Nước thải ở các hệ thống nuôi tôm chứa hàm lượng cao các chất hữu cơ, dinh dưỡng (nitơ, phospho), chất rắn lơ lửng và các hợp chất kháng sinh, dẫn đến suy thoái môi trường nước ven biển.

Tại Việt Nam, ngành nuôi tôm đóng vai trò then chốt trong phát triển kinh tế, với sản lượng đạt 1,1 triệu tấn và kim ngạch xuất khẩu 3,85 tỷ USD vào năm 2022. Song phần lớn nước thải chưa được xử lý (Nguyen, 2023). Khu vực Cần Giờ với hơn 5.000 ha và là khu dự trữ sinh quyển được UNESCO, đang chịu áp lực ô nhiễm ngày càng tăng (Le, 2022). Nghiên cứu của Vo (2021) cho thấy nước nuôi tại đây có BOD, COD, TSS,

tổng nitơ và tổng phospho vượt 1,5–3 lần so với giới hạn cho phép của QCVN 40:2011/BTNMT.

Nhiều giải pháp kỹ thuật đã được áp dụng, như keo tụ – tạo bông, lắng lọc, hấp phụ, trao đổi ion, siêu lọc... Các phương pháp này xử lý nhanh, hiệu quả với hợp chất khó phân hủy hoặc kim loại nặng, nhưng chi phí cao, dùng nhiều hóa chất, tạo bùn thải thứ cấp và phải có kỹ thuật cao. Trong khi đó, công nghệ đất ngập nước kiến tạo (CW) được quan tâm nhờ giá thành rẻ, thân thiện môi trường (Wu et al., 2016b). Các nghiên cứu quốc tế chứng minh CW có thể loại bỏ 80–95% BOD, 75–90% TSS, 60–85% N và 50–80% P (Lin et al., 2020; Mahmood et al., 2021; Ramprasad & Philip, 2022).

Ở Việt Nam, một số nghiên cứu thí điểm đã thực hiện tại Bạc Liêu và Cà Mau (Tran (2019); Le (2021)), song còn thiếu đánh giá toàn diện về vai trò của loài thực vật và vật liệu đệm ((Pham, 2023). Do đó, nghiên cứu này áp dụng mô hình đất ngập nước chảy ngầm phương đứng (VSSF) với cây Cát Lồi và ba loại vật liệu nền được lựa chọn nhằm khảo sát hiệu quả loại bỏ chất ô nhiễm trong nước thải nuôi tôm tại Cần Giờ, góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho ứng dụng rộng rãi công nghệ này, hướng tới phát triển bền vững và tuân thủ Luật Bảo vệ Môi trường 2020.



2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Thực vật

Cây Cát Lồi (*Cheilocostus speciosus*) được lựa chọn cho nghiên cứu do có khả năng thích nghi và phát triển tốt trong điều kiện nước thải có độ mặn cao, hệ rễ phát triển mạnh.

Cây được thu thập từ các khu vực ven sông, ruộng nước và đất ẩm tại Cần Giờ, nơi chúng mọc tự nhiên và phổ biến. Những cây trưởng thành, thân chắc (0,5–1 cm) được chọn làm giống. Sau khi mang về, cây được cắt thân dài 40–50 cm với 4–5 mắt, trồng sâu 8–10 cm trong đất ẩm tại khu ươm và duy trì tưới nước để ra rễ. Sau khoảng 2 tháng, cây phát triển rễ và lá mới sẽ được chuyển vào bể thí nghiệm.

Dựa trên đặc điểm lá (dài 20–50 cm, rộng 2–3 cm), mật độ trồng được thiết lập 10 cây/m². Các cây được chăm sóc 3 tháng trong hệ thống VSSF, đạt chiều cao trung bình 0,6–0,8 m trước khi tiến hành thí nghiệm xử lý nước thải ao nuôi tôm.

Hình 1. Cây Cát Lồi (*Cheilocostus speciosus*)

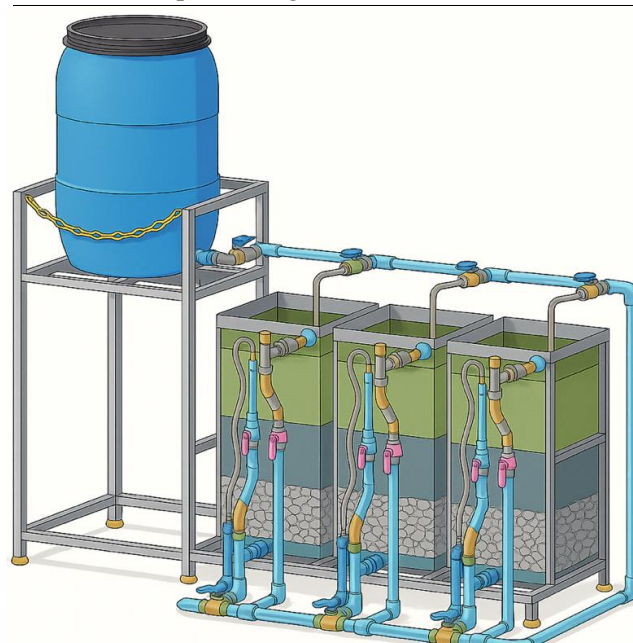


2.2. Mô hình đất ngập nước dòng chảy ngầm phương đứng (VSSF)

Hệ thống thí nghiệm được thiết kế với ba bể xử lý độc lập. Các bể được chế tạo từ kính cường lực, lắp đặt trên khung thép không gỉ 304 nhằm đảm bảo độ bền và thuận lợi cho việc quan sát. Mỗi bể có dạng hình trụ vuông với kích thước 0,27 × 0,55 m và được bố trí ba lớp vật liệu. Lớp dưới cùng là sỏi trắng dày 0,1 m, có chức năng thoát nước và tạo giá thể cho vi sinh vật. Lớp giữa dày 0,3 m được lựa chọn làm vật liệu chính nhằm đánh giá và đối chiếu hiệu quả xử lý, với ba loại khác nhau gồm đá mi, than củi và vỏ hào. Lớp trên cùng là cát xây dựng dày 0,5 m, giúp ổn định hệ thống và tạo điều kiện phát triển cho thực vật. Sự khác biệt giữa các bể nằm ở vật liệu lớp giữa, qua đó cho phép đánh giá vai trò của từng loại vật liệu trong suốt quá trình vận hành xử lý nước thải.

Bảng 1. Thông số thiết kế mô hình đất ngập nước dòng chảy ngầm phương đứng

Thông số thiết kế	Đơn vị	Giá trị
Chiều rộng	m	0,27
Chiều dài	m	0,27
Chiều cao	m	0,55
Chiều sâu lớp cát xây dựng	m	0,5
Chiều sâu lớp vật liệu chính (đá mi, than củi, vỏ hào)	m	0,3
Chiều sâu lớp sỏi trắng	m	0,1



Hình 2. Mô hình đất ngập nước dòng chảy ngầm phương đứng

Mẫu nước thải được cấp từ bể chứa ban đầu thông qua hệ thống ống dẫn bằng PVC chất lượng cao, được thiết kế để phân phối đều nước vào bể xử lý. Thùng chứa nước thải được làm từ nhựa PE có dung tích 160 L được đặt trên bục cao trên khung sắt và cấp nước theo dòng chảy trọng lực xuống các bể xử lý bên dưới. Hệ thống cung cấp nước thải sử dụng ống dẫn bằng PVC có đường kính 10 mm, được thiết kế để phân phối đều nước vào từng bể xử lý. Mức nước duy trì trong bể ở độ sâu khoảng 45 cm.

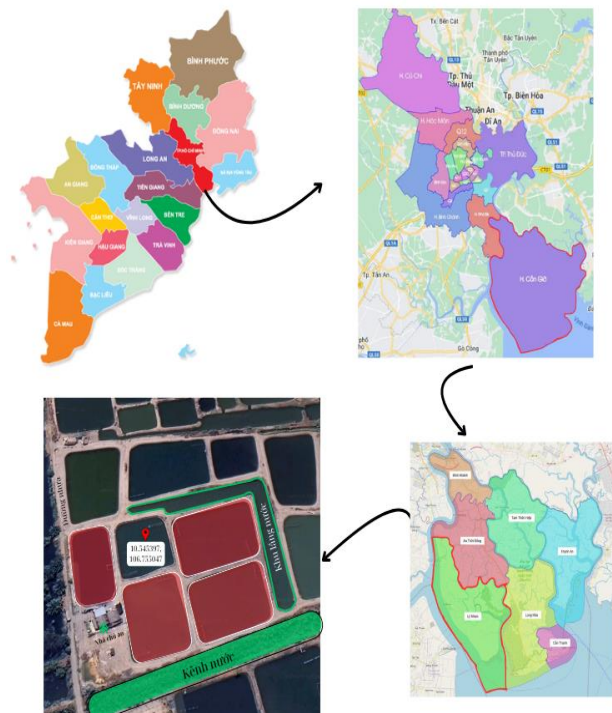
2.3. Mẫu nước thải ao nuôi tôm

Nguồn nước thải đầu vào cho mô hình được lấy mẫu tại tọa độ 10°32'53.5"N, 106°45'19.8"E thuộc xã Lý Nhơn, huyện Cần Giờ, TP.HCM. Ao nuôi tôm tại vị trí lấy mẫu có độ sâu mực nước 1,38–1,43 m, diện tích 3.100–4.700 m², mật độ thả nuôi 80–140 con/m². Quy trình lấy mẫu và phân tích được thực hiện theo TCVN 6663-1:2011 (ISO 5667-1:2006). Các chỉ tiêu phân tích gồm COD, TN và TP. Kết quả được đối sánh với các quy chuẩn hiện hành như QCVN 40:2021/BTNMT (nước thải

công nghiệp), QCVN 08:2023/BTNMT (chất lượng nước mặt) và QCVN 02-19:2014/BNNPTNT (cơ sở nuôi tôm nước lợ).

Bảng 2. Đặt tính nước thải ao nuôi tôm tại xã Lý Nhơn huyện Cần Giờ Tp.HCM

Chỉ tiêu	Đơn vị	Nước thải ao nuôi tôm	QC VN 40:2021/BTNMT, Cột B	QCV N 02-19:2014/BNNPTNT	QC VN 08:2023/BTNMT, Cột B
PH	-	7-8	5,5-9	5,5-9	6,5-8
COD	mg/L	416	90	≤ 150	≤ 15
NH ₄ ⁺	mg/L	21,8	10	-	-
TN	mg/L	35,4	30	-	≤ 1,5
TP	mg/L	9,4	5	-	≤ 0,3



Hình 3. Vị trí lấy mẫu

Sau khi thu thập, nước cần xử lý sẽ được cấp vào mô hình với lưu lượng 10 L/ngày/bể. Kết quả phân tích chất lượng nước thải cho thấy nồng độ chất ô nhiễm cao hơn giới hạn cho phép theo quy chuẩn hiện hành.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Khả năng loại bỏ COD

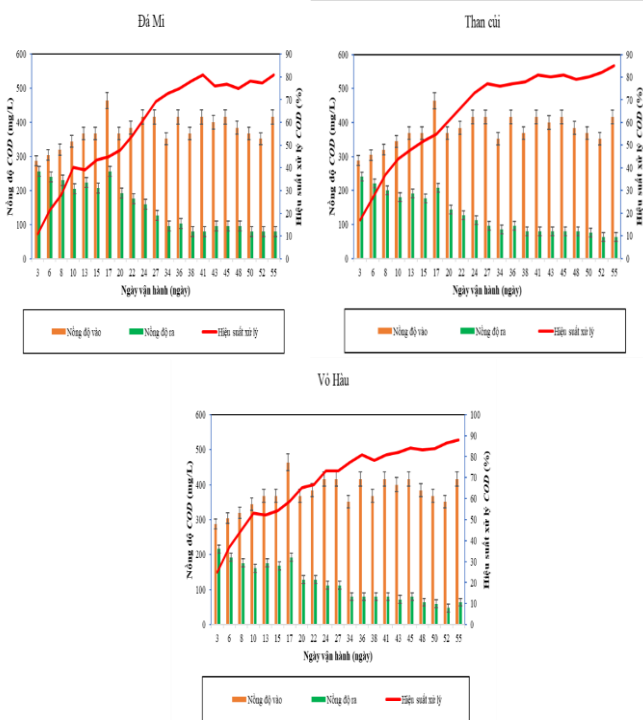
Sau quá trình vận hành, hệ thống đất ngập nước dòng chảy ngầm phương đứng (VSSF) đã chứng minh hiệu quả trong xử lý COD của nước thải nuôi tôm thông qua nhiều cơ chế đồng thời: phân hủy sinh học nhờ vi sinh vật hiếu khí và kỵ khí, lọc cơ học bởi cấu trúc xốp của vật liệu, cùng quá trình hấp phụ hóa lý và sinh học. Đặc biệt, rễ cây Cát Lồi giữ vai trò trung tâm khi cung cấp oxy qua cơ chế ROL (Radial Oxygen Loss), tạo ra gradient oxy cần thiết cho quá trình nitrat hóa và khử nitrat (Vymazal, 2014).

Kết quả thực nghiệm cho thấy sự khác biệt đáng kể về hiệu suất giữa các loại vật liệu. Với đá mi, nồng độ COD đầu vào trung bình khoảng 304 mg/L, giảm còn 256 mg/L ngay từ ngày thứ 3, đạt hiệu suất 11%. Trong giai đoạn 2 tuần đầu, tốc độ xử lý COD biến động mạnh, dao động từ 42,7 đến 122,7 mg/L.ngày, phản ánh khả năng xử lý tốt nhưng chưa ổn định. Hiệu quả loại bỏ COD duy trì ở mức 11–81%, cho thấy đá mi có thể xử lý hiệu quả trong giai đoạn đầu.

Đối với than củi, hiệu quả xử lý ổn định hơn, đặc biệt trong giai đoạn 20–55 ngày. Nồng độ COD giảm từ 464 mg/L xuống 208 mg/L sau 17 ngày, đạt hiệu quả 55% với tốc độ xử lý 85,3 mg/L.ngày. Trong giai đoạn ổn định, hiệu suất xử lý dao động 74,7–81%, tốc độ đạt 97,6–117,3 mg/L.ngày. Tuy nhiên, khi nồng độ chất hữu cơ đầu vào giảm, hiệu quả của than củi có xu hướng giảm do hạn chế về khả năng hấp phụ. Đây cũng là xu hướng được nhiều nghiên cứu ghi nhận (Panghal et al. (2024) và Zhu et al. (2025)), cho thấy than củi phù hợp khi xử lý nước thải có tải lượng hữu cơ cao nhưng kém hiệu quả ở nồng độ thấp.

Trong khi đó, vỏ hầu thể hiện khả năng xử lý COD ổn định và vượt trội nhất. Hiệu suất loại bỏ tăng dần theo thời gian, từ 25% vào ngày thứ 3 (giảm COD từ 304 xuống 216 mg/L), 37% vào ngày thứ 6, đạt 73% vào ngày 24, và cao nhất 85% vào ngày 55 (COD giảm từ 416 xuống 64 mg/L). Tốc độ xử lý COD dao động từ 24,0 mg/L.ngày đến 138,7 mg/L.ngày, phản ánh hiệu quả sinh học và hóa lý kết hợp. Cơ chế này được lý giải bởi đặc tính của vỏ hầu: cấu trúc rỗng xốp, diện tích bề mặt lớn cho vi sinh vật bám dính, khả năng hấp phụ hữu cơ mạnh, cùng thành phần CaCO₃ có tác dụng đệm pH và hỗ trợ enzyme phân hủy hữu cơ ((Yi et al., 2023); Zamani et al. (2023); Yi et al., 2023).

Kết quả cho thấy sau 55 ngày vận hành, COD đầu ra của cả ba bể đều đạt QCVN 40:2021/BTNMT, trong đó bể chứa vỏ hầu đạt hiệu quả và tính ổn định cao nhất. Điều này chứng minh vỏ hầu – một phế phẩm thủy sản – không chỉ có tiềm năng xử lý COD hiệu quả mà còn góp phần tận dụng tài nguyên địa phương theo hướng kinh tế tuần hoàn.



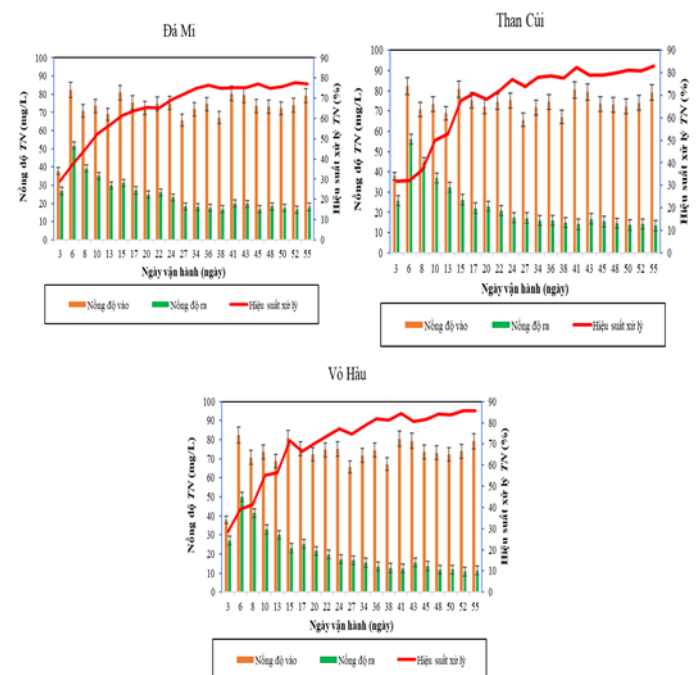
Hình 4. Hiệu quả xử lý COD

3.2. Khả năng loại bỏ TN

Kết quả thực nghiệm cho thấy hiệu suất loại bỏ TN của hệ thống tăng dần theo thời gian vận hành. Giai đoạn đầu (ngày 1-8), hiệu suất xử lý TN ở mức thấp, dao động từ 28,4 - 44,5% với ba bể chứa vật liệu khác nhau. Hiệu suất tăng đáng kể sau 15 ngày vận hành, đạt trên 60% ở cả ba bể, và tiếp tục tăng lên đến mức ổn định trên 70% sau 27 ngày vận hành. Đến ngày 55, hiệu suất loại bỏ TN đạt giá trị cao nhất ở bể chứa vỏ hàu 85,7%, tiếp theo là than củi 83,1% và đá mi 77,1%. Quá trình tăng hiệu suất xử lý theo thời gian là biểu hiện của sự thích nghi và phát triển của cả vi sinh vật và cây Cát Lồi trong hệ thống. Trong giai đoạn đầu, vi sinh vật chưa phát triển đầy đủ và thực vật đang trong quá trình thích nghi, dẫn đến hiệu suất xử lý thấp. Khi hệ vi sinh vật ổn định và hệ rễ của cây phát triển, hiệu quả xử lý TN tăng lên và dần ổn định ở mức cao. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Wu et al. (2016a), cho thấy hiệu suất xử lý nitơ trong hệ thống đất ngập nước thường đạt trạng thái ổn định sau 2-3 tuần vận hành. Nhìn vào ba bể cho thấy bể chứa vỏ hàu có hiệu quả xử lý TN cao nhất 85,7%, vượt trội hơn so với bể chứa than củi 83,1% và đá mi 77,1%. Ưu thế của vỏ hàu được giải thích bởi hàm lượng canxi carbonate (CaCO_3) cao, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình nitrate hóa và duy trì pH thích hợp cho hoạt động của vi sinh vật. Đồng thời, cấu trúc xốp của vỏ hàu cung cấp diện tích bề mặt lớn cho vi sinh vật bám dính và phát triển, tăng cường quá trình chuyển hóa nitơ (Lin, 2020). Than củi cũng cho hiệu quả loại bỏ TN cao nhờ khả năng hấp phụ các hợp chất nitơ và cung cấp môi trường thuận lợi

cho vi sinh vật phát triển. Vai trò của cây Cát Lồi trong loại bỏ TN thể hiện qua khả năng hấp thu trực tiếp các hợp chất nitơ và đặc biệt là khả năng tiết oxy qua rễ (radial oxygen loss - ROL), tạo ra các vi môi trường hiếu khí-kỵ khí xen kẽ trong vùng rễ. Đặc tính này thúc đẩy quá trình nitrate hóa trong vùng hiếu khí và khử nitrate trong vùng kỵ khí xảy ra đồng thời, cải thiện đáng kể hiệu quả loại bỏ TN (Vymazal, 2022). Với các đặc tính sinh lý của loài thực vật chịu mặn, Cát Lồi thích nghi tốt với điều kiện nước thải ao nuôi tôm có độ mặn cao và hàm lượng nitơ đáng kể.

Hiệu quả loại bỏ TN trong nghiên cứu này 77,1-85,7% cao hơn so với nhiều nghiên cứu tương tự về hệ thống đất ngập nước xử lý nước thải nuôi tôm. Đáng chú ý, bể chứa vỏ hàu cho hiệu suất loại bỏ TN 85,7% vượt trội hơn so với kết quả nghiên cứu về hệ thống đất ngập nước dòng ngầm theo phương ngang sử dụng *Typha orientalis* (76,3%) và nghiên cứu của Vymazal (2022) về hệ thống đất ngập nước lai hợp sử dụng nhiều loại thực vật bản địa (79,5%).

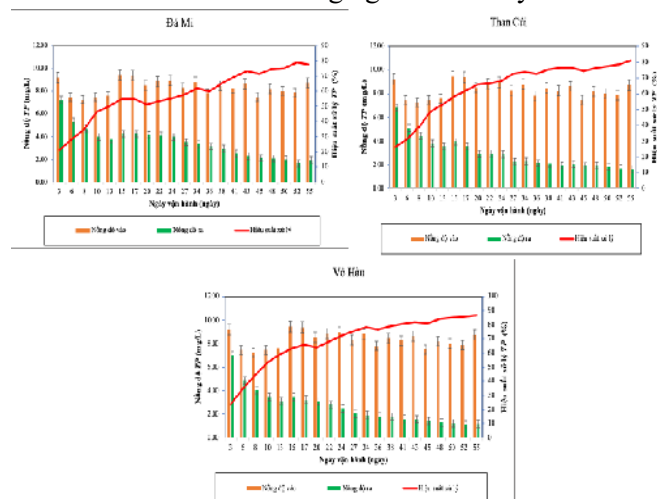


Hình 5. Hiệu quả xử lý TN

3.3. Khả năng loại bỏ TP

Kết quả nghiên cứu Hình 10 cho thấy khả năng loại bỏ TP trong nước thải ao nuôi tôm của các bể chứa có sự khác biệt rõ rệt. Hiệu suất xử lý TP tăng dần theo thời gian vận hành và đạt trạng thái ổn định sau khoảng 30–35 ngày. Trong đó, bể chứa sử dụng vỏ hàu đạt hiệu suất cao nhất với 86,9% vào ngày 55, tiếp theo là than củi (81,5%) và đá mi (75,7%). Nồng độ TP đầu vào dao động từ 7,0–9,5 mg/L, hoàn toàn vượt ngưỡng cho phép xả thải theo QCVN 40:2021/BTNMT (Cột B: 5 mg/L) và đặc biệt vượt xa ngưỡng QCVN 08:2023/BTNMT (Cột B: 0,3 mg/L). Tuy nhiên, sau quá trình vận hành xử lý nồng độ TP đầu ra ở cả ba bể chứa đều giảm mạnh,

dao động quanh 0,9–3,0 mg/L sau 55 ngày, vượt yêu cầu QCVN 40:2021 nhưng chưa đạt QCVN 08:2023. Xu hướng gia tăng hiệu suất xử lý TP theo thời gian được lý giải bởi sự phát triển của biofilm vi sinh trên bề mặt vật liệu và rễ thực vật, kết hợp với quá trình hấp phụ. Đặc biệt, hiệu suất xử lý vượt trội của vật liệu vỏ hầu có thể giải thích bằng hàm lượng CaCO_3 cao trong vỏ hầu, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình kết tủa TP dưới dạng $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, đồng thời tăng diện tích bề mặt hấp phụ và khả năng lưu giữ biofilm vi sinh. Kết quả này phù hợp với nhận định của Zhang et al. (2021), khi nghiên cứu hệ CW sử dụng biochar và thực vật thủy sinh đạt hiệu suất loại bỏ TP khoảng 70–80%, thấp hơn so với mô hình vỏ hầu trong nghiên cứu này



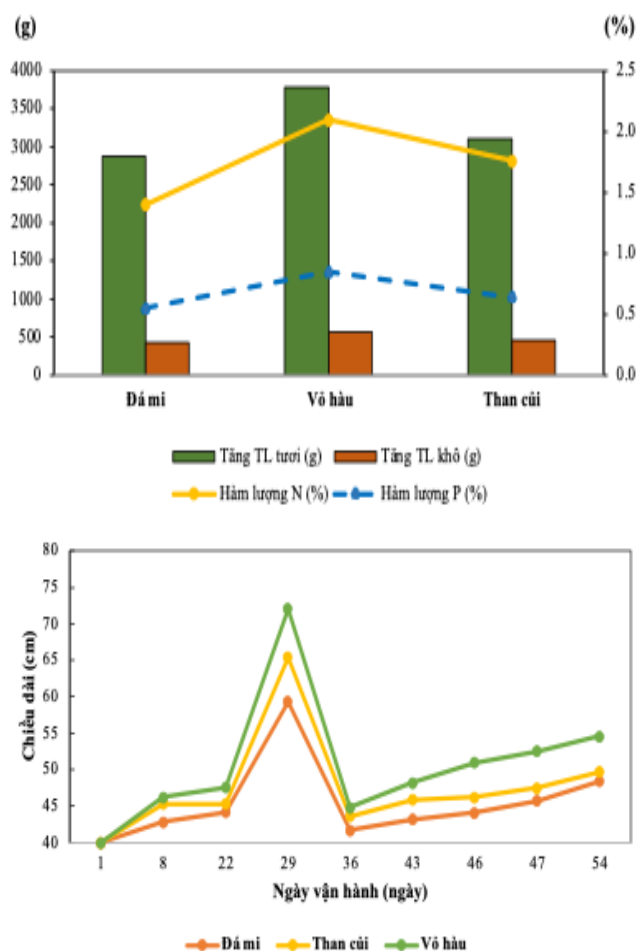
Hình 10. Hiệu quả xử lý TP

Một điểm đáng chú ý khác là sự ổn định của hệ thống sau ngày vận hành thứ 30. Điều này phù hợp với kết quả của He et al. (2019) khi cho rằng biofilm và quần thể vi sinh vật xử lý TP trong hệ đất ngập nước kiến tạo đạt trạng thái cân bằng sinh học sau khoảng 20–30 ngày vận hành liên tục. Ngoài ra, khả năng xử lý TP cao còn nhờ vào sự kết hợp của thực vật cát lồi - loài thực vật chịu mặn tốt, phát triển nhanh, có hệ rễ lớn giúp gia tăng bề mặt tiếp xúc giữa nước thải và biofilm, đồng thời tham gia hấp thụ TP trực tiếp qua cơ chế dinh dưỡng.

3.4. Đánh giá dự phát triển của cây Cát Lồi

Kết quả cho thấy thực vật phát triển ở bể chứa vỏ hầu vượt trội hơn so với bể còn lại. Sau 55 ngày vận hành, chiều cao của thực vật trồng trên bể có vật liệu vỏ hầu đạt tối đa 72,1 cm (ngày 22) và duy trì 54,6 cm vào ngày thứ 55, cao hơn so với ở bể chứa than củi (49,7 cm) và đá mi (48,4 cm) (Hình 11). Không chỉ tăng trưởng chiều cao tốt, cây trên bể chứa vỏ hầu cũng đạt tăng trọng sinh khối cao nhất với 3.785 g tươi và 568 g khô, cao hơn khoảng 31% (tươi) và 32% (khô) so với ở bể chứa đá mi. Ngoài ra, hàm lượng dinh dưỡng tích lũy trong thực vật cũng cao hơn rõ rệt ở bể chứa vỏ hầu, với 2,10% N và 0,85% P, cho thấy khả năng hấp thụ và lưu giữ dinh

dưỡng hiệu quả hơn. So sánh, bể chứa than củi và đá mi có hàm lượng N và P thấp hơn đáng kể (tương ứng là N: 1,80% và 1,40%; P: 0,64% và 0,55%). Sự vượt trội này do đặc tính hóa học và vật lý của vỏ hầu, Lin (2020) đã cho thấy việc sử dụng *Typha orientalis* trên vật liệu lọc hỗn hợp có CaCO_3 giúp tăng sinh khối và hấp thụ N, P vượt trội trong hệ thống CW xử lý nước thải nuôi tôm.



Hình 11. Tốc độ phát triển của thực vật

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy hệ thống đất ngập nước dòng chảy ngầm phương đứng (VSSF) xử lý hiệu quả nước thải ao nuôi tôm tại Cần Giờ. Trong ba loại vật liệu thử nghiệm (đá mi, than củi, vỏ hầu), vỏ hầu đạt hiệu suất cao và ổn định nhất với COD 85%, TP 87% và TN 85,7%. Thực vật Cát Lồi cũng sinh trưởng tốt nhất ở bể chứa vỏ hầu, với chiều cao 54,6 cm, sinh khối khô 568 g, hàm lượng N 2,1% và P 0,85%. Điều này chứng tỏ vỏ hầu vừa có khả năng hấp phụ chất ô nhiễm, vừa tạo điều kiện cho vi sinh vật và rễ thực vật phát triển, giúp hệ thống ổn định và hiệu quả theo thời gian. Đồng thời, việc tận dụng vỏ hầu phế phẩm nuôi trồng thủy sản góp phần giảm chi phí và thúc đẩy kinh tế tuần hoàn. Tuy nhiên, các nghiên cứu tiếp theo cần đánh giá chi phí lợi ích và rủi ro tiềm ẩn khi sử dụng than củi.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam, mã đề tài 2024.01.144.

Tài liệu tham khảo

1. Barad, A., Dulawat, M., Makavana, J. 2025. Activated bio char: a highly effective adsorbent for the removal of contaminants from dairy wastewater. *Plant Archives*, 25, 473-482.
2. Boyd, C., McNevin, A. 2014. *Aquaculture, resource use, and the environment*. John Wiley & Sons.
3. Chen, Y.S. 2021. Oyster shell waste as cost-effective biosorbent for ammonia nitrogen removal from wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 315.
4. FAO. 2023. *The State of Food and Agriculture 2023, Revealing the true cost of food to transform agrifood systems*. FAO, Rome, Italy.
5. Herbeck, L.S., Krumme, U., Andersen, T.J., Jennerjahn, T.C. 2020. Decadal trends in mangrove and pond aquaculture cover on Hainan (China) since 1966: mangrove loss, fragmentation and associated biogeochemical changes. *Estuarine, Coastal Shelf Science*, 233, 106531.
6. Kadlec, R.H. 2019. *Treatment marshes for runoff and polishing*. CRC Press.
7. Le, T.V., Pham, H.N., Tran, D.T., & Nguyen, V.C. 2022. Assessment of environmental impacts from intensive shrimp farming in Can Gio district, Ho Chi Minh city, Vietnam. *Environmental Monitoring and Assessment*.
8. Le, T.X., Muneke, Y., & Phan, D.T. 2021. Evaluation of a pilot-scale constructed wetland for treating shrimp pond wastewater in Ca Mau province, Vietnam. *Ecological Engineering*(167).
9. Lin, H., Hou, Q., Luo, Y., Hu, G., Yu, J., Yu, R. 2022. Reutilization of waste oyster shell as filler for filter for drinking water pretreatment: feasibility and implication. *Journal of Environmental Management*, 315, 115142.
10. Lin, Y.F., Jing, S.R., & Wang, T.W. 2020. Performance of a horizontal subsurface flow constructed wetland treating shrimp aquaculture wastewater under different hydraulic loading rates. *Environmental Technology*.
11. Lin YingFeng, L.Y., Jing ShuhRen, J.S., Lee DerYuan, L.D., Chang YihFeng, C.Y., Chen YiMing, C.Y., Shih KaiChung, S.K. 2005. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate.
12. Muoghalu, C., Kaboggoza, H.C., Semiyaga, S., Manga, M. 2025. Adsorptive removal of organics and nutrients from septic tank effluent using oak wood chip biochar: Kinetic analysis and numerical modeling. *Cleaner Water*, 100073.
13. Nguyen, T.A., Bui, X.T., Dang, B.T., & Ngo, H.H. 2023. Current status and challenges in wastewater management for sustainable shrimp farming in Vietnam. *Science of the Total Environment*, 856.
14. Panghal, V., Singh, A., Hooda, V., Arora, D., Bhateria, R., Kumar, S. 2024. Recent progress, challenges, and future prospects in constructed wetlands employing biochar as a substrate: a comprehensive review. *Environmental Science Pollution Research*, 1-28.

Evaluation of the efficiency of constructed wetland for treating shrimp pond wastewater

Le Thi Ngoc Chau¹, Huynh Do Dat^{1,2}, Nguyen Van Truc³, Vo Thi Dieu Hien^{1*}

¹Faculty of Applied Science and Technology, Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, 700000, Vietnam.

²Institute for Environment and Resources (IER), Ho Chi Minh City, 700000, Vietnam.

³ Faculty of Engineering and Technology, Saigon University, Ho Chi Minh City, 700000, Vietnam.

* Corresponding author: Tel: +84 975 746 299; Email: vtdhien@nttedu.vn

Abstract This study evaluated the performance of a vertical subsurface flow constructed wetland (VSSF) system using the plant *Cheilocostus speciosus* for treating shrimp farm wastewater in Ly Nhon commune, Can Gio District, Ho Chi Minh City, Vietnam. Three systems applied three materials (crushed stone, charcoal, and oyster shells) to treat wastewater at a flow rate of 10 L/day/tank over 55 days, analyzing parameters including COD, Total Nitrogen (TN), Total Phosphorus (TP). The results showed that the oyster shell filter medium achieved superior removal

efficiencies with 85% for COD, 87% for TP, 85.7% for TN, meeting effluent discharge standards according to QCVN 40:2011/BTNMT (Column B) and QCVN 08:2023/BTNMT (Column B). Notably, using oyster shells as an aquaculture by-product reduced material costs by 30–40%, offering a sustainable solution in line with a circular economy model for the coastal aquaculture sector. This study confirms the potential of VSSF constructed wetland technology using local materials to treat wastewater pollution while simultaneously protecting the region's mangrove ecosystem.

Keywords Shrimp pond wastewater, constructed wetland, *Cheilocostus speciosus*, oyster shell, Can Gio, circular economy.