Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ
Số chuyên đề: SDMD 2024
ISSN 1859-2333 | e-ISSN 2815-5599

DOI:10.22144/ctujos.2024.449

SỬ DỤNG THỰC VẬT XỬ LÝ ĐẠM VÀ LÂN TRONG NƯỚC THẢI NUÔI TRỒNG THỦY SẢN

Ngô Thụy Diễm Trang*, Võ Thị Phương Thảo và Nguyễn Văn Công
Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ
**Tác giả liên hệ (Corresponding author): ntdtrang@ctu.edu.vn*

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 17/04/2024
Sửa bài (Revised): 29/05/2024
Duyệt đăng (Accepted): 10/07/2024

Title: *Phytoremediation for nitrogen and phosphorus removal from aquaculture wastewater*

Author(s): *Ngo Thuy Diem Trang*, Vo Thi Phuong Thao and Nguyen Van Cong*

Affiliation(s): *College of Environment and Natural Resources, Can Tho University*

TÓM TẮT

Sử dụng thủy sinh thực vật để loại bỏ các chất đạm (N) và lân (P) trong nước thải nuôi trồng thủy sản (NTTS) là biện pháp rẻ tiền, hiệu quả, thân thiện với môi trường. Đất ngập nước (ĐNN) nhân tạo được xem như một trong những công nghệ sinh thái có khả năng ứng dụng cao trong cải thiện chất lượng nước ô nhiễm trong nuôi trồng thủy sản (NTTS). Trong hệ thống ĐNN, các loài thủy sinh thực vật đóng một vai trò quan trọng trong việc loại bỏ N, P qua cơ chế hấp thu tạo sinh khối. Các loài thực vật có khả năng thích nghi với từng kiểu hình ĐNN khác nhau tùy thuộc vào dạng sống, và có tiềm năng hấp thu N, P khác nhau. Bài báo này được thực hiện nhằm tổng quan các nghiên cứu về khả năng xử lý nước thải NTTS của một số loài thực vật áp dụng trên hệ thống ĐNN nhân tạo, từ đó mở ra các hướng nghiên cứu, sử dụng thực vật cho mục đích xử lý nước thải NTTS theo hướng tiếp cận thân thiện, bền vững trong gia tăng việc tái sử dụng nước thải, giảm phát thải và hướng tới nền kinh tế tuần hoàn.

Từ khóa: *Công nghệ xử lý bằng thực vật, đất ngập nước nhân tạo, nước thải, nuôi thủy sản thâm canh, nuôi thủy sản bền vững*

ABSTRACT

Using aquatic plants to remove nitrogen (N) and phosphorus (P) in aquaculture wastewater is a cheap, effective, and environmentally friendly method. Constructed wetlands (CWs) are considered one of the ecological technologies with high applicability in improving the quality of polluted water in aquaculture. In the CWs system, aquatic plants play an essential role in removing N, P through the plant uptake to produce biomass. Different species have different abilities to adapt to each type of wetlands depending on the life forms of plants and have different N and P uptake potentials by plants. This article was conducted to review research on the ability of some plant species to treat aquaculture wastewater applied on CWs systems, thereby opening up directions for study and use of plants for aquaculture wastewater treatment purposes in a user-friendly approach and sustainability by increasing wastewater reuse, emissions reduction and progress towards a circular economy.

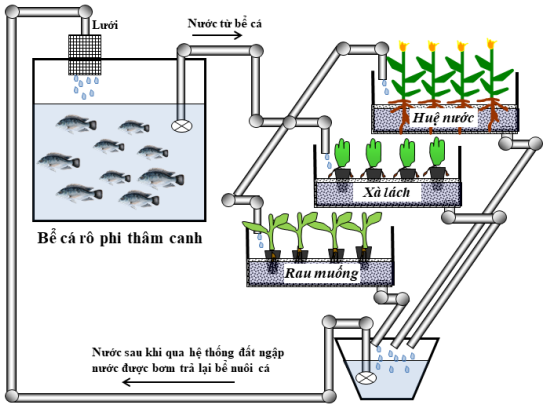
Keywords: *Constructed wetlands, intensive aquaculture, phytoremediation, sustainable aquaculture, wastewater*

1. GIỚI THIỆU

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là vùng trọng điểm về sản xuất nông nghiệp và thủy sản của cả nước đóng góp trên 33% GDP nông nghiệp cả nước và 30% GDP của vùng. Đồng bằng sông Cửu Long đứng đầu cả nước về sản lượng lúa gạo, thủy sản và trái cây, đóng góp 56% sản lượng lúa gạo (24,5 triệu tấn), 98% sản lượng cá tra (1,41 triệu tấn) và 60% các loại trái cây cả nước (4,3 triệu tấn), 95% lượng gạo xuất khẩu và 60% lượng thủy sản xuất khẩu của Việt Nam (Bộ Nông nghiệp & Phát triển Nông thôn, 2023). Tuy mang lại lợi nhuận cao cho người nuôi nhưng nghề nuôi trồng thủy sản nước ngọt và nước lợ/mặn phát sinh nhiều vấn đề bất cập liên quan đến sản xuất như dịch bệnh trên cá, tôm, ô nhiễm môi trường và các vấn đề liên quan đến biến đổi khí hậu. Trong đó, môi trường ao nuôi, chất lượng nước cấp và quản lý chất thải từ ao nuôi là yếu tố quyết định năng suất, sản phẩm và tính hiệu quả lợi nhuận mang lại từ mô hình (Phụng và ctv., 2013). Kiều và ctv. (2019) ước tính tải lượng đạm (N), lân (P) để sản xuất 1 tấn cá tra thâm canh thì lượng chất thải ra môi trường có khoảng 25,2-46,6 kg N và 9,9-18,4 kg P. Trên mô hình thâm canh cá lóc đầu nhím, Kiều và Nguyên (2023) ghi nhận tải lượng ô nhiễm của $N\text{-}NH_4^+$, $N\text{-}NO_2^-$, $N\text{-}NO_3^-$, $P\text{-}PO_4^{3-}$ và TP lần lượt là 154,17; 22,47; 58,95; 62,02 và 99,20 kg/1000 m^2/vụ. Trang và ctv. (2022) ghi nhận sản xuất 1 tấn tôm thịt thải ra môi trường 57,6-77,5 kg TKN và 12,5-16,3 kg P. Với lượng đạm, lân này nếu thải trực tiếp ra môi trường sẽ là nguyên nhân dẫn đến hiện tượng phú dưỡng hóa, làm suy giảm chất lượng nguồn nước mặt. Trong bối cảnh đó, việc xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản đang trở thành một vấn đề cấp bách ở nước ta.

Việc sử dụng hệ thống đất ngập nước (ĐNN) xử lý nước thải từ nuôi trồng thủy sản (NTTS) đã được nghiên cứu trên thế giới và ở ĐBSCL với kết quả khả thi (Trang, 2009; Konnerup et al., 2011; Nhiên & Trang, 2013, Nhiên và ctv., 2013; Trang & Brix, 2014; Trang et al., 2017). Một trong những thành phần góp phần làm tăng hiệu quả xử lý cho hệ thống ĐNN là thực vật trồng trong hệ thống. Thực vật trong hệ thống ĐNN đóng vai trò rất lớn, chúng có khả năng giải phóng oxy và vận chuyển oxy vào vùng rễ cây thúc đẩy phân hủy hiếu khí và nitrate hóa. Bên cạnh đó, rễ của chúng còn làm giá bám cho các vi sinh vật tạo màng sinh học để tăng cường cho các quá trình chuyển hóa nitơ, hấp thu các chất dinh dưỡng (Brix, 1997; Brix, 2003). Do đó, việc lựa chọn thực vật phù hợp là tiêu chí quan trọng nhằm làm tăng thành công cho quá trình xử lý của các hệ thống ĐNN.

Một trong những phương pháp tốt nhất để giảm thiểu tác nhân ô nhiễm từ ao nuôi thủy sản là giảm lượng chất ô nhiễm xả thải (Tucker & Hargreaves, 2003). Đây cũng chính là chiến lược lý tưởng trong NTTS ở Việt Nam, cụ thể sẽ làm giảm hoặc ngừng hoàn toàn việc xả nước thải và sử dụng hệ thống nuôi không thay nước (Trung, 2023). Hệ thống NTTS tuần hoàn cho phép canh tác thâm canh, giới hạn lượng xả thải, do đó, làm giảm sử dụng nước và giảm thiểu tác động xấu về môi trường, được khẳng định là xu hướng NTTS bền vững ở Việt Nam (Nga & Em, 2022). Việc kết hợp hệ thống ĐNN nhân tạo có trồng cây vào hệ thống NTTS tuần hòa (Hình 1), được xem là một giải pháp hiệu quả và bền vững, rẻ tiền, mang tính thân thiện với môi trường.



Hình 1. Hệ thống nuôi thủy sản tuần hoàn kết hợp đất ngập nước (Trang and Brix, 2014)

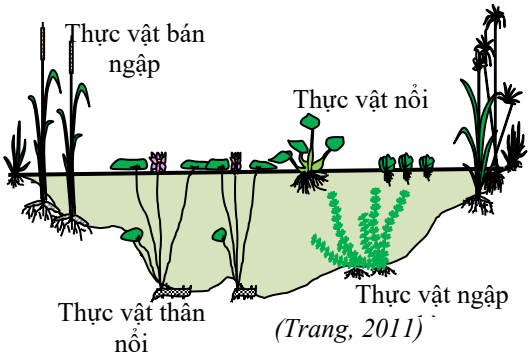
Phương pháp sử dụng thực vật làm sạch nước thải và chất thải trong NTTS qua cơ chế hấp thu dinh dưỡng, chất ô nhiễm và kim loại vào sinh khối đã được nghiên cứu trên nhiều loài thực vật. Mỗi loài cây có khả năng và tiềm năng trong việc hấp thu các dưỡng chất dư thừa trong nước thải NTTS khác nhau, từ đó giúp giảm thiểu nồng độ các chất ô nhiễm trong nước NTTS trước khi được thải ra môi trường ngoài. Tuy nhiên, các nghiên cứu công bố tại Việt Nam, đặc biệt ở ĐBSCL về ứng dụng, sử dụng thực vật xử lý nước thải NTTS còn khá ít, chưa có nghiên cứu tổng quan về hướng xử lý nước thải NTTS bằng thực vật, để từ đó làm cơ sở lý thuyết tiền đề cho các nghiên cứu thực nghiệm tiếp theo hoặc triển khai áp dụng thực tế. Bài báo này được thực hiện nhằm tổng quan các nghiên cứu về khả năng xử lý nước thải NTTS của một số loài thực vật áp dụng trên hệ thống ĐNN nhân tạo, từ đó mở ra các hướng nghiên cứu, sử dụng thực vật cho mục đích xử lý nước thải NTTS của Việt Nam nói chung

và vùng ĐBSCL nói riêng. Đây hứa hẹn là hướng tiếp cận thân thiện, bền vững trong gia tăng việc tái sử dụng nước thải, tận dụng và tái sử dụng dinh dưỡng trong nước thải, giảm phát thải và hướng tới nền kinh tế tuần hoàn.

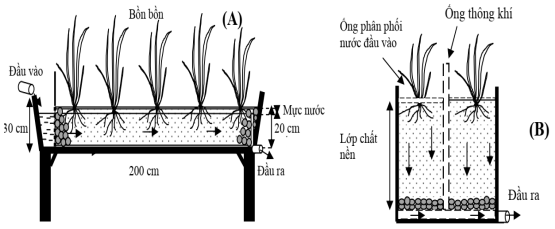
2. GIỚI THIỆU ĐẤT NGẬP NƯỚC NHÂN TẠO VÀ VAI TRÒ THỰC VẬT

2.1. Đất ngập nước nhân tạo

ĐNN nhân tạo có thể được phân loại theo các thông số khác nhau, nhưng chủ yếu dựa trên hai tiêu chí quan trọng nhất đó là chế độ dòng chảy (bề mặt và ngầm) và dạng sống của thủy sinh thực vật thượng đẳng (macrophyte) trồng trong hệ thống (Hình 2). Có 2 kiểu hệ thống ĐNN nhân tạo chính đó là: hệ thống chảy mặt (Free Water Surface, FWS - nước chảy mặt tự do), và hệ thống chảy ngầm (Subsurface Flow, SF) (Vymazal, 2007). Trong kiểu hệ thống chảy ngầm theo phương ngang được chia ra làm 2 kiểu khác nhau dựa trên phương của dòng chảy: hệ thống chảy ngầm theo phương ngang (Horizontal Subsurface Flow, HSF) và hệ thống chảy ngầm theo phương đứng (Vertical Flow, VF) (Hình 2 và Hình 3). Các kiểu hình ĐNN nhân tạo này có thể kết hợp với nhau (được gọi là dạng lai (hybrid systems) hoặc hệ thống kết hợp) để khai thác những ưu điểm cụ thể của từng kiểu hệ thống khác nhau (Nga & Trang, 2013).



Hình 2. Các dạng sống của thực vật thủy sinh (Trang, 2011)



Hình 3. (A) đất ngập nước nhân tạo chảy ngầm ngang (HF, horizontal flow) và (B) chảy ngầm đứng (VF, vertical flow) (Nguyên và ctv. 2012)

2.2. Vai trò của thực vật trong hệ thống đất ngập nước nhân tạo

Trong hệ thống ĐNN luôn có sự hiện diện của các loài thực vật, nhưng chỉ có một số loài đóng vai trò quan trọng trong quá trình xử lý nước thải của hệ thống. Tùy thuộc vào kiểu hệ thống ĐNN (chảy mặt, chảy ngầm) mà có thể sử dụng các loài thực vật khác nhau, nhưng việc lựa chọn các loài thực vật để ứng dụng trong hệ thống ĐNN cần tuân theo một số tiêu chí sau: sử dụng các loài bản địa, và hạn chế sử dụng loài ngoại lai; sử dụng các loài thực vật mọc ở vùng ĐNN tự nhiên hoặc bờ sông vì rễ của chúng thích nghi với sự phát triển trong điều kiện bão hòa nước; các cây có hệ rễ và thân rễ rộng lớn dưới mặt đất là thích hợp hơn; cây có thể chịu được tải sốc cũng như thời gian ngắn; và cây trồng có thể thích ứng được với tình trạng lũ lụt tạm thời và bị đọng nước (Jethwa & Bajpai, 2016).

Các loài thực vật thủy sinh được sử dụng phổ biến trên các hệ thống ĐNN xử lý nước thải NTTS có các dạng sống như: thân bán ngập, thân nổi, thân lá nổi, thân ngập chìm (Hình 2). Nhóm thực vật thân nổi thường được áp dụng là bồn bồn, thủy trúc, năn tượng, huệ nước, ngải hoa, sậy, lác,… Nhóm thực vật nổi gồm bèo tai tượng, bèo tấm, lục bình (hay còn gọi là bèo nhật, bèo tây). Nhóm thực vật thân nổi gồm sen, súng. Nhóm thực vật ngập chìm gồm các loài rong (Nga & Trang, 2013). Trong hệ thống ĐNN nhân tạo, thực vật đóng vai trò quan trọng trong hấp thu các chất ô nhiễm, tạo màng sinh học biofilm trên bề mặt rễ và thân cây, vận chuyển oxy cung cấp xuống vùng rễ, tạo cảnh quan hệ thống xử lý,… (Brix, 1997) (Bảng 1).

Bảng 1. Vai trò của thực vật thủy sinh trong hệ thống đất ngập nước

STT	Đặc điểm thực vật thủy sinh	Vai trò trong xử lý
1	Thực vật thủy sinh sống nổi, có thân lá trên mặt nước (ví dụ: bèo tây, rau muống, …)	- Giảm ánh sáng từ đó giảm được sự phát triển của sinh vật phù du - Tạo lớp cách nhiệt trong mùa đông - Giảm tốc độ gió từ đó giảm nguy cơ phân tán chất ô nhiễm, dự trữ dinh dưỡng - Cung cấp diện tích bề mặt cho màng sinh học

STT	Đặc điểm thực vật thủy sinh	Vai trò trong xử lý
		- Tạo tính mỹ quan cho hệ thống, cảnh quan - Rễ hấp thu chất ô nhiễm và là giá thể nơi vi khuẩn bám dính, từ đó chúng phân hủy, chuyển hóa các chất ô nhiễm trong nước thải
2	Thực vật ngập trong nước (ví dụ: rong, hẹ xoắn, …)	- Giảm tốc độ dòng chảy, giúp tăng tốc độ lắng, giảm nguy cơ phân tán - Cung cấp diện tích bề mặt cho màng sinh học - Tạo oxy tăng cường cho quá trình phân hủy hiếu khí - Hấp thu chất ô nhiễm
3	Thực vật có rễ, thân rễ trong trầm tích và thân mọc vượt (ví dụ: sậy, thủy trúc, bồn bồn, …)	- Ổn định bề mặt trầm tích làm giảm xói mòn - Ngăn chặn tắc nghẽn trong hệ thống dòng chảy thẳng đứng - Hấp thu chất ô nhiễm

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp tiếp cận trong nghiên cứu này gồm lược khảo tài liệu có hệ thống và phân tích số liệu thứ cấp. Theo Werners et al. (2021), lược khảo tài liệu có hệ thống gồm 4 bước: (i) xác định chủ đề và giới hạn nghiên cứu, (ii) tìm kiếm tài liệu và chọn lọc các tài liệu có liên quan đến chủ đề nghiên cứu, (iii) đọc hiểu và phân tích các tài liệu, và (iv) báo cáo phản hồi. Áp dụng cách tiếp cận này, nghiên cứu đã giới hạn chủ đề tập trung các thông tin về tải lượng ô nhiễm của ao nuôi thủy sản, nồng độ N, P của nước thải và các loài thực vật thủy sinh xử lý nước thải NTTS nước ngọt và nước lợ. Bài tổng quan này tập trung các nghiên cứu của tác giả chính và các tài liệu có liên quan như sách, luận văn/luận án, và bài báo khoa học được tìm kiếm trên Google Scholar với cụm từ khóa "Đất ngập nước nhân tạo xử lý đạm lân trong nước thải nuôi trồng thủy sản". Kết quả sau 0,03 giây liệt kê được 375 tài liệu có liên quan đến cụm từ khóa và trong khoảng thời gian 2010 đến 2023 với chọn loại tài liệu "mọi loại". Tuy nhiên, các tài liệu liên quan trực tiếp đến chủ đề tổng quan của bài viết chỉ sử dụng được 11 tài liệu. Do đó, một số tài liệu gần liên quan như tải lượng N, P trong NTTS, và một số nghiên cứu nuôi thủy sản kết hợp thực vật cũng được sử dụng. Ngoài ra, tác giả còn thu thập thêm các nghiên cứu liên quan trên Google và trang tạp chí Khoa học trường Đại học Cần Thơ. Kết quả phân tích được tổng hợp và trình bày theo hai tiểu mục như sau: Tiềm năng xử lý đạm, lân trong nước thải ao nuôi cá nước ngọt của thực vật; Tiềm năng xử lý đạm, lân trong nước thải ao nuôi tôm của thực vật.

4. TỔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN KHẢ NĂNG XỬ LÝ ĐẠM VÀ LÂN CỦA THỰC VẬT

4.1. Khả năng xử lý đạm và lân trong nước thải ao nuôi cá nước ngọt

Hàm lượng N, P từ nước thải ao nuôi cá nước ngọt là rất cao, đặc biệt là ao nuôi cá tra với nồng độ tổng đạm amôn (TAN), nitrite ($N\text{-}NO_2^-$), tổng đạm (TN) và tổng lân (TP) lần lượt là 1,43-5,66; 0,10-0,35; 5,60-53,66 và 1,61-4,26 mg/L (Nguyên và ctv., 2015). Trong hệ thống NTTS tuần hoàn có sự tích lũy N, P cao hơn, cụ thể, nồng độ nitrate ($N\text{-}NO_3^-$) và lân hòa tan ($P\text{-}PO_4^{3-}$) đến cuối quá trình nuôi lên đến trên 30 và 5 mg/L ở hệ thống nuôi cá trê vàng có thay nước (Nho và ctv., 2019). Hàm lượng N, P cao trong môi trường nước ao nuôi nếu thải trực tiếp ra môi trường, là nguyên nhân dẫn đến hiện tượng phú dưỡng hóa, làm suy giảm chất lượng nguồn nước mặt. Chính vì thế, nước thải ao nuôi cần được xử lý trước khi xả ra nguồn tiếp nhận và kết hợp sử dụng thực vật trong hệ thống nuôi thủy sản tuần hoàn xử lý N, P là một giải pháp sinh thái, hiệu quả và bền vững (Konnerup et al., 2011; Trang and Brix, 2014; Trang et al., 2017).

4.1.1. Khả năng xử lý đạm

Sử dụng thủy sinh thực vật để loại bỏ các chất dinh dưỡng trong nước thải ô nhiễm hữu cơ là biện pháp hữu hiệu và phù hợp với điều kiện môi trường và không gây ảnh hưởng đến môi trường. Thực vật có khả năng hấp thu dinh dưỡng trong nước thải, cụ thể N, P để sinh trưởng và phát triển thể hiện qua sự gia tăng sinh khối theo thời gian. Tùy thuộc vào loài thực vật và sinh khối có trong hệ thống xử lý, chất lượng nước thải đầu ra và hiệu quả loại bỏ N là khác nhau (Bảng 2). Hệ thống ĐNN nhân tạo chảy ngầm đứng (VF) và ngầm ngang (HSF) có trồng bồn bồn để xử lý nước bể nuôi cá tra thâm canh đã góp phần loại bỏ được 74-86% N của cả hệ thống ĐNN

(Nguyên và ctv., 2012). Tuy nhiên, bản thân cây bồn bồn chỉ đóng góp loại bỏ 1,2-2,4% N từ nước thải thông qua quá trình hấp thu vào sinh khối cây bồn bồn sau 2 tháng trồng cây (Nguyên và ctv., 2012). Sau đó, cây bồn bồn được cắt ngang phần thân chừa 30 cm từ bề mặt chất nền để cây tiếp tục tái sinh. Phần sinh khối cây tái sinh tuy khối lượng ít hơn, nhưng cây non trẻ hơn nên tích lũy N, P nhiều hơn, vì thế góp phần loại bỏ N nhiều hơn, cụ thể 17% N từ nước thải được hấp thu vào sinh khối cây (Nhiên & Trang, 2013); tăng hiệu suất xử lý các dạng N hòa tan của cả hệ thống, cụ thể ở hệ thống chảy ngầm ngang NO_2-N (86,4%), NO_3-N (94,7%), NH_4-N (84,1%), đối với hệ thống chảy ngầm đứng NO_2-N (17,3%), và NH_4-N (36%). Tuy nhiên, hiệu suất xử lý tổng N cho cả hệ thống thì giảm đi (59,9% TN ở HSF và 42,2% TN ở VF) (Nhiên và ctv., 2013) (Bảng 2) do tổng sinh khối cây bồn bồn tái sinh thấp hơn cây trước khi tỉa. Trong một hệ ĐNN nổi kết hợp nuôi cá sặc rằn thâm canh và bèo tai tượng, sau 60 ngày nuôi cá không thay nước, bèo tai tượng đã giúp duy trì chất lượng nước, cụ thể không có sự tích lũy và gia tăng N, P trong nước bể nuôi cá (Bình và ctv., 2013). Sinh khối thu hoạch từ bèo tai tượng có thể sử dụng làm sinh khối bổ sung vào túi ủ biogas hoặc ủ phân compost. Nhóm thực vật có hoa như cây vạn thọ giúp loại bỏ khoảng 95% NH_4-N trong nước thải bể nuôi cá tra thâm canh (Trang & Hoa, 2016). Bên cạnh đó, cây mồm mỡ cũng là đối tượng thực vật được chọn trong xử lý nước thải nuôi cá tra thâm canh với hiệu xuất xử lý các dạng đạm hòa tan đều >90% và tổng N đạt 48,5-73,5% (Kiều và ctv., 2015). Riêng cây lục bình cũng đóng góp hiệu suất xử lý NH_4-N rất cao >90% (Nguyên và ctv., 2015).

Bảng 2. Hiệu suất xử lý đạm trong nước thải ao nuôi cá nước ngọt của một số loài thực vật

Loài thực vật	Chất lượng nước, mg/L (hiệu suất xử lý, %)								Thiết kế	Nước thải	Tác giả
	NO_2-N		NO_3-N		NH_4-N		TN				
	Đầu vào	Đầu ra	Đầu vào	Đầu ra	Đầu vào	Đầu ra	Đầu vào	Đầu ra			
Bồn bồn (*Typha orientalis*)	-	-	-	-	-	-	1,5	(86,0)	HSF	Cá tra	Nguyên và ctv. (2012)
Bồn bồn (*T. orientalis*)	-	-	-	-	-	-	1,5	(74,0)	VF		
Bồn bồn (*T. orientalis*)	0,22	0,03 (86,4)	1,31	0,07 (94,7)	1,13	0,18 (84,1)	3,39	1,36 (59,9)	HSF	Cá tra	Nhiên & ctv. (2013)
Bồn bồn (*T. orientalis*)	1,50	1,24 (17,3)	-	-	1,88	1,11 (36,0)	4,48	2,59 (42,2)	VF		
Thủy trúc (*Cyperus alternifolius*) Ngải hoa (*Canna hybrids*)	-	-	-	-	-	(90,9)	-	(92,0)	HSF VF	Cá trê lai	Lợi (2011)
Thủy trúc (*C. alternifolius*) Ngải hoa (*Canna hybrids*)	-	-	-	-	-	(89,5)	-	(90,8)	VF HSF	Cá trê lai	
Lục bình (*Eichhornia crassipes*)	-	-	-	-	2,9-4,7	(>90,0)	-	-	FWS	Cá tra	Nguyên và ctv. (2015)
Cỏ mồm mỡ (*Hymenachne acutigluma*)	0,33	0,01 (97,0)	0,21	0,01-0,08 (>99,0)	0,95	(81,0-96,9)	1,51	(48,5-73,5)	(*)	Cá tra	Kiều và ctv. (2015)
Vạn thọ (Tagetes *patula*)	-	-	-	-	-	(95,0)	-	-	-	Cá tra	Trang & Hoa (2016)
Rau muống (*Ipomoea aquatica*) Xà lách (*Lactuca sativa*) Huệ nước (*Canna glauca*)	-	-	-	-	-	(24,3-79,7)	-	(41,0-71,2)	HSF & VF	Cá rô phi	Trang et al. (2017)

Loài thực vật	Chất lượng nước, mg/L (hiệu suất xử lý, %)								Thiết kế	Nước thải	Tác giả
	NO_2-N		NO_3-N		NH_4-N		TN				
	Đầu vào	Đầu ra	Đầu vào	Đầu ra	Đầu vào	Đầu ra	Đầu vào	Đầu ra			
Bèo tai tượng (*Pistia stratiotes*)	-	-	-	(46,7)	-	(40,7)	-	(39,9)	(*)	Cá trê vàng	Nho và ctv. (2022)
Bèo tấm (*Lemna minor*)				(45,0)		-		(44,8)			
Bèo nhật (*L. laevigatum*)				(32,2)		(17,1)		(28,1)			

Ghi chú: HSF là hệ thống ĐNN chảy ngầm ngang; VF là hệ thống ĐNN chảy ngầm đứng; FWS là hệ thống ĐNN chảy mặt tự do; (*) Đặt cây trực tiếp vào thùng nước thải

Bên cạnh sử dụng thực vật để xử lý nước thải từ ao nuôi cá tra, các loài rau ăn lá như rau muống, xà lách cũng có khả năng xử lý nước bể nuôi cá rô phi thâm canh (Trang & Brix, 2014), tuy nhiên, loài cây có sinh khối cao như huệ nước giúp hấp thu một lượng lớn N, P (725 kg N and 234 kg P/ha/năm) từ trong nước thải để tổng hợp vào sinh khối cây hơn hai loài rau. Với sự kết hợp 3 loài cây này (trong hệ thống ĐNN bố trí song song, Hình 1) đã giúp loại bỏ 6% N và 7% P trong thức ăn cho cá. Tùy theo cách bố trí hệ thống ĐNN (mắc nối tiếp hay song song) sẽ cung cấp hiệu quả xử lý của cả hệ thống khác nhau dù sử dụng cùng lúc 3 loài cây rau muống, xà lách và huệ nước. Ở cách mắc hệ thống ĐNN nối tiếp hiệu suất xử lý của cả hệ thống đạt hiệu suất cao hơn so với mắc song song, cụ thể 24,3-79,7% NH_4-N, và 41,0-71,2% TKN (Trang et al., 2017). Trong thời gian nuôi cá trong hệ thống này nước bể nuôi không cần thay mới mà chất lượng nước vẫn duy trì tốt đạt yêu cầu cho cá sinh trưởng phát triển bình thường.

Cây huệ nước hay còn gọi cây chuối hoa lai (*Canna generalis*) được chọn và trồng trên hệ thống ĐNN ứng dụng để xử lý nước ao nuôi cá rô phi bán thâm canh tại ĐBSCL, một lần nữa khẳng định tiềm năng hấp thu chất ô nhiễm trong nước thải. Cụ thể mỗi ngày huệ nước có khả năng hấp thu 0,38-0,97 g N/m^2 và 0,098-0,215 g P/m^2, giúp loại bỏ 8,2% N và 7,9% P từ N, P trong thức ăn cho cá (Konnerup et al., 2011). Trong thời gian nuôi 4,5 tháng, hệ thống ĐNN chảy ngầm ngang và ngầm đứng trồng cây huệ nước này đã giúp luôn duy trì chất lượng nước trong ao cá rô phi đạt chất lượng tốt đảm bảo cho cá sinh trưởng và phát triển rất tốt. Cụ thể hàm lượng TAN < 1,0 mg/L; NO_2-N < 0,07 mg/L và BOD < 30 mg/L (Konnerup et al., 2011). Ban đầu thả 14,9 kg cá, sau 4,5 tháng thu hoạch được 125 kg cá. Một loài khác trong chi *Canna* là cây ngải hoa (*Canna hybrids*) cũng được chọn để xử lý nước thải bể ương cá trê lai (Lợi, 2011). Cây ngải hoa được trồng trên hệ thống ĐNN chảy ngầm đứng kết hợp với hệ thống chảy ngầm ngang trồng thủy trúc (*Cyperus involucatus*), để so sánh với hệ thống chảy ngầm đứng trồng thủy trúc kết hợp chảy ngầm ngang trồng ngải hoa. Cả hai kiểu hệ thống và hai loài cây đều có hiệu suất xử lý tương đương nhau (90,9% NH_4-N và 92% TN ở hệ thống đầu; và 89,5% NH_4-N và 90,8% TN ở hệ thống sau). Cây rau ngổ cũng là đối tượng được chọn để xử lý nước nuôi lươn giúp cải thiện chất lượng môi trường nước bể nuôi và tạo thêm năng suất rau ngổ có thể thu hoạch sinh khối bán làm rau ăn lá (Thắm và ctv., 2021). Bèo tai tượng xử lý tốt hàm lượng đạm trong nước thải nuôi cá trê vàng trong 10 ngày với hiệu suất xử lý 40,7% TAN; 46,7% NO_3-N và 39,9% TN; tuy nhiên, bào tấm có hiệu suất xử lý TN cao hơn đạt 44,8%, trong khi bèo nhật đạt thấp nhất 28,1% TN (Nho và ctv., 2022). Tóm lại, các loài thực vật được chọn để trồng trên các hệ thống ĐNN xử lý nước NTTS với nhiều đối tượng nuôi là rất đa dạng và tùy theo kiểu hình ĐNN sẽ có nhóm thực vật có dạng sống khác nhau. Nhìn chung, hiệu suất xử lý N của các loài cây khác nhau tùy theo nồng độ N trong nước thải đầu vào và các kiểu hình ĐNN thì khác nhau, biến động rất lớn 28,1-92,0%. Chính vì vậy, người sử dụng có thể chọn loài cây và cách thiết kế hệ thống ĐNN phù hợp với mục đích muốn loại bỏ dạng N nào trong nước thải NTTS, ví dụ, muốn loại bỏ NH_4-N thì chọn hệ thống VF, muốn loại bỏ NO_3-N thì chọn hệ thống HSF và FWS, và muốn loại bỏ hoàn toàn các dạng N thì có thể kết hợp các hệ thống trên lại, gọi là hệ thống dạng lai (hybrid systems).

4.1.2. Khả năng xử lý lân

Cơ chế loại bỏ P trong hệ thống ĐNN gồm có sự hấp thu của thực vật, các quá trình đồng hóa của vi khuẩn, sự hấp phụ lên đất, vật liệu lọc. Thực vật đóng vai trò quan trọng trong xử lý nước thải như một tác nhân làm sạch nước tự nhiên (Brix, 1997). Do tác dụng của tiến trình quang hợp, thực vật trong hệ thống ĐNN đã liên kết môi trường vô cơ và hữu cơ lại làm thay đổi đặc điểm hóa học của nước, có tác dụng làm các chất dinh dưỡng trong đất chuyển đổi. Cây bồn bồn trồng trên hệ thống VF có thể loại bỏ 69% P trong nước bể nuôi cá tra thâm canh, trong

khi hệ thống HF loại bỏ được 72% P (Nguyên và ctv., 2012) (Bảng 3). Sau khi cây bồn bồn ra hoa, cây được cắt ngang phần thâm chừa lại 30 cm cao cây. Sau đó, cây bồn bồn tái sinh trưởng và tiếp tục được đánh giá sinh khối và hiệu suất xử lý N, P (Nhiên & Trang, 2013). Tuy nhiên, theo thời gian cây bồn bồn giảm khả năng sinh trưởng và tăng trưởng sinh khối tươi phần thân lá (81,8 g/m^2.ngày) (Nhiên & Trang, 2013), so với trước khi cắt tỉa cây là 238,6 g/m^2.ngày (Nguyên và ctv., 2012). Điều này dẫn đến hiệu suất xử lý P của cây bồn bồn cũng giảm chỉ còn 8,2-14,3% P (Nhiên & Trang, 2013). Cây bồn bồn có khả năng hấp thu 0,17 g N/m^2.ngày và 0,09 g P/m^2.ngày, thấp hơn tiềm năng của cây huệ nước trồng trên hệ thống ĐNN xử lý ao nuôi cá rô phi thâm canh (Konnerup et al., 2011) về khả năng hấp thu P (0,098-0,215 g P/m^2.ngày) và N (0,38-0,97 gN/m^2.ngày). Bên cạnh ghi nhận hiệu suất xử lý N hòa tan của cây mồm mỡ là rất cao >90% (Bảng 2) (Kiều và ctv., 2015), thì khả năng xử lý P của cây mồm mỡ cũng được ghi nhận rất cao (85,7-92,5% PO_4-P; và 79,2-95,6% TP (Kiều và ctv., 2015), vượt trội hơn cả cây bồn bồn (Nguyên và ctv., 2012). Ngoài ra, lục bình được đánh giá có hiệu suất xử lý PO_4-P trung bình 34,3-39,6%, thấp hơn rất nhiều so với tiềm năng xử lý N hòa tan >90% (Nguyên và ctv., 2015). Trong khi vạn thọ có khả năng loại bỏ lân hòa tan (PO_4-P) và lân tổng (TP) trong nước thải nuôi cá tra (đạt 86%) (Trang & Hoa, 2016). Bèo tai tượng là loài cho hiệu suất xử lý lân thấp nhất trong các loài cây được tổng hợp ở Bảng 3. Bèo tai tượng chỉ loại bỏ 24,6% PO_4-P; và 9,2% TP trong nước thải ao nuôi cá trê vàng (Nho và ctv. 2022). Cây bèo tấm cũng là nhóm cây cho hiệu suất xử lý P khá thấp (13,8% PO_4-P). Với cây huệ nước trồng trên hệ thống ĐNN chảy ngầm ngang và ngầm đứng xử lý nước ao nuôi cá rô phi bán thâm canh ghi nhận cây giúp hấp thu 0,22 g P/m^2.ngày (Konnerup et al., 2011), góp phần giúp duy trì hàm lượng P trong nước ao nuôi sau 4,5 tháng không thay nước. Tuy nhiên, với hệ thống ĐNN này chất nền sử dụng là đá thường không chứa Ca, Al, Fe, Mg,... cao dẫn đến khả năng hấp phụ lân của vật liệu thấp, do đó, hiệu suất xử lý lân của hệ thống ĐNN không được cao. Vì vậy, muốn tăng hiệu suất xử lý lân thì hệ thống ĐNN cần chọn những loại chất nền có chứa nhiều thành phần chất khoáng Ca, Al, Fe, Mg,... ví dụ như vỏ sò, đất phèn (Konnerup et al., 2011; Nguyên và ctv., 2012).

Bảng 3. Hiệu suất xử lý lân trong nước thải ao nuôi cá nước ngọt của một số loài thực vật

Loài thực vật	Chất lượng nước, mg/L (hiệu suất xử lý, %)				Thiết kế	Nước thải	Tác giả
	PO_4-P		TP				
	Đầu vào	Đầu ra	Đầu vào	Đầu ra			
Bồn bồn (*T. orientalis*)	-	-	3,1	(72,0)	HSF	Cá tra	Nguyên và ctv. (2012)
Bồn bồn (*T. orientalis*)	-	-	3,8	(69,0)	VF		
Bồn bồn (*T. orientalis*)	-	-	-	(14,3)	HSF	Cá tra	Nhiên và ctv. (2013)
Bồn bồn (*T. orientalis*)	-	-		(8,2)	VF		
Lục bình (*E. crassipes*)	3,3	(34,3-39,6)	-	-	FWS	Cá tra	Nguyên và ctv. (2015)
Cỏ mồm mỡ (*H. acutigluma*)	1,16	(85,7-92,5)	1,36	(79,2-95,6)	(*)	Cá tra	Kiều và ctv. (2015)
Vạn thọ (*T. patula*)	-	(86,0)	-	-	-	Cá tra	Trang và Hoa (2016)
Bèo tai tượng (*P. stratiotes*)	-	(24,6)	-	(9,2)	(*)	Cá trê vàng	Nho và ctv. (2022)
Bèo tấm (*L. minor*)		(13,8)	-	-			

Ghi chú: HSF là hệ thống đất ngập nước ngầm ngang; VF là hệ thống đất ngập nước ngầm đứng; FWS là hệ thống ĐNN chảy mặt tự do; (*) Đặt cây trực tiếp vào thùng nước thải

Thực vật hấp thu lân trong nước để sinh trưởng tạo sinh khối cây, tùy thuộc vào loài thực vật khác nhau sẽ hiệu quả xử lý khác nhau. Ví dụ, cây bồn bồn và huệ nước lại có hiệu suất xử lý đạm cao hơn (Konnerup et al., 2011; Nguyên và ctv., 2012; Nhiên & Trang, 2013). Ngoài ra khi thiết kế hệ thống đất ngập nước theo kiểu khác nhau cũng ảnh hưởng đến hiệu suất xử lý (Lợi, 2011; Nguyên và ctv. 2012; Nhiên và ctv., 2013).

Tóm lại, thực vật là một thành phần rất quan trọng, đóng vai trò chủ đạo trong việc loại bỏ chất ô nhiễm trong hệ thống ĐNN. Khi thiết kế hệ thống ĐNN để xử lý đạm, lân trong nước thải NTTS nước ngọt cần căn cứ vào đặc điểm và nồng độ các thành

phần trong nước thải, cũng như mục đích sử dụng mà lựa chọn loài cây trồng cho phù hợp, để đạt được hiệu quả xử lý tốt nhất. Ví dụ, muốn xử lý đạm amôn và đạm nitrate một cách triệt để cần kết hợp cả hai loại hệ thống ĐNN chảy ngầm ngang và ngầm đứng, trồng những loài cây có sinh khối thân lá nhiều và hệ rễ chùm như cây huệ nước (chuối hoa), thủy trúc, bồn bồn,... Ngoài hấp thu N, P trong nước thải, hệ rễ cây trong hệ thống ĐNN cũng đóng vai trò quan trọng trong việc tạo màng biofilm, tạo lỗ rỗng trong chất nền để giúp cho hệ thống không bị nghẽn dòng chảy theo thời gian do cặn bã hữu cơ và xác tảo phân hủy (Nhiên & Trang, 2013). Tuy nhiên, muốn loại bỏ N, P hoàn toàn ra khỏi hệ thống ĐNN sau một thời gian xử lý thì cần phải thu hoạch phần sinh khối thân lá, vừa giúp cải thiện hiệu suất xử lý N, P của hệ thống ĐNN (Brix, 1997; Konnerup et al., 2011; Nhiên & Trang, 2013).

4.2. Khả năng xử lý đạm và lân trong nước thải ao nuôi tôm

Để sản xuất được 1 tấn tôm thịt thì xả ra môi trường 30 kg N và 3,7 kg P (Anh et al., 2010). Tuy nhiên, lượng N, P xả thải từ quy mô nuôi khác nhau thì khác nhau. Cụ thể, với mô hình nuôi thâm canh khi sản xuất ra 1 tấn tôm sú thì thải ra môi trường khoảng 88 kg N và 30 kg P, trong khi ở mô hình nuôi bán thâm canh thải ra 68 kg N và 25 kg P (Long và ctv., 2010). Với một lượng lớn đạm, lân này xả thải ra môi trường thì đây là một mối đe dọa đến chất lượng môi trường nước mặt. Hệ thống nuôi tuần hoàn nước là một giải pháp quản lý tốt hơn trong nuôi tôm, giúp giới hạn được lượng xả thải giảm nhu cầu về sử dụng nước và giảm tác động tiêu cực đến môi trường (Losordo et al., 1998). Kết hợp với trồng thực vật trên hệ thống ĐNN vào hệ thống tuần hoàn được minh chứng là khả thi trong việc kiểm soát chất lượng nước ao nuôi.

4.2.1. Khả năng xử lý đạm

Trong hệ thống ĐNN đạm được loại bỏ thông qua cơ chế hấp thu của thực vật. Bồn bồn và năn tượng là hai loài thực vật ngập nước được người dân trồng phổ biến trong ao nuôi tôm ngoài thực tế. Trong nghiên cứu điều kiện thí nghiệm, năn tượng được đánh giá rất cao trong loại bỏ N trong nước thải ao nuôi tôm sú (Bửu và ctv., 2010), cụ thể chỉ sau 1 tuần hàm lượng NO_2-N đầu ra giảm hơn 99%; hàm lượng NO_3-N giảm 93,5-95,0% và TN giảm 90,8-91,4% (Bảng 4). Cây bồn bồn trồng trên hệ thống ĐNN lai kết hợp VF + HSF + FWS cho thấy cả hệ thống giúp duy trì chất lượng nước trong bể nuôi tôm TCT thâm canh tuần hoàn mà không cần thay nước mới, điều đó cho thấy cây bồn bồn giúp hấp thu hàm lượng đạm qua quá trình cho tôm ăn, góp phần đạt hiệu suất xử lý TN khá cao 51,7-56,6% (Doan et al., 2016). Trong khi hệ thống đối chứng không có sử dụng hệ thống ĐNN xử lý nước, lượng N không những không mất đi, mà còn được tích lũy 3,08% N thêm trong bể nuôi tôm. Qua quá trình hấp thu N tổng hợp tăng sinh khối, cây bồn bồn trồng trên hệ thống VF, HSF và FWS đã hấp thu được tương ứng 58,3; 62,5; và 23,2 g N/m^2 (Đoan, 2015). Qua đó cho thấy cây bồn bồn trồng trên các kiểu hình ĐNN khác nhau thì có khả năng thích nghi, hấp thu và xử lý N khác nhau (Quỳnh, 2013). Nhìn chung, cùng một loài cây bồn bồn hay cỏ voi thì với cách thiết kế hệ thống ĐNN khác nhau có hiệu suất xử lý khác nhau, cụ thể xử lý NO_2-N đạt cao nhất trên hệ thống HSF (68,6 và 56,7%), trong khi hiệu suất xử lý NH_4-N là thấp nhất (21,7 và 35,3%). Hai loài bồn bồn và cỏ voi trên cùng một hệ thống ĐNN có khả năng xử lý N gần tương đương nhau (Quỳnh, 2013). Một lần nữa khẳng định, người sử dụng muốn loại bỏ loại chất ô nhiễm hay dạng N cụ thể thì chọn kiểu hình ĐNN phù hợp.

Trong một hệ thống ĐNN chảy mặt với độ sâu ngập nước khác nhau dẫn đến bồn bồn và năn tượng sinh trưởng và phát triển khác nhau (Mơ và ctv., 2019). Độ sâu ngập nước càng sâu làm hạn chế khả năng sinh trưởng của phần thân lá và rễ cây, nhưng hàm lượng N, P được tích lũy vào cây thì có xu hướng ngược lại, với tổng lượng N và P hấp thu vào sinh khối cây là 0,6% N từ nước thải nuôi tôm TCT thâm canh, góp phần làm giảm 34,4-63,9% N trong tổng lượng N thêm vào hệ thống (Mơ và ctv., 2019).

Việc nuôi ghép rong sụn trong ao tôm thẻ chân trắng đã góp phần làm giảm bớt hàm lượng đạm và lân trong môi trường nuôi, qua đó hạn chế sự phát triển của phiêu sinh thực vật và vi khuẩn (Thảo và ctv., 2010). Ngoài ra, rong câu và rong nho giúp duy trì chất lượng môi trường nước ao nuôi tôm TCT, trong đó, rong câu được khuyến cáo có thể chọn để ứng dụng trong mô hình nuôi kết hợp với tôm TCT (Bảy và ctv., 2020), vì rong câu có khả năng xử lý TN khá cao (64,2-77,2%) (Vinh và ctv., 2020). Ngoài các loài rong (nhóm thực vật ngập chìm), thì nhóm thực vật bán ngập như các dạng cỏ năn tượng, cỏ nước mặn và cây thủy trúc cũng được chọn để thiết kế hệ thống ĐNN ứng dụng để xử lý nước ao nuôi tôm sú trong điều kiện thực tế tại địa phương (Thư và ctv., 2021). Hệ thống ĐNN này có hiệu suất xử lý NH_4-N tối đa là 55%. Nồng độ NH_4-N trong nước thải đầu ra từ ngày thứ 33 (nửa cuối giai đoạn vận hành) là 0,04-0,09 mg/L, đạt được yêu cầu nước cấp cho ao nuôi tôm (theo QCVN 10-MT:2015/BTNMT). Điều này khẳng định hệ thống

ĐNN là công nghệ có tính khả thi, phù hợp với điều kiện địa phương để xử lý nước ao tôm nước mặn, đảm bảo yêu cầu chất lượng nước đạt tiêu chuẩn tái sử dụng về các chỉ tiêu COD, BOD_5, NH_4-N và TP, có thể cung cấp cho ao nuôi tôm.

Bảng 4. Hiệu suất xử lý đạm trong nước thải ao nuôi tôm của một số loài thực vật

Loài thực vật	Chất lượng nước, mg/L (hiệu suất xử lý, %)								Thiết kế	Nước thải	Tác giả
	NO_2-N		NO_3-N		NH_4-N		TN				
	Đầu vào	Đầu ra	Đầu vào	Đầu ra	Đầu vào	Đầu ra	Đầu vào	Đầu ra			
Năn tượng (*Scirpus littoralis*)	-	(99,0)	-	(93,5-95,0)	-	-	-	(90,8-91,4)	-	Tôm sú	Bửu và ctv. (2010)
Bồn bồn (*T. orientalis*) Cỏ Voi (*P. purpureum*)	-	(68,6) (56,7)	-	-	-	(21,7) (35,3)	-	-	HSF	TCT	Quỳnh (2013)
Bồn bồn (*T. orientalis*) Cỏ Voi (*P. purpureum*)	-	(27,1) (43,4)	-	-	-	(39,1) (41,9)	-	-	VF		
Bồn bồn (*T. orientalis*) Cỏ Voi (*P. purpureum*)		(58,1) (54,1)				(53,2) (48,6)			FWS		
Bồn bồn (*T. orientalis*)	0,3	-	-	-	0,6	-	4,11	(51,7-56,6)	(**)	TCT	Doan et al. (2015)
Bồn bồn (*T. orientalis*)	-	-	-	-	-	-	7,46	(34,4-63,9)	FWS	TCT	Mơ và ctv. (2019)
Rong câu (*Gracilaria tenuistipitata*)	-	-	5,62	1,03-1,65 (70,6-81,7)	4,64	0,02-1,30 (72,0-99,7)	14,86	3,69-6,54 (64,2-77,2)	-	Tôm sú	Vinh và ctv. (2020)
Thủy trúc (*C. alternifolius*) Năn tượng (*S. littoralis*) Cỏ nước mặn (*Posidoniaceae*)	-	-	-	-	0,04-0,32	0,04-0,09 (55,0)	-	-	Ứng dụng	Tôm sú	Thư và ctv. (2021)

Ghi chú: HSF là hệ thống ĐNN chảy ngầm ngang; VF là hệ thống đất ngập nước ngầm đứng; FWS là hệ thống ĐNN chảy mặt tự do;TCT là thẻ chân trắng; (**) là hệ thống ĐNN lai bao gồm hệ thống VF + HSF + FWS mắc nối tiếp

4.2.2. Khả năng xử lý lân

Lân trong môi trường nước không gây độc cho tôm, tuy nhiên, đây là yếu tố gây ra hiện tượng phú dưỡng hóa nguồn nước (tảo nở hoa) (Konnerup et al., 2011). Trong hệ thống ĐNN, các loài thủy sinh thực vật đóng một vai trò quan trọng trong việc loại bỏ phospho. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh rằng phospho có thể bị loại bỏ từ 30-60% trong hệ thống ĐNN có trồng các loài cây lác *Scirpus* sp., sậy *Phragmites* sp. và bồn bồn *Typha* sp. (Reed and Brown, 1995; Brix, 1997; Billore et al., 1999). Một số ít phospho (dưới 20%) được các loài vi khuẩn, nấm và tảo hấp thụ (Moss, 1988). Cây bồn bồn trồng trên hệ thống ĐNN lai đã giúp loại bỏ 27,5-32,3% P (Doan et al., 2016) (Bảng 5), trong khi hệ thống ĐNN lai không có trồng cây bồn bồn không giúp giảm P mà còn tích lũy thêm 1,62% P (tức tăng thêm trong nước). Qua quá trình hấp thu P tổng hợp tăng sinh khối, thì cây bồn bồn trồng trên hệ thống VF, HSF và FWS đã hấp thu được tương ứng 9,5; 13,2; và 5,3 g P/m^2 (Đoan, 2015). Cây bồn bồn trồng trên hệ thống ĐNN chảy mặt với các độ sâu ngập nước khác nhau, hấp thu vào sinh khối cây là 0,2% P từ nước thải nuôi tôm TCT thâm canh, góp phần làm giảm lượng P trong tổng lượng P thêm vào là 36,0-84,5% (Mơ và ctv., 2019). Trong khi đó, cây năn tượng cho hiệu suất xử lý P cao hơn bồn bồn một ít (đạt 52,8-83,4% TP) (Mơ và ctv., 2019). Cây huệ nước trồng trên hệ thống ĐNN lai kết hợp 3 kiểu hình VF + HSF + FWS đã giúp duy trì chất lượng nước, cụ thể hàm lượng PO_4-P trong hệ thống phù hợp cho sự phát triển của tôm. Qua đó cho thấy được vai trò của thực vật trong hệ thống giúp hấp thu P và duy trì chất lượng môi trường nước ao nuôi tôm ở ngưỡng cho phép (Trang và ctv., 2016). Cụ thể hơn về vai trò của thực vật trong một minh chứng ứng dụng thực tế hệ thống ĐNN tại Bạc Liêu đã chỉ ra

rằng có đến 53% TP được loại bỏ trong hệ thống nuôi tuần hoàn kết hợp 3 loài thực vật thủy trúc, năn tượng và cỏ nước mặn. Hàm lượng TP ở thời điểm nữa cuối thời gian vận hành là 0,14-0,20 mg/L đạt được yêu cầu nước cấp cho ao nuôi tôm theo QCVN 10-MT:2015/BTNMT (Thư và ctv. 2021). Ngoài thực vật nhóm có thân bán nổi như năn tượng, bồn bồn có hiệu suất xử lý P trong nước nuôi tôm nước mặn khá cao thì nhóm cây ngập chìm trong nước như rong câu cũng được đánh giá rất cao, chúng đóng góp loại bỏ 69,4-80,2% TP (Vinh và ctv., 2020).

Tóm lại, các loài thực vật thủy sinh đóng vai trò quan trọng trong việc loại bỏ P trong ĐNN. Tuy nhiên, thực vật không cho khả năng loại bỏ P lâu dài (Kadlec & Knight, 1996; Brix, 1997), bởi vì những mảnh vụn của cây qua quá trình phân hủy lại giải phóng lân vào trong nước, vì vậy làm giảm hiệu quả loại bỏ lân của hệ thống ĐNN theo thời gian (Vymazal, 2007). Do vậy, việc dọn dẹp sạch (thu hoạch) sinh khối các loài thủy sinh thực vật trong ao hồ hay thực vật trong hệ thống ĐNN là một trong những biện pháp loại bỏ P ra khỏi hệ thống xử lý hiệu quả (Konnerup et al., 2011; Trang et al. 2017).

Bảng 5. Hiệu suất xử lý lân trong nước thải ao nuôi tôm của một số loài thực vật

Loài thực vật	Chất lượng nước, mg/L (hiệu suất xử lý, %)				Thiết kế	Nước thải	Tác giả
	PO_4-P		TP				
	Đầu vào	Đầu ra	Đầu vào	Đầu ra			
Rong câu (*G. asiatica*)		79,5		-	-	TCT	Huy và ctv. (2016)
Rong câu (*G. tenuistipitata*))	2,04	0,21-0,50 (75,6-89,7)	5,76	1,14-11,76 (69,4-80,2)	-	Tôm sú	Vinh và ctv. (2020)
Bồn bồn (*T. orientalis*)	-	-	-	(27,5-32,3)	(**)	TCT	Doan et al. (2016)
Bồn bồn (*T. orientalis*) Năn tượng (*S. littoralis*)	-	-	7,89	(36,0-84,5) (52,8-83,5)	FWS	TCT	Mơ và ctv. (2019)
Thủy trúc (*C. alternifolius*) Năn tượng (*S. littoralis*) Cỏ nước mặn (*Posidoniaceae*)	-	-	0,29-0,93	0,14-0,20 (53,0)	Ứng dụng	Tôm sú	Thư và ctv. (2021)

Ghi chú: HSF là hệ thống ĐNN chảy ngầm ngang; VF là hệ thống đất ngập nước ngầm đứng; FWS là hệ thống ĐNN chảy mặt tự do;TCT là thẻ chân trắng; (**) là hệ thống ĐNN lai bao gồm hệ thống VF + HSF + FWS mắc nối tiếp

Trong các nghiên cứu trên các tác giả chưa đánh giá đến sự hấp thu C vào sinh khối của các loài cây trên hệ thống xử lý. Tuy nhiên, để tham khảo khả năng thực vật trên các hệ thống xử lý bên cạnh hấp thu N, P còn là bể trữ CO_2 thông qua quá trình quang hợp tạo sinh khối, từ đó, góp phần giảm phát thải khí nhà kính. Thảo (2023) đã ước tính được loài thủy trúc có khả năng tích lũy 4,12 kg CO_2/m^2/năm, và cây huệ nước (hay chuối hoa) là 1,85 kg CO_2/m^2/năm.

Qua các nghiên cứu trên cho thấy việc kết hợp hệ thống ĐNN có trồng thực vật vào hệ thống NTTS để kiểm soát và xử lý chất ô nhiễm trong ao nuôi thủy sản nước ngọt và nước lợ ngày càng được quan tâm ở nước ta, đặc biệt khu vực ĐBSCL. Qua thời gian càng có nhiều loài thủy sinh thực vật được sử dụng nghiên cứu kết hợp với ĐNN xử lý ô nhiễm môi trường ao NTTS. Mỗi loài cây khác nhau và mỗi kiểu hệ thống ĐNN thiết kế khác nhau sẽ cung cấp hiệu suất xử lý N, P khác nhau. Tuy nhiên, trong nhóm thực vật xử lý nước ao nuôi thủy sản nước ngọt thì cây bồn bồn, huệ nước (chuối hoa), ngải hoa, thủy trúc cho hiệu quả xử lý N, P tốt hơn. Đối với nước thải ao nuôi tôm nước mặn, TCT và tôm sú, thì hệ thống sử dụng cây năn tượng, bồn bồn, cỏ voi và rong đạt hiệu quả cao nhất so với các hệ thống khác. Khả năng hấp thu và điều kiện sống của các loài cây này thích hợp xử lý nước thải ao nuôi tôm đồng thời sinh khối cao. Các loài thực vật trong hệ thống ĐNN không chỉ có vai trò xử lý mà còn giúp mang lại hiệu quả kinh tế cho người dân. Cụ thể, cây bồn bồn, năn tượng có thể thu hoạch và bán được, ví dụ bồn bồn tươi có thể bán với giá 25.000 đồng/kg (Thanh và ctv. 2019). Đây được xem là một giải pháp mang tính bền vững với chi phí thấp và hiệu quả cao. Ngoài ra, nhóm cây rau ăn lá như xà lách, rau muống cũng có thể được xem là loài mang lại giá trị kinh tế cho hệ thống xử lý, vì cây rau hấp thu N, P thừa trong nước thải ao nuôi cá tạo sinh khối, người dân không cần phải đầu tư phân bón cho cây, vừa mang lại hiệu quả môi trường do không xả thải N, P trong nước thải ao nuôi ra môi trường ngoài (Trang et al. 2017). Hơn nữa, ngoài mục đích kinh tế, người sử dụng muốn tái sử dụng sinh khối thực vật trồng trên các hệ thống ĐNN vào mục đích khác như ủ compost, hay tạo cảnh quan cho khu vực xử

lý thì có thể chọn các loài có sinh khối chất xanh cao và có hoa đẹp như cỏ, huệ nước, thủy trúc.

5. KẾT LUẬN

Sử dụng thực vật xử lý nước thải ao nuôi thủy sản là một giải pháp mang tính bền vững với chi phí thấp và hiệu quả cao. Kết hợp hệ thống ĐNN trồng thực vật vào hệ thống NTTS xử lý ô nhiễm ngày càng được quan tâm ở nước ta và cả trên thế giới. Hiệu suất xử lý của thực vật phụ thuộc vào loài, chủ yếu là sinh khối chất xanh của loài, ngoài ra, còn phụ thuộc vào loại nước thải, nồng độ nước thải và kiểu thiết kế ĐNN khác nhau. Do đó, khi thiết kế hệ thống xử lý cần căn cứ vào đặc điểm lý - hóa học của nước thải, cũng như mục đích sử dụng mà lựa chọn loài thực vật cho phù hợp, để đạt được hiệu quả xử lý tốt nhất.

LỜI CẢM TẠ

Tác giả xin chân thành cảm ơn các tác giả của các bài báo cáo, bài nghiên cứu khoa học, luận văn được đề cập đến trong bài viết này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Anh, P.T., C. Kroeze, S.R. Bush., & Mol, A.P.J. (2010). Water pollution by intensive brackish shrimp farming in south-east Vietnam: Causes and options for control. *Agricultural Water Management*, *97*(6), 872-882.

Bảy, P., Hiền, T. T., & Nga, T. N. M. (2020). Ảnh hưởng của rong câu (*Gracilaria tenuistipitata*) và rong nho (*Caulerpa lentillifera*) lên chất lượng nước, sinh trưởng, tỷ lệ sống và năng suất của tôm thẻ chân trắng (*Litopenaeus vannamei*) trong mô hình nuôi kết hợp. *Tạp chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản, Trường Đại học Nha Trang, 3*, 2-9. https://doi.org/10.53818/jfst.03.2020.305

Billore, S. K., Singh, N., Sharma, J. K., Dass, P., & Nelson, R. M. (1999). Horizontal subsurface flow gravel bed constructed wetlands with Phragmites Karka in Central India. *Water Science & Technology*, *40*(3), 163-171.

Bình, Đ. Q., Hoa, L. N. N., & Trang, N. T. D. (2013). Chất lượng nước trong hệ thống nuôi cá Sặc rằn (*Trichogaster pectorlis*) thâm canh kết hợp với bèo tai tượng (*Pistia stratiotes*). *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, 28a*, 64-72.

Bộ Nông nghiệp & Phát triển Nông thôn. (2023). *Xúc tiến đầu tư vào nông nghiệp, nông thôn vùng Đồng bằng sông Cửu Long*. Cổng thông tin điện tử. https://www.mard.gov.vn/

Brix, H. (1997). Do macrophytes play a role in constructed wetlands? *Water Science & Technology*, *35*, 11-17.

Brix H. (2003). Plants used in constructed wetlands and their function. *1st International seminar on "The use of aquatic macrophytes for wastewater treatment in constructed wetlands". May 8-10*, 2003, Portugal.

Bửu, L. N., Hải, T. N., Hương, Đ. T. T., & Phương, N. T. (2010). Khả năng sử dụng cây Năng Tượng (Scirpus littorialis) xử lý dinh dưỡng nước thải từ nuôi tôm. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, *14b,* 56-65.

Đoan, N. P. N. (2015). *Diễn biến môi trường nước trong hệ thống bể nuôi thâm canh tôm thẻ chân trắng kết hợp đất ngập nước kiến tạo trồng cây Bồn bồn (Typha orientalis)* (Luận văn Thạc sĩ). Trường Đại học Cần Thơ.

Doan, N. P. N., Mo, L. T. N., & Trang, N. T. D. (2016). Dynamics of nitrogen in intensive culture of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in tank integrated with hybrid constructed wetlands. *Can Tho University Journal of Science, 2*, 77-83.

Huy, N. Q., Khôi, L. V., Quát, Đ. V., Thảo, T. T., & Thủy, N. T. L. (2016). Nghiên cứu khả năng hấp thu dinh dưỡng của rong câu chỉ vàng (*Gracilaria asiatica*) và các hình thức nuôi kết hợp giữa tôm chân trắng (*Litopenaeus vannamei*) với rong câu chỉ vàng. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*, *6*, 104 - 110.

Jethwa, K. B., & Bajpai, S. (2016). Role of plants in constructed wetlands (CWs): a review. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*. *Special issues, 2*, 4-10.

Kadlec, R.H., & Knight, R.L. (1996), *Treatment Wetlands*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Kieu, L. D., Nguyen, P. Q., Tuoi, T. T., & Trang, N. T. D. (2018). Effects of phosphorus in the wastewater from intensive catfish farming ponds on the growth and phosphorus uptake of *Hymenachne acutigluma* (Stued.). *Academia Journal of Biology*, *40*(4), 29-35. https://doi.org/10.15625/26159023/v40n4.13276

Kiều, L. D., Nguyên, P. Q., Như, T. T. H., & Trang, N. T. D. (2015). Diễn biến thành phần đạm của nước thải ao nuôi thâm canh cá tra (*Pangasianodon hypophthalmus*) trong điều kiện thủy canh cỏ mồm mỡ (*Hymenachne acutigluma*). *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ (Chuyên đề: Môi trường và Biến đổi khí hậu)*, 80-87. https://ctujsvn.ctu.edu.vn/index.php/ctujsvn/article/view/2364

Kiều, L. D., & Nguyên, P. Q. (2023). Nghiên cứu chất lượng nước và tải lượng đạm và lân của ao

nuôi thâm canh cá lóc đầu nhím (*Channa* sp.) ở huyện Tam Nông tỉnh Đồng Tháp. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, *59 (Chuyên đề: Môi trường & BĐKH)*, 65-71. DOI:10.22144/ctu.jvn.2023.107

Kiều, L. D., Nguyên, P. Q., Công, N. V., & Trang, N. T. D. (2019). Tải lượng đạm, lân của ao nuôi thâm canh cá tra (*Pangasianodon hypophthalmus*) ở vùng nuôi ven sông chính và kênh nội đồng khu vực đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, 354*, 211-219.

Konnerup, D., N. T. D. Trang., & Brix, H. (2011). Treatment of fishpond water by recirculating horizontal and vertical flow constructed wetlands in the tropics. *Aquaculture, 313*, 57-64.

Lợi, L. V. (2011). *Hiệu quả xử lý nước thải từ bể ương cá trê lai giống bằng hệ thống đất ngập nước kiến tạo* (Luận văn Thạc sĩ). Trường Đại học Cần Thơ.

Long, N. T., Hảo, D. V., & Sinh, L. X. (2010). Phân tích các khía cạnh kinh tế và kỹ thuật của mô hình nuôi tôm sú (*Penaeus monodon*) thâm canh ở tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, *14*, 119-127.

Losordo T. M., Masser M. P., & Rakocy J. (1998). *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: An Overview of Critical Considerations*. SRAC Publication No. 451. Southern Regional Aquaculture Center. Texas A & University, Texas, USA.

Mơ, L. T. N., Linh, V. T., & Trang, N. T. D. (2019). Ảnh hưởng độ sâu ngập đến khả năng hấp thu đạm lân của Bồn bồn (*Typha orientalis*) và Năn tượng (*Scirpus littoralis*). *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*, *361*, 60-66.

Moss, B. (1988). *Ecology of freshwater*. Blackball Scientific Publishers, London.

Nga, T. T., & Trang, N. T. D. (2013). *Giáo trình Sử dụng đất ngập nước kiểm soát ô nhiễm môi trường*. Nhà xuất bản Trường Đại học Cần Thơ.

Nguyên, N. T. T., Trang, N. T. D., Brix, H., & Long, L. M. (2012). Khả năng xử lý nước nuôi thủy sản thâm canh bằng hệ thống đất ngập nước kiến tạo. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, *24a*, 198-205.

Nguyên, P. Q, Linh, Đ. C., Phú, T. Q., & Công, N. V. (2015). Đánh giá khả năng loại bỏ chất ô nhiễm ao nuôi cá tra (*Pangasianodon hypophthalmus*) bằng lục bình (*Eichhornia crassipes*) trên mô hình đất ngập nước dòng chảy mặt. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ (Số chuyên đề: Môi trường và Biến đổi khí hậu)*, 58-70.

Nhiên, L. T. M., Khoa, N. H., Brix, H., & Trang, N. T. D. (2013). Đánh giá đạm trong hệ thống xử lý nước thải ao nuôi cá tra thâm canh. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, 25a*, 44-51.

Nhiên, L. T. M., & Trang, N. T. D. (2013). Vai trò của Bồn bồn trong hệ thống đất ngập nước kiến tạo xử lý nước thải ao nuôi cá tra thâm canh tuần hoàn kín. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, *29*, 31-36.

Nho, N. T. H., Phú, T. Q., & Liêm, T. P. (2019). Ảnh hưởng của phương thức cho ăn lên chất lượng nước, sinh trưởng và tỉ lệ sống của cá trê vàng (*Clarias macrocephalus*) nuôi trong hệ thống tuần hoàn. *Tạp chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản, Trường Đại học Nha Trang*, *4*, 88-96.

Nho, N. T. H., Phú, T. Q., & Liêm, T. P. (2022). Khả năng xử lý nước của Bèo tai tượng (*Pistia stratiotes*) trong hệ thống tuần hoàn nuôi cá trê vàng. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nông nghiệp Trường Đại học Nông Lâm Huế*, *6*(1), 2769-2778. DOI: 10.46826/huaf-jasat.v6n1y2022.826

Nga, T. T. T., & Em, V. T. T. (2022). Hệ thống tuần hoàn (RAS) - Xu hướng nuôi trồng thủy sản bền vững. *Tạp chí Khoa học, Trường Đại học Phú Yên, 29*, 49-58.

Phụng, N. V., Bảy, Đ. V., Phương, T. H., Điền, L. Đ., & Hảo, N. V. (2013). Xây dựng mô hình nuôi tôm sú và tôm thẻ chân trắng thâm canh quy mô nông hộ tại Trà Vinh. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Trường Đại học Nông Lâm, 28*, 210-218.

Quỳnh, Đ. T. T. (2013). *Diễn biến NH_4-N, NH_3, NO_3-N, NO_2-N và H_2S trong nước bể nuôi tôm sú (Penaeus monodon) thâm canh tuần hoàn kín kết hợp đất ngập nước kiến tạo* (Luận văn Thạc sĩ). Trường Đại học Cần Thơ.

Reed, S. C., & Brown, D. (1995). Subsurface flow wetlands - A performance evaluation. *Water Environ. Res., 67*, 244-248.

Thanh, N. H., Đông, N. M., Giang, N. Đ. C., Nishimura, T., Toàn, P. V., & Trang, N. T. D. (2019). Hiệu quả kinh tế - kỹ thuật của mô hình tôm-lúa trong bối cảnh biến đổi khí hậu và gia tăng xâm nhập mặn ở tỉnh Bạc Liêu. *Tạp chí Nông nghiệp & Phát triển nông thôn, 359*, 37-46.

Thảo, V. T. P. (2023). *Đánh giá khả năng giảm ô nhiễm nước ở kênh Búng Xáng cho thành phố Cần Thơ của một số loài thực vật thủy sinh* (Luận văn Thạc sĩ). Trường Đại học Cần Thơ.

Thảo, N. T. T., Châu, H. H., & Hải, T. N. (2010). Ảnh hưởng của việc nuôi kết hợp các mật độ Rong Sụn (*Kappaphycus alvarezzi*) với tôm chân trắng (*Litopenaeus vannamei*). *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, *16a*, 100-110.

Thắm, T. T. H., Khắc, N. T., Minh, Đ. N., Hải, T. N., & Nhân, H. T. (2021). Nghiên cứu nuôi lươn (*Monopterus albus* Zuiew, 1793) kết hợp rau ngổ (*Enhydra fluctuans* Lour) ở các hình thức nuôi

khác nhau. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, *57*(3B), 200-206.

Thư, V. T., Chung, N. K., & Tuấn, P. D. (2021). Ứng dụng đất ngập nước xử lý nước thải ao nuôi tôm tại Bạc Liêu cho mục đích tái sử dụng. *Tạp chí Xây dựng*, *7*, 114-117.

Trang, N.T.D. (2009). *Plants as bioengineers: treatment of polluted waters in the tropics*. Doctoral Thesis, Aarhus University, Denmark.

Trang, N. T. D. (2011). *Sử dụng Đất ngập nước để xử lý ô nhiễm.* Bài giảng Cao học Khoa học Môi trường, Khoa Môi Trường & Tài nguyên Thiên nhiên, Đại học Cần Thơ.

Trang, N.T.D., & Brix, H. (2014). Use of planted biofilters in integrated recirculating aquaculture-hydroponics systems in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture Research, 45*(3), 460-469.

Trang, N. T. D., Konnerup, D., & Brix, H. (2017). Effects of recirculation rates on water quality and *Oreochromis niloticus* growth in aquaponic systems. *Aquacultural Engineering*, *78*, 95-104.

Trang, N. T. D., Duy, T. Đ., Toàn, T. P., Thanh, N. H., Sanh, N. T., & Nam, T. S. (2022). Đánh giá chất lượng nước và thải lượng từ ao nuôi tôm thẻ chân trắng (Litopenaeus vannamei) thâm canh ở tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, 1B*(58), 213-225. DOI: 10.22144/ctu.jvn.2022.024

Trang, N. T. D., & Hoa, L. N. N. (2016). Khả năng xử lý nước thải ao nuôi cá Tra thâm canh của Vạn thọ (*Tagetes patula* L.) và Cúc (*Chrysanthemum* spp.). *Tạp chí Khoa học Trường Đại học An Giang*, *11*(3), 102-109.

Trang, N. T. D., Luân, B. T., Khoa, N. H., & Bix, H. (2016). Ảnh hưởng diện tích hệ thống đất ngập nước kiến tạo đến chất lượng nước và sinh trưởng của tôm thẻ chân trắng (*Litopenaeus vannamei*) thâm canh trong hệ thống tuần hoàn kín. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, 43*,116-124.

Trung, L. C. (2023). Nuôi trồng thủy sản: tác động môi trường và hướng đến sự bền vững. *Tạp chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản, 4*, 137-154. https://doi.org/10.53818/jfst.04.2023.247

Tucker, C.S., & Hargreaves, J.A. (2003). Management of effluents from channel catfish (*Ictalurus punctatus*) embankment ponds in the southeastern United States. *Aquaculture, 226*, 5-21.

Vinh, N. H., Hải, T. N., & Anh, N. T. N. (2020). Nghiên cứu khả năng hấp thụ đạm (N) và lân (P) trong nước thải từ nuôi tôm sú thâm canh của rong câu chỉ (*Gracilaria tenuistipitata*) ở các mật độ và chế độ sục khí khác nhau. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, *56*, 59-69. https://doi.org/10.22144/ctu.jsi.2020.039

Vymazal, V. (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, *380*, 48-65.

Werners, S. E., Wise, R. M., Butler, J. R. A., Totin, E., & Vincent, K. (2021). Adaptation pathways: A review of approaches and a learning framework. *Environmental Science and Policy, 116*(2021), 266-275. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.11.003