

DOI:10.22144/ctujos.2025.063

TIỀM NĂNG GIẢM Ô NHIỄM TRONG NƯỚC THẢI ĐÔ THỊ CỦA NĂM LOÀI HOA KIỂNG TRONG ĐIỀU KIỆN THÍ NGHIỆM

Võ Thị Phương Thảo và Ngô Thụy Diễm Trang*

Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): ntdtrang@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 29/10/2024

Sửa bài (Revised): 13/12/2024

Duyệt đăng (Accepted): 25/03/2025

Title: Potential to reduce pollution in municipal wastewater of five ornamental plants in an experimental condition

Author(s): Vo Thi Phuong Thao and Ngo Thuy Diem Trang*

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

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá khả năng làm giảm chất ô nhiễm của năm loài hoa kiểng gồm thủy trúc (*Cyperus alternifolius*), bách thủy tiên (*Echinodorus cordifolius*), chuối hoa (*Canna generalis*), chuối mỏ két (*Heliconia psittacorum*), chiều tím (*Ruellia brittoniana*) và không trồng cây (đối chứng). Cây được trồng trên bè nổi ở mật độ 27 cây/m² để xử lý nước thải đô thị và được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với 3 lần lặp lại. Cây góp phần làm giảm đạm (N), lân (P), nhu cầu oxy hóa học (COD) và cải thiện điều kiện oxy (DO) trong nước sau 7 ngày xử lý, nhưng DO và COD vẫn chưa đạt QCVN 08:2023/BTNMT). Cây đã giúp tích lũy thêm 6,68 > 4,46 > 4,26 > 2,93 > 1,78 g N/bể (tương ứng chuối hoa > thủy trúc > bách thủy tiên > chiều tím > chuối mỏ két) và 0,21 > 0,20 > 0,18 > 0,10 > 0,07 g P/bể (tương ứng chuối hoa > chiều tím > thủy trúc > bách thủy tiên > chuối mỏ két). Năm loài hoa kiểng nghiên cứu đóng góp loại bỏ trung bình 7,0-11,8% N và 4,0-9,3% P trong hệ thống xử lý. Chuối hoa và thủy trúc tăng trưởng và phát triển tốt giúp loại bỏ N, P trong hệ thống vì thế chúng là những loài tiềm năng và phù hợp nhất để trồng trên bè nổi giúp cải thiện chất lượng nước kết hợp tạo cảnh quan đô thị.

Từ khóa: Bè nổi, cây hoa kiểng, hiệu suất xử lý ô nhiễm, nước thải đô thị

ABSTRACT

This study was carried out to determine the pollution reduction ability of five ornamental species, including *Cyperus alternifolius*, *Echinodorus cordifolius*, *Canna generalis*, *Heliconia psittacorum*, *Ruellia brittoniana*, and unplanted (as control treatment). The plants were grown on the floating rafts at density of 27 plants/m² for municipal wastewater treatment and were arranged in a completely randomized design with three replications each. The plants contribute to reducing nitrogen (N), phosphorus (P), chemical oxygen demand (COD) and to improving dissolved oxygen (DO) conditions in treated water after 7 days of treatment. However, the DO and COD content still did not meet the limit of QCVN 08:2023/BTNMT). The plants accumulated an additional 6.68 > 4.46 > 4.26 > 2.93 > 1.78 g N/tank (for *C. generalis* > *C. alternifolius* > *E. cordifolius* > *R. brittoniana* > *H. psittacorum*); and 0.21 > 0.20 > 0.18 > 0.10 > 0.07 g P/tank (for *C. generalis* > *R. brittoniana* > *C. alternifolius* > *E. cordifolius* > *H. psittacorum*). The five studied ornamental plants contribute to removing an average of 7.0-11.8% N and 4.0-9.3% P in the treatment system. *C. generalis* and *C. alternifolius* grow and develop well, helping to remove N and P in the treatment system, so they are the most potential and suitable species to grow on floating rafts to help improve water quality and create urban landscapes.

Keywords: Constructed floating wetlands, municipal wastewater, ornamental plants, pollution removal efficiency

1. GIỚI THIỆU

Thành phố Cần Thơ là thành phố lớn thứ tư và là thành phố lớn nhất dọc theo khu vực đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) ở Việt Nam (Neumann et al., 2013), có tốc độ tăng trưởng kinh tế vượt bậc và tốc độ đô thị hóa gia tăng liên tục dẫn đến các vấn đề môi trường, trong đó, ô nhiễm nước mặt trong khu vực đô thị là một vấn đề nan giải (Tran et al., 2022). Hiện nay, hầu như tất cả các kênh mương cấp thoát nước chính trong địa bàn thành phố Cần Thơ (TPCT) đã và đang bị ô nhiễm ở mức báo động (Nguyen, 2020; Tran et al., 2022). Cụ thể, Tran et al. (2022) ghi nhận hàm lượng COD, N-NH₄⁺ và P-PO₄³⁻ ở đoạn kênh Búng Xáng trung bình 41,83 - 56,07; 4,51 - 9,14 và 0,42 - 0,72 mg/L vượt 1,37 - 1,87; 5,01 - 10,16 và 1,4 - 2,4 lần so với QCVN 08-MT:2015/BTNMT. Khuôn viên dọc kênh Búng Xáng được TPCT quy hoạch là phố ẩm thực với nhiều hàng quán. Vì vậy, để vừa cải thiện chất lượng môi trường nước cũng như vừa tạo vẻ mỹ quan đô thị cho đoạn kênh này cần có biện pháp xử lý như bể nổi thực vật, sử dụng các loài thực vật có hoa vừa góp phần cải thiện chất lượng nước kết hợp tạo cảnh quan đô thị để đảm bảo môi trường trong lành, hướng đến TPCT xanh và bền vững.

Các giải pháp xử lý nước dựa vào thiên nhiên (Nature-based solution), góp phần chuyển đổi và thay đổi phát triển đô thị bền vững trên thế giới. Đây là giải pháp giúp tiết kiệm chi phí, giảm lượng khí thải carbon, tăng khả năng phục hồi trước các sự kiện thời tiết khắc nghiệt, hỗ trợ bảo tồn đa dạng sinh học và môi trường sống, đồng thời cải thiện chất lượng nước (Ertel et al., 2019), và góp phần vào đạt được nhiều mục tiêu phát triển bền vững (Somarakis et al., 2019). Việc phát triển các khu đất ngập nước (ĐNN) ứng dụng thực vật xử lý nước với những loài cây thủy sinh như: bèo tai tượng, thủy trúc, lục bình (Nguyen et al., 2015),... và các loại cây trồng thủy sinh lưu niên, thân thảo, thân xốp, rễ chùm như: sậy, cỏ, cỏ đuôi mèo, rau mác, bèo tây,... (Pham et al., 2012). Các loài cây này đã được áp dụng và có khả năng làm sạch các chất ô nhiễm, loại bỏ các vi sinh vật gây bệnh, đồng thời làm tăng giá trị đa dạng sinh học, cải tạo cảnh quan môi trường hệ sinh thái. Hơn nữa, cây chuối hoa (*Canna generalis*), chuối mò kết (*Heliconia psittacorum*) và bách thủy tiên (*Echinodorus cordifolius*) được ghi nhận là loài cây có tiềm năng trong xử lý nước thải sinh hoạt, đô thị và nước thải nuôi tôm, cá (Konnerup et al., 2008; Konnerup et al., 2011; Le & Nguyen, 2022; Nhan & Tuong, 2020; Dao et al., 2023; Tran et al., 2024). Bên cạnh khả năng xử lý

nước thải, năm loài cây gồm chuối hoa, chuối mò kết, chiều tím, thủy trúc và bách thủy tiên được chọn để nghiên cứu trong đề tài này do tính dễ tìm nguồn cây giống ngoài thực địa, có sinh khối cao và góp phần tạo cảnh quan với những sắc hoa rực rỡ. Riêng cây chiều tím là loài cây chưa được đánh giá trong các nghiên cứu xử lý nước thải. Hơn nữa, hiện tại việc thiết kế các bể nổi hay đất ngập nước nổi (Floating wetlands) với năm loài hoa kiểng có dạng sống thân lá vượt lên mặt nước (Emergent plants) có khả năng xử lý ô nhiễm nước thải và tạo cảnh quan đô thị chưa được nghiên cứu nhiều ở ĐBSCL nói riêng và Việt Nam nói chung. Nghiên cứu được thực hiện nhằm bổ sung thêm thông tin về khả năng xử lý chất ô nhiễm trong nước thải của năm loài hoa kiểng này trong điều kiện thí nghiệm làm cơ sở cho việc lựa chọn loài hoa kiểng có tiềm năng trong ứng dụng và nhân rộng mô hình bể nổi trồng thực vật.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Chuẩn bị thí nghiệm

Bể nổi có diện tích 0,08 m² (D x R tương ứng 0,4 x 0,2 m) được làm từ các ống nhựa PVC có đường kính Ø21 mm, kết nối với nhau bằng ống co L đường kính Ø21 mm thành khung bể nổi hình chữ nhật. Lưới nhựa và dây rút được sử dụng để cột quanh khung bể và cắt ba lỗ để ba ly nhựa trồng cây.

Nước thải thí nghiệm được thu vào thời điểm nước ròng cạn tại kênh Búng Xáng, TPCT. Máy bơm chìm được đặt ở vị trí sát đáy kênh để bơm nước. Nước sau khi thu về trữ trong bể composite 1 m³. Nước thải trước khi đưa vào hệ thống thí nghiệm được xác định các đặc tính hóa - lý để xác định các chỉ tiêu đầu vào cho thí nghiệm.

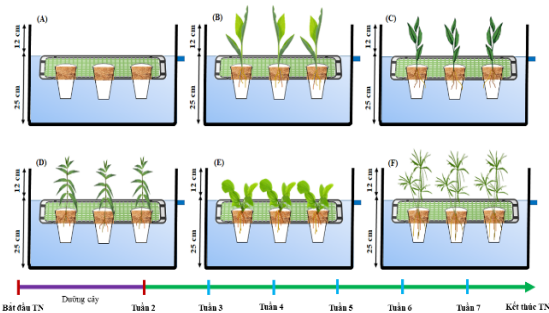
Năm loài cây thí nghiệm cây chuối hoa, chuối mò kết, chiều tím, thủy trúc và bách thủy tiên được thu thập xung quanh khuôn viên khu 2, Trường Đại học Cần Thơ. Cây được lựa chọn làm thí nghiệm là những cây con có kích thước tương đồng nhau trong cùng một loài cây. Mỗi loài thực vật được chọn 10 cây đồng nhất với các cây bố trí thí nghiệm, sau đó rửa sạch và sấy ở 60°C đến khi trọng lượng không đổi, cân để xác định sinh khối khô, sau đó được nghiền mịn để xác định hàm lượng đạm, lân trong cây đầu vào.

Xơ dừa được dùng làm giá thể cố định cây, xơ dừa được xé nhỏ và phơi khô sau đó cân trọng lượng 10 g để quấn cố định cây vào ly nhựa.

2.2. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện từ tháng 01/2023 đến tháng 03/2023 tại nhà lưới Khoa Môi trường và Tài

nguyên thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ. Thí nghiệm một nhân tố là năm loài hoa kiểng bao gồm: chuối hoa, chuối mô kết, chiều tím, thủy trúc và bách thủy tiên, được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với 3 lần lặp lại. Hình 1 mô phỏng bố trí thí nghiệm cho một lần lặp lại. Cây được trồng trong thùng nhựa thể tích 50 lít với chiều dài x chiều rộng x chiều cao (50 x 30 x 37 cm) chứa 35 lít nước thải đô thị thu tại kênh Búng Xáng, TPCT với nồng độ 100% nước thải và bố trí trong điều kiện nhà lưới đảm bảo ánh sáng cho cây sinh trưởng và phát triển. Cây được trồng với mật độ 3 cây/bê (tương đương 27 cây/m²) (Sebacher et al., 1985; Xiao et al., 2021) và nghiệm thức đối chứng (không trồng cây) ở mức nước 25 cm (tương ứng 35 lít).



Hình 1. Mô phỏng thí nghiệm

Ghi chú: (A) nghiệm thức không trồng cây; (B) nghiệm thức trồng chuối hoa; (C) nghiệm thức trồng chuối mô kết; (D) nghiệm thức trồng chiều tím; (E) nghiệm thức trồng bách thủy tiên; (F) nghiệm thức trồng thủy trúc

Bắt đầu thí nghiệm, cây được dưỡng trong điều kiện 100% nước thải trong thời gian 2 tuần để cho cây thích nghi với môi trường. Mẫu nước thải được thay mới hoàn toàn sau mỗi thời gian lưu nước

Bảng 2. Phương pháp phân tích mẫu nước

Thông số	Đơn vị	Phương pháp phân tích
Nhiệt độ	°C	Đo trực tiếp bằng máy DO cầm tay Hanna 993001
pH	-	Đo trực tiếp bằng máy pH cầm tay Hanna 993001
EC	µS/cm	Đo trực tiếp bằng máy EC cầm tay Hanna 993001
TDS	mg/L	Đo trực tiếp bằng máy EC cầm tay Hanna 993001
DO	mg/L	Đo trực tiếp bằng máy DO cầm tay Hanna 9146
COD	mg/L	Phương pháp chuẩn độ bằng FAS
N-NO ₂ ⁻	mg/L	Phương pháp Colorimetric
N-NO ₃ ⁻	mg/L	Phương pháp Salicylate
N-NH ₄ ⁺	mg/L	Phương pháp Indophenol blue
P-PO ₄ ³⁻	mg/L	Phương pháp Acid ascorbic
TP	mg/L	Phương pháp Acid ascorbic

(Hydraulic retention time, HRT) là 7 ngày (Le & Nguyen, 2022) trong thời gian 8 tuần (2 tuần dưỡng cây và 6 tuần thí nghiệm).

2.3. Phương pháp thu và phân tích mẫu

Mẫu thực vật: Sau khi kết thúc thí nghiệm cây được rửa sạch và sấy ở 60°C đến khi trọng lượng không đổi để xác định sinh khối khô, sau đó nghiền mịn và trữ trong túi zip để phân tích đạm và lân nhằm xác định khả năng hấp thu các chất ô nhiễm trong nước thải của các loài thực vật nghiên cứu. Phương pháp phân tích tổng đạm Kjeldahl (TKN) và tổng lân (TP) được trình bày trong Bảng 1. Các mẫu thực vật được phân tích tại phòng thí nghiệm Sinh học môi trường và Sinh học môi trường tiên tiến, Tài nguyên Đất đai, tòa nhà phức hợp phòng thí nghiệm (RLC).

Bảng 1. Phương pháp phân tích mẫu thực vật

Chỉ tiêu	Đơn vị	Phương pháp phân tích
TKN	%	Phương pháp Kjeldahl
TP	%	Phương pháp Acid Ascorbic

Mẫu nước: được thu với tần suất 7 ngày/lần (tương ứng với HRT 7 ngày), thu 5 vị trí theo đường chéo trong hệ thống thí nghiệm (hay trong thùng thí nghiệm) với độ sâu 10 - 15 cm và không khuấy trộn nước trong thùng.

Các chỉ tiêu lý - hóa nước được phân tích theo phương pháp chuẩn APHA et al. (1998) và được trình bày trong Bảng 2. Các chỉ tiêu vật lý được đo trực tiếp tại khu thí nghiệm bằng máy đo cầm tay, các chỉ tiêu hóa học nước được phân tích tại phòng thí nghiệm của Bộ môn Khoa học môi trường tại RLC.

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Số liệu được tổng hợp, tính toán bằng phần mềm Microsoft Excel 2013.

Hiệu suất xử lý của các nghiệm thức được tính bằng công thức: $H\% = \left(\frac{C_1 - C_2}{C_1} \right) * 100$

Trong đó: H% là phần trăm hiệu suất, C_1 là nồng độ đầu vào, C_2 là nồng độ đầu ra.

Tổng đạm hòa tan (TIN) được tính bằng công thức: $TIN = N-NH_4^+ + N-NO_2^- + N-NO_3^-$

Lượng đạm hòa tan (mg) được tính bằng công thức: $N = TIN * V$

Trong đó: N là lượng đạm hòa tan (mg), $N-NH_4^+$ là hàm lượng amoni (mg/L), $N-NO_2^-$ là hàm lượng nitrite (mg/L), $N-NO_3^-$ là hàm lượng nitrate (mg/L), V là thể tích nước (L).

Tổng sinh khối khô, lượng TKN và TP tăng thêm trong cây được tính bằng tổng sinh khối khô, lượng TKN và lượng TP khi kết thúc thí nghiệm trừ số liệu tương ứng trong cây ban đầu.

Lượng TIN và TP mất đi trong nước được tính bằng tổng lượng TIN và TP trong nước đầu vào trừ tổng TIN và TP trong nước đầu ra (nước sau khi xử lý mỗi 7 ngày).

Chất lượng nước được so sánh với QCVN 08:2023/BTNMT Bảng 2 Cột B (Giá trị giới hạn các thông số trong nước mặt phục vụ cho việc phân loại chất lượng nước sông, suối, kênh, mương, khe, rạch và bảo vệ môi trường sống dưới nước; Sử dụng cho mục đích sản xuất nông nghiệp, công nghiệp sau khi áp dụng biện pháp xử lý phù hợp) và một số nghiên cứu có liên quan.

Sử dụng phần mềm thống kê Statgraphic Centurion XV (StatPoint, Inc., USA) để phân tích phương sai một nhân tố (One – way ANOVA). So sánh trung bình giữa các loài cây dựa vào kiểm định Tukey ở độ tin cậy 95%. Phần mềm Sigmaplot 14.0 (San Jose, California, USA) được sử dụng để vẽ biểu đồ.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Chất lượng nước sau xử lý

3.1.1. Giá trị nhiệt độ, pH, độ dẫn điện (EC) và tổng chất rắn hòa tan (TDS)

Kết quả cho thấy nhiệt độ trong nước sau xử lý dao động trong khoảng 24,1 - 30,8°C (Hình 2A). Sự biến động của nhiệt độ có thể do ảnh hưởng của điều kiện thời tiết và thời gian thu mẫu trong suốt quá

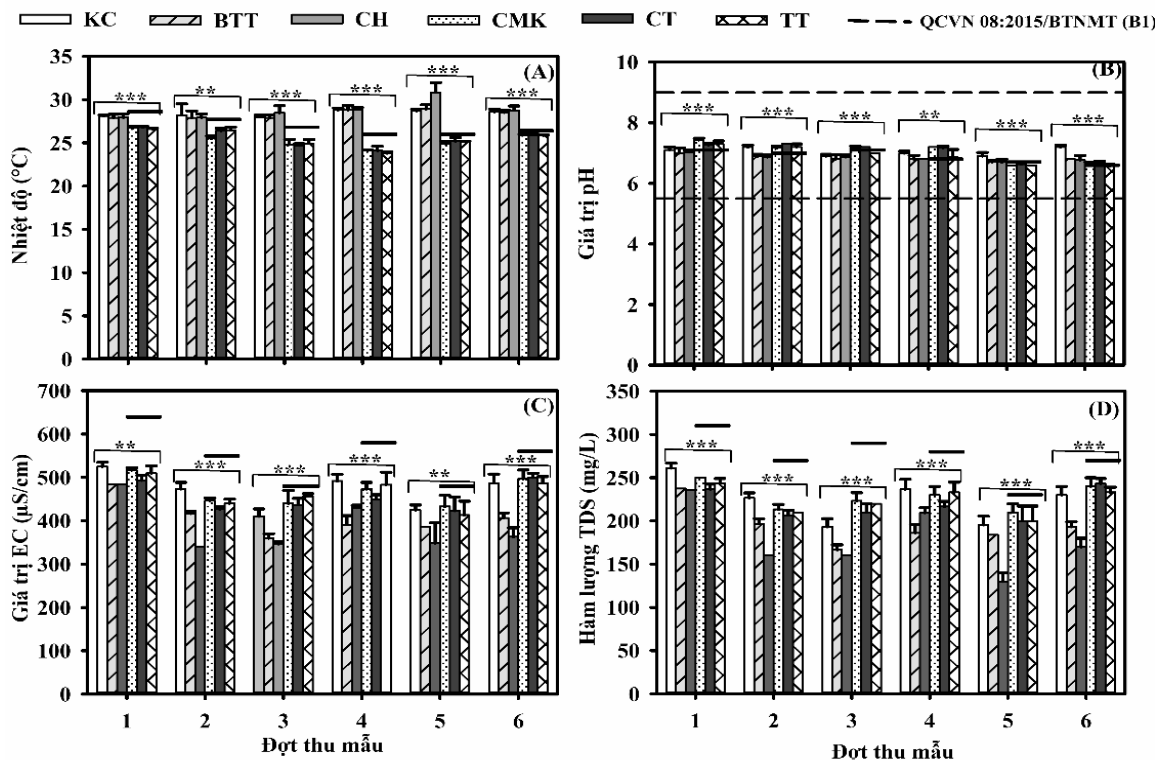
trình thí nghiệm. Nhiệt độ là một yếu tố có ảnh hưởng nổi bật đến hiệu suất xử lý của ĐNN (Nelson et al., 2009). Các chất ô nhiễm bị phân hủy từ nước thải thông qua sự kết hợp của các quá trình sinh hóa bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ (Shahid et al., 2018). Trong QCVN 08 không quy định giá trị nhiệt độ, tuy nhiên, khoảng nhiệt độ được ghi nhận trong nước sau xử lý nằm trong khoảng thích hợp cho sự sinh trưởng và phát triển thủy sinh vùng nhiệt đới, dao động từ 28 đến 32°C (Boyd, 1998).

Giá trị pH ở các nghiệm thức qua các đợt thu mẫu dao động trong khoảng 6,6 - 7,4 (Hình 2B) và pH phù hợp nằm trong giới hạn cho phép (6,0 - 8,5) của QCVN 08, thuận lợi cho sự phát triển của hệ vi sinh vật, không ảnh hưởng đến cây. Đây là môi trường thuận lợi nhất để vi khuẩn phát triển, đặc biệt là nhóm vi khuẩn nitrite hóa (phát triển thuận lợi nhất với pH trong khoảng 4,8 - 8,8) và vi khuẩn nitrate hóa (phát triển thuận lợi nhất ở pH 6,5 - 9,3) (Hoang, 2010). Nhìn chung, pH nước trong các nghiệm thức có trồng cây thấp hơn so với không trồng cây (Hình 2B, $p < 0,05$), có thể do thời điểm thu mẫu vào buổi sáng (6 - 8 giờ) quá trình quang hợp trao đổi dưỡng chất, hấp thu dinh dưỡng của cây đã xảy ra, rễ cây đã phóng thích H^+ làm cho pH trong môi trường nước thấp hơn. Ngoài ra, pH giảm trong nước sau xử lý còn có thể là do quá trình nitrate hóa xảy ra trong hệ thống (Brix, 2003), được ghi nhận và trình bày trong Hình 2B. Cây bách thủy tiên và chuối hoa tăng trưởng tốt nhất trong năm loài cây, có mật độ che phủ cao, phủ hết bề mặt thùng trồng thí nghiệm nên ít ánh sáng chiếu vào, ít có điều kiện cho tảo phát triển hơn, quá trình quang hợp hấp thu CO_2 kém dẫn đến pH thấp hơn trong nước (Dang & Nguyen, 2006). Ngoài ra, giá trị pH của nghiệm thức không cây cao hơn các nghiệm thức có trồng cây, một phần do không bị cây che phủ mặt nước, tảo phát triển nhiều làm cho giá trị pH trong nước sau xử lý luôn cao hơn so với trong nước đầu vào. Tóm lại, khoảng giá trị pH trong nước sau xử lý của các nghiệm thức đều nằm trong khoảng tối ưu đạt yêu cầu chất lượng nước mặt và không tồn tại đến môi trường thủy sinh.

Độ dẫn điện (EC) và hàm lượng TDS trong nước sau xử lý giảm đáng kể so với đầu vào và có sự khác biệt giữa các nghiệm thức (Hình 2C, 2D, $p < 0,05$). Giá trị EC và TDS trong nước sau xử lý thấp nhất ở nghiệm thức chuối hoa và bách thủy tiên tương ứng đạt 340 - 484 $\mu S/cm$ và 130 - 236 mg/L, 360 - 484 $\mu S/cm$ và 167 - 238 mg/L. Giá trị EC và TDS thấp hơn với đầu vào là do các muối tan phân ly trong nước thành các anion và cation. Các ion như Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- , ... được vận chuyển theo mạch gỗ

của cây, cung cấp cho các quá trình sinh trưởng, tổng hợp nên các thành phần tế bào, mô, giúp cây tăng sinh khối,...hoặc được dự trữ dưới dạng các tinh thể muối trong không bào hoặc đôi khi nằm ở vách tế bào (Nguyễn, 1977). Theo Ngo and Hans

(2012), các muối hòa tan có thể bị giữ lại bằng cơ chế hấp phụ bề mặt, hoặc do cây và vi sinh vật hấp thu làm cho EC giảm, điều này phù hợp với kết quả giá trị EC của thí nghiệm.



Hình 2. Giá trị nhiệt độ (A), pH (B), EC (C) và hàm lượng TDS (D) trong nước sau xử lý của các nghiệm thức qua các đợt thu mẫu

Ghi chú: TT=thủy trúc; BTT=bách thủy tiên; CH=chuối hoa; CMK=chuối mô két; CT=chiều tím; KC: không trồng cây; DV: đầu vào. Dấu (*, **) chỉ sự khác biệt có ý nghĩa thống kê dựa vào kiểm định Tukey **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$.

3.1.2. Hàm lượng oxy hòa tan (DO) và nhu cầu oxy hóa học COD

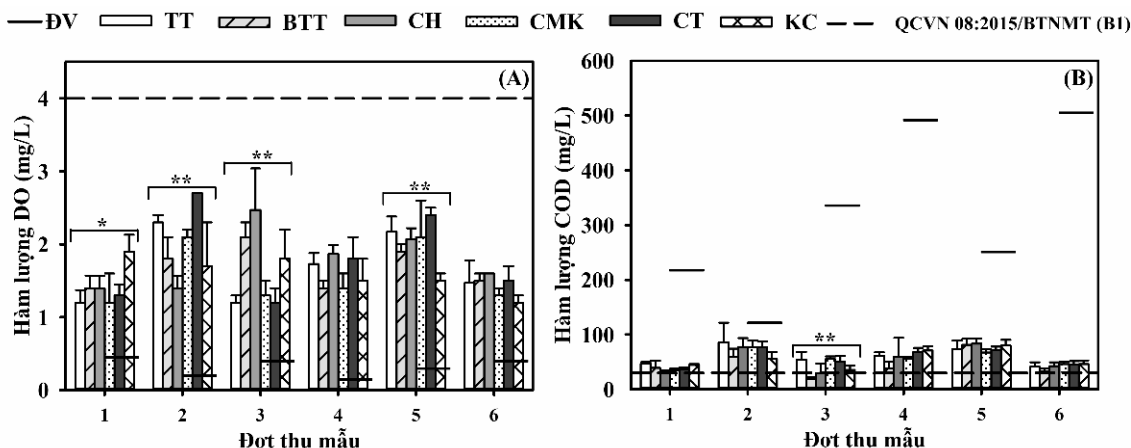
Hàm lượng oxy hòa tan (DO) trong nước tham gia vào quá trình trao đổi chất, duy trì năng lượng quá trình phát triển, sinh sản, tái sản xuất cho các vi sinh vật sống dưới nước. Kết quả ghi nhận hàm lượng DO trong nước được cải thiện sau 7 ngày xử lý, cụ thể hàm lượng DO đầu ra của 06 nghiệm thức đều cao hơn so với đầu vào (Hình 3A). Sự tăng DO trong nước qua 7 ngày xử lý là nhờ quá trình vận chuyển oxy từ môi trường qua thân, lá đến rễ để cung cấp oxy cho quá trình phân hủy hiếu khí chất ô nhiễm trong hệ thống ĐNN (Brix, 1997), sự khuếch tán oxy và sự phóng thích oxy từ tảo quang hợp góp phần làm tăng hàm lượng DO trong nước. Nhìn chung, hàm lượng DO trong nước sau xử lý của các nghiệm thức trồng cây cao hơn ở các nghiệm thức không trồng cây ($p < 0,05$, Hình 3A), ngoại trừ

ở đợt 4 và 6 ($p > 0,05$). DO trong nước thải đầu ra tăng hơn đầu vào cho thấy hệ thực vật cung cấp thừa oxy để duy trì tình trạng hiếu khí trong khu vực xử lý (Le et al., 2017). Nhìn chung, hàm lượng DO trong nước sau xử lý của các nghiệm thức đều có xu hướng tăng so với giá trị đầu vào, và được cải thiện đáng kể, tuy nhiên, vẫn chưa đạt QCVN 08 Cột B1 (≥ 5 mg/L).

Ngược lại với giá trị DO, hàm lượng COD trong nước sau xử lý có xu hướng giảm so với giá trị đầu vào (Hình 3B), tuy nhiên, vẫn cao hơn giới hạn cho phép của QCVN 08 Cột B1 ($COD \leq 15$ mg/L). Kết quả thống kê không ghi nhận sự khác biệt giữa các nghiệm thức trong cùng đợt thu mẫu ($p > 0,05$), ngoại trừ đợt 3 ($p < 0,01$). Tuy không ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê nhưng nhìn chung hàm lượng COD trong nước của nghiệm thức trồng cây bách thủy tiên và chuối hoa luôn có giá trị thấp hơn các

nghiệm thức còn lại. Có thể do 2 loài cây này có hệ rễ phát triển vượt bậc và nhanh chóng, khi rễ của cây nằm trong cột nước chúng hoạt động như một chất nền sống cho sự tăng trưởng kèm theo của vi khuẩn

hiếu khí, chúng sử dụng oxy dư thừa để phân giải các hợp chất hữu cơ hòa tan trong nước. Do đó, hàm lượng COD ở 2 nghiệm thức này giảm đáng kể so với đầu vào và thấp hơn các nghiệm thức còn lại.



Hình 3. Hàm lượng DO (A) và COD (B) trong nước sau xử lý của các nghiệm thức qua các đợt thu mẫu

Ghi chú: TT=thủy trúc; BTT=bách thủy tiên; CH=chuối hoa; CMK=chuối mủ kết; CT=chiều tím; KC: không trồng cây; ĐV: dầu vào. Dấu (**) chỉ sự khác biệt có ý nghĩa thống kê dựa vào kiểm định Tukey *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$

Tóm lại, chất lượng nước sau khi xử lý trong hệ thống xử lý bề nổi trồng năm loài cây này được cải thiện hơn, cụ thể hàm lượng DO tăng lên, và hàm lượng COD giảm một lượng đáng kể so với đầu vào, nhưng vẫn chưa đạt giới hạn cho phép của QCVN 08, do đó, cần có giải pháp kết hợp để làm tăng nồng độ oxy trong nước và tăng hiệu suất xử lý COD.

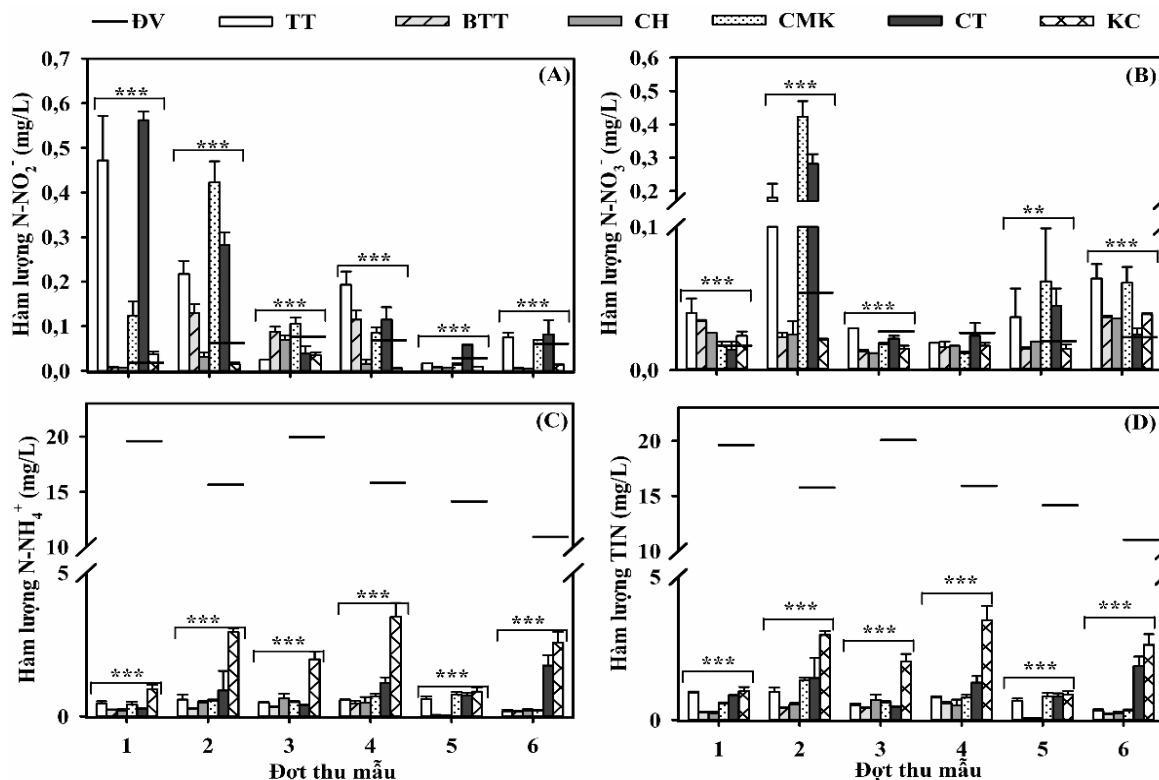
3.1.3. Hàm lượng đạm hòa tan

Diễn biến hàm lượng N-NO_2^- , N-NO_3^- , N-NH_4^+ và tổng đạm hòa tan (Total inorganic nitrogen, TIN) trong nước sau xử lý của các hệ thống được trình bày trong Hình 4. Kết quả cho thấy ở 2 tuần đầu tiên hàm lượng $\text{NO}_2\text{-N}$ trong nước sau xử lý tăng cao hơn so với đầu vào và có sự khác biệt giữa các nghiệm thức (Hình 4A, $p < 0,001$). Hàm lượng N-NO_2^- trong nước sau xử lý cao hơn giá trị đầu vào, là do hàm lượng DO tăng nhưng vẫn ở mức thấp, dẫn đến quá trình nitrate hóa không diễn ra hoàn toàn làm tăng hàm lượng N-NO_2^- . Hàm lượng N-NO_2^- trong nước sau xử lý ở các nghiệm thức không cây, bách thủy tiên, chuối hoa, chuối mủ kết, chiều tím và thủy trúc trung bình tương ứng là 0,019; 0,059; 0,023; 0,137; 0,190 và 0,167 mg/L.

Nhìn chung hàm lượng N-NO_3^- ở các đợt thu mẫu đều có xu hướng tăng cao hơn so với đầu vào và có sự khác biệt giữa các nghiệm thức (Hình 4B, $p < 0,05$), ngoại trừ đợt 4 ($p > 0,05$). Tương tự hàm lượng N-NO_2^- , hàm lượng N-NO_3^- cũng có xu

hướng cao hơn nước thải trước khi đưa vào hệ thống xử lý. Nitrate là dạng oxy hóa cao nhất trong chu trình nitơ và thường đạt đến nồng độ đáng kể trong các giai đoạn cuối cùng của quá trình oxy hóa sinh học (Nguyen, 2002). Hàm lượng N-NO_3^- ở nghiệm thức có cây có xu hướng cao hơn nghiệm thức không cây vì sự hiện diện của tảo cùng với môi trường nhiều oxy ở nghiệm thức có cây là điều kiện thuận lợi cho quá trình nitrate hóa xảy ra (Ngo & Hans, 2012). Trong môi trường hiếu khí, vi khuẩn *Nitrosomonas* và *Nitrobacter* giúp chuyển hóa hàm lượng N-NH_4^+ sang N-NO_3^- , do đó hàm lượng N-NH_4^+ được suy giảm đáng kể và làm tăng hàm lượng N-NO_3^- trong các nghiệm thức.

Hàm lượng N-NH_4^+ trong nước sau xử lý ở tất cả các đợt thu mẫu giảm đáng kể so với đầu vào. Hàm lượng N-NH_4^+ trong nước sau xử lý ở nghiệm thức không cây có xu hướng cao hơn nghiệm thức có cây ($p < 0,05$, Hình 4C). Hàm lượng N-NH_4^+ giảm thấp là do quá trình hấp thu trực tiếp của rễ cây và thông qua quá trình nitrat hóa bởi vi khuẩn *Nitrosomonas* và *Nitrobacter* (Kadlec & Wallace, 2009; Thai & Le, 2016). Hệ thống rễ thực vật đóng vai trò cung cấp diện tích bề mặt làm giá bám cho các vi sinh vật tham gia vào các quá trình amôn hóa, nitrate hóa và khử nitrate hóa trong quá trình chuyển hóa các dạng nitơ trong nước thải. Thành phần đạm N-NH_4^+ trong nước thải được thực vật hấp thu để gia tăng sinh khối nên giảm đáng kể (Le et al., 2017).



Hình 4. Hàm lượng $N-NO_2^-$ (A), $N-NO_3^-$ (B), $N-NH_4^+$ (C) và TIN (D) trong nước sau xử lý của các nghiệm thức qua các đợt thu mẫu

Ghi chú: TT=thủy trúc; BTT=bách thủy tiên; CH=chuối hoa; CMK=chuối mô két; CT=chiều tím; KC: không trồng cây; DV: dầu vào. Dấu (*, **, ***) chỉ sự khác biệt có ý nghĩa thống kê dựa vào kiểm định Tukey: ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$

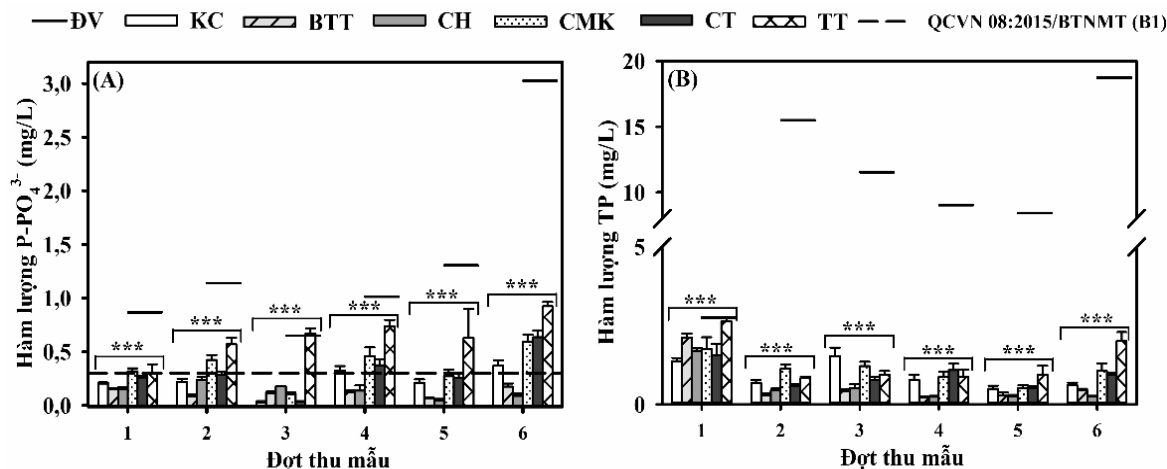
Hàm lượng tổng đạm hòa tan (TIN) trong nước đầu vào rất cao, dao động trong khoảng từ 11,0 đến 20,1 mg/L. Sau khi qua hệ thống xử lý bằng bể nổi thực vật hàm lượng đạm hòa tan đầu ra giảm đáng kể so với đầu vào (Hình 4D). Kết quả phân tích thống kê ghi nhận sự khác biệt có ý nghĩa giữa các nghiệm thức trong cùng đợt thu mẫu ($p < 0,05$). Nhìn chung, các nghiệm thức có cây xử lý TIN tốt hơn nghiệm thức không cây, điều này là do đối với nghiệm thức không cây thì nitơ được xử lý thông qua quá trình lắng cơ học và một phần bốc hơi. Đối với nghiệm thức có cây thì ngoài hai quá trình trên thì cây còn sử dụng nitơ để hấp thu và tạo sinh khối chính vì thế nên các nghiệm thức có cây xử lý TIN tốt hơn nghiệm thức không cây (Bảng 3).

3.1.4. Hàm lượng lân

Lân (*Phosphorus*, P) hiện diện trong tự nhiên ở cả hai dạng hữu cơ và vô cơ. Trong ĐNN tự nhiên,

sự tiếp nhận chất thải giàu P có thể tạo nên hiện tượng nở hoa (algae blooming). Do P không có thành phần khí nên chu trình P được xem là kín. Sự loại bỏ và tích lũy P từ nước thải xảy ra hoàn toàn trong bản thân ĐNN kiến tạo (Mitsch & Gosselink, 2000).

Nhìn chung, hàm lượng $P-PO_4^{3-}$ và TP trong nước sau xử lý đều thấp hơn so với đầu vào (Hình 5). Kết quả phân tích thống kê ghi nhận có sự khác biệt giữa các nghiệm thức trong cùng 1 đợt thu mẫu ($p < 0,001$). Hàm lượng $P-PO_4^{3-}$ và TP trong nước sau xử lý của hệ thống có cây bách thủy tiên và cây chuối hoa luôn đạt giá trị thấp nhất ở tất cả các đợt thu mẫu tuy nhiên vẫn chưa đạt giới hạn cho phép QCVN 08 ($\leq 0,3$ mg/L).



Hình 5. Hàm lượng P-PO₄³⁻ (A) và TP (B) trong nước sau xử lý của các nghiệm thức qua các đợt thu mẫu

Ghi chú: TT=thủy trúc; BTT=bách thủy tiên; CH=chuối hoa; CMK=chuối mô két; CT=chiều tím; KC: không trồng cây; ĐV: đầu vào. Dấu (*, **) chỉ sự khác biệt có ý nghĩa thống kê dựa vào kiểm định Tukey **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$

Hàm lượng lân trong nước ở nghiệm thức không cây luôn được ghi nhận cao hơn ở nghiệm thức có cây. Theo Kadlec and Knight (1996) cho rằng, quá trình chính loại bỏ lân trong ĐNN là quá trình kết tủa, hấp phụ, hấp thu của thực vật và vi sinh vật. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh rằng P có thể bị loại bỏ từ 30 đến 60% trong ĐNN có trồng các loài cây *Scirpus* sp., *Phragmites* sp. và *Typha* sp. (Reed & Brown, 1995; Brix, 1997; Billore et al., 1999).

3.2. Hiệu suất xử lý

3.2.1. Hiệu suất xử lý COD, tổng đạm hòa tan và tổng lân

Hiệu suất xử lý (%) được tính bằng phần trăm sự khác biệt giữa hàm lượng chất ô nhiễm đầu vào và đầu ra sau 7 ngày xử lý (hay 7 ngày lưu nước) của hệ thống bể nổi được trình bày ở Bảng 3. Kết quả cho thấy hiệu suất xử lý ở nghiệm thức có cây đạt cao hơn nghiệm thức không cây.

Kết quả phân tích nguồn nước đầu vào có hàm lượng COD rất cao (trung bình 320,6 mg/L). Trong suốt thí nghiệm hàm lượng COD giảm đáng kể ở tất cả các nghiệm thức sau 7 ngày xử lý. Các nghiệm thức có trồng cây đạt hiệu suất xử lý COD cao hơn nghiệm thức không trồng cây. Cụ thể, hiệu suất xử lý COD của các nghiệm thức trồng bách thủy tiên > thủy trúc > chuối hoa > chuối mô két > chiều tím tương ứng đạt 82,1 > 78,6 > 78,1 > 78,0 > 77,4% và nghiệm thức không cây là 79,6%. Hiệu suất xử lý COD đạt giá trị cao, tuy nhiên, hàm lượng COD

trong nước sau xử lý vẫn chưa đạt QCVN 08. Nguyên nhân do hàm lượng DO trong hệ thống xử lý tuy được cải thiện nhưng không đủ để góp phần giảm COD. Ngoài ra, trong quá trình thu mẫu không xáo trộn nước và hệ thống bể nổi không có chất nền chỉ là hệ thống rễ trôi nổi tự do trong cột nước thải, trong khi cơ chế loại bỏ chính của COD là quá trình lắng lọc và giữ lại chất rắn bởi chất nền (Ngo & Hans, 2012).

Hiệu suất xử lý TIN của nghiệm thức có cây cao hơn không cây, điều đó cho thấy cây đã góp phần làm giảm lượng lớn chất ô nhiễm trong nước thải. Hệ thống rễ thực vật đóng vai trò cung cấp diện tích bề mặt làm giá bám cho các vi sinh vật tham gia vào quá trình chuyển hóa đạm trong nước thải và thực vật hấp thu dinh dưỡng để sinh trưởng và phát triển tăng sinh khối của cây (Brix, 1997). Hàm lượng tổng đạm hòa tan (TIN) trong nước sau xử lý ở nghiệm thức bách thủy tiên và chuối hoa ghi nhận thấp hơn các nghiệm thức còn lại ở tất cả các đợt thu mẫu, với hiệu suất xử lý đạt 98,3% và 98,1%. Đây là 2 loài thực vật có hệ rễ phát triển nhanh chóng và vượt bậc hơn các loài cây còn lại, do đó, góp phần làm tăng hiệu suất xử lý đạm hòa tan trong hệ thống. Kết quả nghiên cứu hiện tại ghi nhận hiệu suất xử lý TIN cao hơn nghiên cứu của Dao et al. (2023) là từ 79,6 đến 86,4% của cây Bách thủy tiên và cây chuối hoa là từ 78,6 đến 97,5%. Một nghiên cứu khác của Le and Nguyen (2022) cho thấy hiệu suất xử lý N-NH₄⁺ của cây bách thủy tiên là 89,2%.

Bảng 3. Hiệu suất xử lý (%) COD, TIN và TP của các nghiệm thức qua các đợt thu mẫu

Nghiem thức	Đợt 1	Đợt 2	Đợt 3	Đợt 4	Đợt 5	Đợt 6	Trung bình
Hiệu suất xử lý COD (%)							
KC	93,5 ^A ±0,2	54,4 ^B ±10,6	89,4 ^{abA} ±2,2	85,6 ^A ±1,6	64,0 ^B ±4,1	90,8 ^A ±1,4	79,6±16,3
BTT	94,3 ^A ±1,9	51,3 ^C ±12,6	94,1 ^{aA} ±0,7	92,2 ^A ±2,5	67,5 ^B ±4,4	93,3 ^A ±1,0	82,1±18,3
CH	95,4 ^A ±0,5	36,0 ^C ±13,0	91,2 ^{abA} ±5,3	88,0 ^A ±7,1	66,7 ^B ±3,9	91,6 ^A ±1,4	78,1±23,0
CMK	95,0 ^A ±0,5	36,8 ^C ±10,5	83,6 ^{bAB} ±1,5	88,7 ^A ±0,8	73,2 ^B ±2,4	90,8 ^A ±0,9	78,0±21,5
CT	94,6 ^A ±0,5	36,8 ^C ±9,1	84,9 ^{bA} ±3,2	86,0 ^A ±1,4	71,1 ^B ±2,2	91,0 ^A ±1,2	77,4±21,4
TT	93,1 ^A ±0,4	44,7 ^C ±18,6	83,9 ^{bAB} ±4,4	87,5 ^{AB} ±1,3	70,7 ^B ±6,2	91,8 ^A ±1,6	78,6±18,4
Hiệu suất xử lý TIN (%)							
KC	95,5 ^{cA} ±0,6	83,0 ^{cB} ±0,6	90,8 ^{bA} ±1,3	78,4 ^{cB} ±3,1	94,2 ^{cA} ±0,8	77,9 ^{cB} ±3,3	86,6 ^b ±7,9
BTT	98,9 ^{aB} ±0,1	97,5 ^{aD} ±0,1	98,2 ^{aC} ±0,0	96,7 ^{aE} ±0,4	99,7 ^{aA} ±0,0	98,6 ^{aBC} ±0,2	98,3 ^a ±1,0
CH	99,0 ^{aA} ±0,2	97,2 ^{aBC} ±0,3	96,8 ^{aC} ±0,8	97,2 ^{aBC} ±1,1	99,7 ^{aA} ±0,0	98,4 ^{aAB} ±0,3	98,1 ^a ±1,2
CMK	97,4 ^{aA} ±0,3	91,8 ^{bC} ±0,5	97,2 ^{aA} ±0,2	95,4 ^{aB} ±0,7	94,7 ^{bcB} ±0,8	97,2 ^{aA} ±0,4	95,6 ^a ±2,2
CT	96,1 ^{cAB} ±0,1	91,8 ^{bB} ±3,7	98,1 ^{aA} ±0,1	92,7 ^{abAB} ±1,3	95,0 ^{bcAB} ±0,6	84,6 ^{bC} ±2,7	93,0 ^{ab} ±4,7
TT	95,7 ^{cBC} ±0,2	94,5 ^{abC} ±1,1	97,8 ^{aA} ±0,4	95,8 ^{abBC} ±0,1	96,4 ^{abAB} ±0,8	97,6 ^{aA} ±0,5	96,3 ^a ±1,3
Hiệu suất xử lý TP (%)							
KC	16,6 ^{bb} ±5,8	95,1 ^{bcA} ±0,3	92,5 ^A ±0,8	90,3 ^{bA} ±2,5	89,6 ^{bA} ±3,2	95,4 ^{bcA} ±1,2	79,9 ^b ±31,1
BTT	35,2 ^{abB} ±4,6	98,3 ^{aA} ±0,3	96,7 ^A ±1,0	97,8 ^{aA} ±0,7	97,3 ^{aA} ±0,7	98,2 ^{aA} ±0,4	87,3 ^a ±25,5
CH	50,5 ^{aB} ±3,0	97,6 ^{abA} ±1,1	95,8 ^A ±2,4	97,7 ^{aA} ±0,7	97,7 ^{aA} ±0,4	99,0 ^{aA} ±0,0	89,7 ^a ±19,2
CMK	41,2 ^{aB} ±13,2	93,2 ^{aA} ±0,9	90,4 ^A ±1,2	90,8 ^{aB} ±1,4	94,4 ^{abA} ±2,0	94,7 ^{cA} ±1,2	84,1 ^a ±21,1
CT	48,6 ^{aB} ±11,7	96,6 ^{abA} ±1,5	94,1 ^A ±2,8	89,3 ^{aB} ±4,7	94,6 ^{aA} ±1,5	95,4 ^{bcA} ±0,3	86,4 ^a ±18,7
TT	55,7 ^{aB} ±3,7	96,6 ^{abA} ±1,6	90,8 ^A ±5,1	92,5 ^{abA} ±2,0	95,5 ^{aA} ±1,1	97,3 ^{abA} ±1,2	88,1 ^a ±16,1

Thực vật hấp thu và dự trữ lân trong mô cây, và chỉ cho hiệu quả loại bỏ lân tổng số khoảng từ 1,9 đến 3,5% một năm, hay nói khác đi thực vật góp phần loại bỏ khoảng 3 - 60% P trong nước (Tanner et al., 2002). Một nghiên cứu khác của Le (2013) cho thấy hiệu suất xử lý P-PO₄³⁻ ở nghiệm thức có cây là 68,7% cao hơn nghiệm thức không cây là 59,0%, tức cây trồng đóng góp loại bỏ 9,7% PO₄-P. Trong nghiên cứu hiện tại kết quả ghi nhận hiệu suất xử lý lân ở nghiệm thức có cây luôn cao hơn nghiệm thức không cây. Ngoài quá trình hấp thu lân để phát triển sinh khối thì quá trình hấp thu lân của vi sinh vật và cơ chế lắng tụ các chất hữu cơ không hòa tan trong hệ thống (Kadlec & Knight, 1996) cũng góp phần làm tăng hiệu quả xử lý tổng lân trong thí nghiệm. Hiệu suất xử lý lân ở nghiệm thức bách thủy tiên và chuối hoa lần lượt là 89,7% và 87,3% cao hơn các nghiệm thức còn lại và giá trị thấp nhất ở nghiệm thức không cây (80,4%). Kết quả cho thấy bách thủy tiên và chuối hoa là 2 loài thực vật có tiềm năng trong ứng dụng xử lý nước thải kết hợp tạo cảnh quan đô thị với những màu sắc hoa rực rỡ của hai loài cây này.

Tóm lại, kết quả được thể hiện qua Bảng 3 cho thấy năm loài hoa kiềng nghiên cứu đóng góp loại bỏ trung bình từ 6,4 đến 11,6% đạm và từ 4,2 đến 9,8% lân trong hệ thống xử lý.

3.2.2. Khả năng hấp thu chất dinh dưỡng của thực vật

Trong hệ thống thí nghiệm, nước được xử lý bằng bể nổi thực vật vai trò xử lý của thực vật là vô cùng quan trọng. Thực vật sử dụng chất dinh dưỡng trong hệ thống ĐNN để tạo sinh khối (Kadlec & Knight, 1996; Brix, 2003). Thực vật hấp thu chất dinh dưỡng có trong nước thải để phát triển thể hiện qua sự giảm đáng kể về hàm đạm và lân trong thí nghiệm góp phần loại bỏ chất ô nhiễm trong nước thải (Bảng 3). Điều đó cho thấy rằng sự phát triển của thực vật có liên quan đến hàm lượng dinh dưỡng trong hệ thống được thể hiện qua nồng độ các chất ô nhiễm ở các nghiệm thức có cây giảm đáng kể so với nghiệm thức không cây (Hình 4, Hình 5).

Lượng đạm trong cây được phân tích là đạm TKN, riêng tổng đạm hòa tan trong nước (TIN) là tổng các dạng hòa tan N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ (Bảng 5). Do đó, lượng N tăng thêm hay tích lũy thêm trong sinh khối cây được ghi nhận cao hơn với với tổng TIN mất đi trong nước, đặc biệt trên 3 loài có sinh khối cao là chuối hoa, thủy trúc và bách thủy tiên. Qua đó cho thấy, một phần N hữu cơ trong nước thải được phân hủy và cung cấp thêm N cho cây và ba loài cây này có tiềm năng hơn trong việc góp phần làm giảm N trong nước thải.

Ngược lại với N, lượng lân mất đi trong nước thải sau xử lý (2,10 - 2,21 g P/bể) cao hơn so với

lượng cây tích lũy trong sinh khối tăng thêm (0,07 - 0,21 g P/bê). Điều này minh chứng cơ chế chính góp phần loại bỏ lân là kết tủa, lắng tụ các chất hữu cơ không hòa tan trong hệ thống ĐNN (Kadlec & Knight, 1996) và thực vật chỉ đóng góp một phần nhỏ trong việc giảm lân. Cụ thể, trung bình 5 loài hoa kiểng nghiên cứu chỉ đóng góp loại bỏ 4,2 - 9,8% P trong nước thải (Bảng 3). Điều này cũng được Le (2013) ghi nhận tương đương cây trồng đóng góp loại bỏ 9,7% PO₄-P và Tanner et al. (2002) ghi nhận thực vật góp phần loại bỏ khoảng 3 - 60% P. Thực vật thủy sinh trong vùng ĐNN luôn có nhu cầu dinh dưỡng cho sự tăng trưởng và phát triển, những loài thực vật thủy sinh này hấp thu chất dinh dưỡng chủ yếu thông qua hệ thống rễ. Ở một số loài

có khả năng hấp thu dinh dưỡng thông qua thân và lá cây chìm trong nước. Vì vậy, cây được trồng ở các vùng ĐNN có vai trò quan trọng trong hấp thu dinh dưỡng và một lượng đáng kể chất dinh dưỡng có thể được tích lũy trong sinh khối. Kết quả thí nghiệm ghi nhận hàm lượng đạm tích lũy trong cây khi kết thúc thí nghiệm tăng đáng kể so với cây ban đầu (Bảng 4). Bách thủy tiên, chuối mỏ kết và chiều tím là 3 loài có hàm lượng đạm tích lũy cao nhất cả trong thân và rễ. Tuy nhiên, lượng đạm cây tích lũy thêm ghi nhận cao nhất ở cây chuối hoa > thủy trúc > cách thủy tiên > chiều tím > chuối mỏ kết tương ứng 6,68 > 4,76 > 4,26 > 2,93 > 1,98 g N/bê (Bảng 5), do sinh khối khô tăng thêm của chuối hoa, thủy trúc và bách thủy tiên là cao hơn so với chiều tím và chuối mỏ kết.

Bảng 4. Hàm lượng N và P (%) trong thân rễ của 5 loài cây

Loài cây	Cây đầu vào		Cây thu hoạch	
	%N	%P	%N	%P
Thân				
BTT	2,48±0,03	0,43±0,03	5,98±0,32 ^a	0,14±0,01 ^b
CH	1,30±0,01	0,64±0,03	1,80±0,20 ^c	0,20±0,08 ^{ab}
CMK	1,35±0,00	0,37±0,02	2,85±0,07 ^b	0,23±0,02 ^{ab}
CT	1,14±0,02	0,18±0,02	2,81±0,08 ^b	0,29±0,01 ^a
TT	2,62±0,14	0,26±0,08	1,88±0,25 ^c	0,22±0,01 ^{ab}
Rễ				
BTT	3,16±0,04	0,37±0,03	2,50±0,29 ^a	0,18±0,02 ^b
CH	0,39±0,05	0,32±0,01	1,58±0,03 ^b	0,22±0,02 ^b
CMK	0,74±0,05	0,46±0,05	2,46±0,37 ^a	0,38±0,15 ^b
CT	0,58±0,04	0,26±0,04	2,88±0,10 ^a	0,77±0,17 ^a
TT	2,64±0,04	0,41±0,00	1,52±0,12 ^b	0,26±0,05 ^b

Ghi chú: BTT=bách thủy tiên, CH=chuối hoa, CMK=chuối mỏ kết, CT=chiều tím, TT=thủy trúc. Các ký tự a,b,c khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê dựa vào kiểm định Tukey 5% giữa các loài cây.

Bên cạnh hàm lượng đạm thì lân cũng là nguyên tố không thể thiếu trong toàn bộ quá trình sinh trưởng, phát triển của thực vật và là dưỡng chất cần thiết cho sự phát triển sinh khối của thực vật. Ngược lại với hàm lượng đạm, hàm lượng lân tích lũy trong rễ nhiều hơn trong thân (Bảng 4). Cụ thể, hàm lượng lân tích lũy trong rễ lần lượt là 0,77 > 0,38 > 0,26 > 0,22 > 0,18% và trong thân 0,29 > 0,23 > 0,22 > 0,20 > 0,14% tương ứng chiều tím > chuối mỏ kết > thủy trúc > chuối hoa > bách thủy tiên và hàm lượng lân tích lũy trong thân. Tương ứng với sinh khối tăng thêm và lượng lân tích lũy trong cây đã giúp cây tích lũy thêm 0,21 > 0,20 > 0,18 > 0,10 > 0,07 g P/bê tương ứng cây chuối hoa > chiều tím > thủy trúc > bách thủy tiên > chuối mỏ kết (Bảng 4). Chiều tím và chuối mỏ kết là hai loài có khả năng tích lũy lân trong cây cao hơn 3 loài còn lại, nhưng chúng tốc độ tăng trưởng chậm hơn dẫn đến sinh khối khô tạo ra thấp hơn, nên lượng đạm lân cây hấp thu được cũng thấp hơn. Zhang et al. (2008) cũng cho rằng các loài thực

vật có khả năng hấp thu chất dinh dưỡng khác nhau tùy loài và tùy điều kiện nghiên cứu khác nhau. Lam and Ngo (2013) ghi nhận cây bèo bôn (*Typha orientalis*) khi trồng trong ĐNN kiến tạo xử lý nước thải nuôi cá thâm canh hấp thu 0,17 g N/m²/ngày và 0,09 g P/m²/ngày. Konnerup et al. (2011) kết hợp ĐNN kiến tạo chảy ngầm ngang xử lý nước ao cá thâm canh tuần hoàn kín, cây chuối hoa (*Canna generalis*) hấp thu 0,38 g N/m²/ngày và 0,098 g P/m²/ngày. Tỷ lệ hấp thu của thực vật cao là do sự tăng trưởng sinh khối nhanh và hàm lượng chất dinh dưỡng trong mô cao (Sawaitayothin & Polprasert, 2006). Tóm lại, kết quả cho thấy cây giúp hấp thu hàm lượng đạm, lân trong nước thải được minh chứng qua hàm lượng đạm, lân trong nước thải đầu ra giảm đáng kể so với đầu vào (Bảng 5). Chuối hoa, thủy trúc phát triển tốt và tích lũy hàm lượng N và P trong mô cây. Vì vậy, thu hoạch sinh khối là một giải pháp tốt để loại bỏ N và P từ hệ thống xử lý nước thải (Ngo et al., 2004). Sinh khối thu hoạch từ hệ thống xử lý

nước thải có thể được tận dụng để ủ phân hữu cơ, đối với cây bách thủy tiên, chuối mô kết và thủy trúc đây là những loài hoa kiểng được sử dụng trong cảnh hoa chính vì thế chúng có thể đem bán góp phần tạo thêm thu nhập.

Bảng 5. Tổng sinh khối khô, lượng TKN, TP tăng thêm trong cây và lượng TIN, TP mất đi trong nước

Loài cây	Cây (g/bể)			Nước (g/bể)	
	SKK	TKN	TP	TIN	TP
Bách thủy tiên	80,0	4,26	0,10	3,32	2,20
Chuối hoa	124,1	6,68	0,21	3,31	2,21
Chuối mô kết	28,6	1,78	0,07	3,19	2,10
Chiều tím	45,5	2,93	0,20	3,16	2,14
Thủy trúc	83,6	4,76	0,18	3,24	2,16

4. KẾT LUẬN

Hệ thống bè nổi thực vật góp phần giảm đạm, lân, COD và cải thiện điều kiện oxy trong nước sau 7 ngày xử lý. Tuy nhiên, hàm lượng DO và COD vẫn chưa đạt QCVN 08:2023/BTNMT.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Control Federation (WCF) (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed.* Washington D.C., USA.

Billore, S. K., Singh, N., Sharma, J. K., Dass, P., & Nelson, R. M. (1999). Horizontal subsurface flow gravel bed constructed wetl & with Phragmites Karka in Central India. *Water Science & Technology*, 40(3), 163-171. <https://doi.org/10.2166/wst.1999.0158>

Boyd, C. E. (1998). Water quality for pond aquaculture. Reserch and development series. No. 43. International center for aquaculture and aquatic environments Alabama quaculture experient station Auburn University.

Brix, H. (1997). Do macrophytes play a role in constructed wetlands?. *Water Science & Technology*, 35, 11-17. <https://doi.org/10.2166/wst.1997.0154>

Brix, H. (2003). Plant used in constructed wetland and their function. The 1st International Seminar on “The Use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment in Constructed Wetland”. Hosted by ICN and INAG, Portugal, 81-02.

Dang, B. D., & Nguyen, H. V. (2006). *Notebook of Environmental Chemistry*. Hanoi Science and Technology Publishing House (in Vietnamese).

Dao, N. H., Lam, K. C., Lam, N. N. N., Vo, T. T. P., Tran, T. T. H., Nguyen, M. T. D., Truong, P. C.,

Cây tích lũy thêm 6,68 > 4,46 > 4,26 > 2,93 > 1,78 g N/bể (tương ứng chuối hoa > thủy trúc > bách thủy tiên > chiều tím > chuối mô kết) và 0,21 > 0,20 > 0,18 > 0,10 > 0,07 g P/bể (tương ứng cây chuối hoa > chiều tím > thủy trúc > bách thủy tiên > chuối mô kết). Trung bình 5 loài cây nghiên cứu đóng góp loại bỏ 7,0 - 11,8% đạm và 4,0 - 9,3% lân trong hệ thống xử lý.

Chuối hoa và thủy trúc tăng trưởng và phát triển tốt giúp loại bỏ N, P trong hệ thống vì thế chúng là những loài tiềm năng và phù hợp nhất để trồng trên bè nổi giúp cải thiện chất lượng nước kết hợp tạo cảnh quan đô thị.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được hỗ trợ một phần kinh phí từ đề tài hợp tác CRRP2021-06MY-Jegatheesan, được tài trợ từ Mạng lưới Nghiên cứu Thay đổi Toàn cầu châu Á Thái Bình Dương (APN).

& Ngo, T. T. D. (2023). Study on ability of municipal wastewater treatment of *Canna generalis* and *Echinodorus cordifolius*. *Science and Technology Journal of Agriculture and Rural Development*, 445, 78-86 (in Vietnamese).

Ertel, J., Ampomah, B., Cross, K., & Sridhar, A. (eds.). (2019). *Nature for water: A series of utility spotlights*. IWA publishing. eISBN: 9781789060829.

Nguyen, T. G. (2020). Evaluating surface water quality in Ninh Kieu district, Can Tho city, Vietnam. *J. Appl. Sci. Environ. Manage*, 24 (9), 1599-1606. <https://doi.org/10.4314/jasem.v24i9.18>

Hoang, T. T. (2010). *Study on domestic wastewater treatment using planted subsurface horixontal flow constructed wetlands*. Scientific research of the College of Environment. Hai Phong Private University.

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

Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment wetlands*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420012514>

Konnerup, D., Koottatep, T., & Brix, H. (2008). Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with *Canna* and *Heliconia*. *Ecological engineering*, 35, 248-257. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.04.018>

- Konnerup, D., Trang, N. T. D., & Brix, H. (2011). Treatment of fishpond water by recirculating horizontal and vertical flow constructed wetlands in the tropics. *Aquaculture*, 313, 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.026>
- Lam, N. T. M., & Ngo, T. T. D. (2013). The role of *Typha orientalis* in constructed wetlands for treatment close-recirculated intensive catfish culture. *Can Tho University Journal of Science*, 29A, 31-36 (in Vietnamese).
- Le, L. T. (2013). *Ability to treat phosphorus in domestic wastewater of a constructed wetland system planted with vetiver grass (Vetiveria zizanioides)* (Master's thesis). Can Tho University (in Vietnamese).
- Le, V. H., & Nguyen, N. V. C. (2022). Study on the treatment of domestic wastewater using the constructed wetland with creeping burhead (*Echinodorus cordifolius* L.). *Can Tho University Journal of Science*, 6A(58), 59-67 (in Vietnamese). DOI:10.22144/ctu.jvn.2022.244 <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2022.244>
- Le, V. H., Le, L. T. C., Cao, N. T. K. & Nguyen, N. V. C. (2017). The use of constructed wetland for domestic wastewater treatment and creating landscape. *Ho Chi Minh city University of education journal of science*, 3(14), 162-175 (in Vietnamese).
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2000). *Jonh Wiley & Sons, New York*. Wetlands (third edition). No. of pages: 920.
- Nelson, S., Yonge, D., & Barber, M. (2009). Effects of road salts on heavy metal mobility in two eastern Washington soils. *J. Environ. Eng.*, 135(7), 505-510. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2009\)135:7\(505\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2009)135:7(505))
- Neumann, L., Moglia, M., Cook, S., Nguyen, M., Sharma, A., Trung, N., & Nguyen, B. (2013). Water use, sanitation and health in a fragmented urban water system: Case study and household survey. *Urban Water Journal*, 11, 198-210. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2013.768685>
- Ngo, T. T. D., & Hans, B. (2012). Efficiency of sand-based constructed wetlands in domestic wastewater treatment under high hydraulic loading rates. *Can Tho University Journal of Science*, 21b, 161-171 (in Vietnamese).
- Nguyen, B. (1977). *Plant morphology, Volume 1*. University and Professional High School Publishing House. Ha Noi (in Vietnamese).
- Nguyen, C. K. (2002). *Notebook of environment and environmental protection*. Ho Chi Minh City University of Technology Publishing House. Ho Chi Minh City (in Vietnamese).
- Nguyen, L. T., Vo, T. T. C., Nguyen, L. T., Dang, T. C., Phung, H. T. & Nguyen, N. V. C. (2015). Evaluation of treatment efficiency of domestic wastewater by aquatic plants. *Can Tho University Journal of Science*, Special Issue: Environment and Climate Change, 119-128 (in Vietnamese).
- Nhan, N. T. T., & Tuong, L. Q. (2020). Potential of *Echinodorus cordifolius* and *Vallisneria natans* in Constructed Wetlands for the removal of Water Pollution from Shrimp Farm Effluent. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 991, 1-11. DOI:10.1088/1757-899X/991/1/012034.
- Pham, H. K., Nguyen, L. P. H., Do, C. C., & Nguyen, H. M. (2012). Using aquatic system with hyacinth to treat domestic wastewater. *Journal of Mining and Earth sciences*, 40, 16-22 (in Vietnamese).
- Reed, S. C., & Brown, D. (1995). Subsurface flow wetlands - A performance evaluation. *Water Environ. Res.*, 67, 244-248. <https://doi.org/10.2175/106143095X131420>
- Sawattayothin, V., & Polprasert, C. (2006). Kinetic and mass balance analysis of constructed wetlands treating landfill leachate. *Environ Technol*, 27(12), 1303-1308. doi: 10.1080/09593332708618750
- Sebacher, D. I., Harriss, R. C., & Bartlett, K. B. (1985). Methane Emissions to the Atmosphere Through Aquatic Plants. *Journal of Environmental Quality*, 14, 40-46. <https://doi.org/10.2134/jeq1985.00472425001400010008x>
- Shahid, M. J., Tahseen, R., Siddique, M., Ali, S., Iqbal, S. & Afzal, M. (2018). Remediation of polluted river water by floating treatment wetlands. *Water Supply*, 19(3), 967-977. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.154>
- Somarakis, G., Stagakis, S., & Chrysoulakis, N. (eds.). (2019). *Thinknature Nature-based solutions Handbook*. Project funded by the EU Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 730338. DOI:10.26225/jerv-w202.
- Tanner, C. C., Kadlec, R. H., Gibbs, M. M., Sukizs, J. P. S., & Nguyen, M. L. (2002). Nitrogen processing gradients in subsurface-flow treatment wetlands – influence of wastewater characteristics. *Ecological Engineering*, 18(4), 499-520. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00011-3](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00011-3)
- Thai, A. V., & Le, C. T. C. (2016). *Study on the possibility of treating domestic wastewater using constructed wetlands planting reeds, cattail and vetiver*. Ho Chi Minh City University of Food Industry (in Vietnamese).
- Tran, N. S., Vo, T. T. P., Truong, M. H. H., Nguyen, D. T. N., Nguyen, A. Q., Tran, L. T. K., Nguyen, S. T., Tran, N. T. H., Ho, L. T., Nguyen, T. P., &

- Ngo, T. T. D. (2022). Assessing surface water quality in Bung Xang canal Ninh Kieu district, Can Tho city. *Science and Technology Journal of Agriculture & Rural Development*, 440, 92-99 (in Vietnamese).
- Tran, T. T. N., Vo, T. T. P., Truong, T. M., Nguyen, N. T. B., Nguyen, D. T., Phan, N. V., Tran, B. H. T., Tran, L. L. M. & Ngo, T. T. D. (2024). Growth and total inorganic nitrogen and phosphorus removal efficiency of three canna varieties planted in municipal wastewater. *Science and Technology Journal of Agriculture & Rural Development*, 485, 84-94 (in Vietnamese).
- Ngo, T. D. T., Liang, J. B., Yaziz, M. I., & Liao, X. D. (2004). Efficiency of selected local plants for livestock wastewater treatment in constructed wetlands. In *Proceeding KUSTEM 3rd Annual Seminar on Sustainability Science and Management*, 4th-5th May 2004. Theme Role of Environmental Science and Technology in Sustainable Development of Resources. Terengganu, Malaysia, pp. 207-210.
- Xiao, H., Jia, J., Chu, Q., & Liu, L. (2021). Effect of river ecological restoration by symbiotic system of aquatic plants. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 621(1) 012086. DOI 10.1088/1755-1315/621/1/012086.
- Zhang, Z., Rengel, Z., & Meney, K. (2008). Interactive effects of N and P on growth but not on resource allocation of *Canna indica* in wetland microcosms. *Aquatic Botany*, 89(3), 317-323. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.03.007>