

DOI:10.22144/ctu.jvn.2022.244

HIỆU QUẢ XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT CỦA MÔ HÌNH ĐẤT NGẬP NƯỚC NHÂN TẠO TRỒNG CÂY BÁCH THỦY TIÊN (*Echinodorus cordifolius* L.) Ở CÁC THỜI GIAN LƯU NƯỚC KHÁC NHAU

Lê Hoàng Việt và Nguyễn Võ Châu Ngân *

Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Nguyễn Võ Châu Ngân (email: nvcngan@ctu.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 03/09/2022

Ngày nhận bài sửa: 20/09/2022

Ngày duyệt đăng: 02/10/2022

Title:

Study on the treatment of domestic wastewater using the constructed wetland with creeping burhead (*Echinodorus cordifolius* L.)

Từ khóa:

Cây bách thủy tiên, nước thải sinh hoạt, thời gian tồn lưu, khu đất ngập nước

Keywords:

Creeping burhead plant, domestic wastewater treatment, hydraulic retention time, wetland area

ABSTRACT

In this study, a horizontal underground flow constructed wetland with creeping burhead (*Echinodorus cordifolius* L.) was used to survey the treatment efficiency of domestic wastewater according to the hydraulic retention times. The results showed that at the retention time of 7 days, in the treated wastewater, the parameters of pH, SS, BOD₅, N-NH₄⁺, N-NO₃, and P-PO₄³⁻ reached grade A, while total Coliforms reached grade B of the national technical standard of QCVN 14:2008/BTNMT. This system can be applied in regions with suitable areas and low land prices for environmentally friendly treatment, at the same time, the re-use of remained nutrients as organic fertilizer sources and create a nice landscape for the local area.

TÓM TẮT

Nghiên cứu sử dụng mô hình đất ngập nước nhân tạo có dòng chảy ngầm theo phương ngang có trồng cây bách thủy tiên (*Echinodorus cordifolius* L.) để xác định khả năng xử lý nước thải sinh hoạt theo thời gian lưu nước khác nhau. Kết quả cho thấy ở thời gian lưu nước 7 ngày, nước thải sau xử lý có các thông số pH, SS, BOD₅, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, P-PO₄³⁻ đạt loại A, riêng tổng Coliforms đạt loại B của QCVN 14:2008/BTNMT. Mô hình này có thể ứng dụng ở các khu vực có diện tích và giá đất phù hợp để xử lý nước thải sinh hoạt thân thiện với môi trường, đồng thời tái sử dụng các dưỡng chất làm phân bón và tạo cảnh quan cho khu vực xử lý.

1. GIỚI THIỆU

Lượng nước thải sinh hoạt ở đô thị của Việt Nam tăng nhanh do sự gia tăng dân số và sự phát triển của các dịch vụ đô thị. Nước thải sinh hoạt hiện chiếm trên 30% tổng lượng nước thải trực tiếp ra các ao, hồ, kênh dẫn ra sông, trong đó có tới 90% nước thải sinh hoạt đô thị xả ra môi trường không qua xử lý (CECR, 2018). Ở các đô thị, nước thải sinh hoạt hầu hết chỉ được xử lý sơ bộ qua các bể tự hoại, sau đó theo các tuyến cống xả trực tiếp ra nguồn tiếp nhận. Nước thải đô thị chứa các thành phần hữu cơ dễ phân

hủy sinh học, các dưỡng chất và các loại mầm bệnh (Việt & Ngân, 2014), nếu không được xử lý phù hợp mà thải ra môi trường sẽ gây ô nhiễm nguồn nước cũng như lan truyền các dịch bệnh. Các thống kê cho thấy có khoảng 80% trường hợp bệnh lý và tiêu chảy là do nguồn nước bị ô nhiễm gây ra, đã có những trường hợp bị tử vong do sử dụng nước bẩn mà trong đó trẻ em là chủ yếu (Cục Quản lý Tài nguyên nước, 2010).

Tính đến năm 2013 mặc dù có 60% hệ thống thoát nước của hộ gia đình ở các đô thị Việt Nam đã

được đầu nối vào hệ thống thoát nước công cộng, nhưng hầu hết nước thải từ những hệ thống thoát nước này lại xả thải thẳng ra các nguồn tiếp nhận, chỉ có khoảng 10% tổng lượng nước thải được thu gom xử lý (Ngân hàng Thế giới, 2013). Riêng ở vùng nông thôn việc thu gom và xử lý nước thải sinh hoạt còn gặp nhiều khó khăn hơn do mật độ dân cư thưa thớt, việc đầu tư xây dựng hệ thống thu gom và xử lý nước thải tập trung ở các công đồng này không khả thi về mặt tài chính. Vì vậy, việc nghiên cứu và lựa chọn một hệ thống xử lý nước thải phi tập trung, vừa hiệu quả về mặt kinh tế và kỹ thuật, vừa vận hành đơn giản để phù hợp với khả năng người dân là một hướng giải quyết cần được ưu tiên hàng đầu.

Đất ngập nước nhân tạo là một hệ thống được thiết kế và xây dựng mô phỏng các quá trình tự nhiên liên quan đến thảm thực vật ngập nước, đất và vi sinh vật (VSV) trong cùng một hệ thống để xử lý nước thải. Tuy diện tích đất cần để xây dựng hệ thống đất ngập nước nhân tạo tương đối lớn (US EPA, 1988) nhưng hệ thống này có chi phí vận hành và bảo trì thấp, ít tiêu thụ năng lượng, thân thiện với môi trường nên có thể áp dụng được ở những khu vực nông thôn. Thêm vào đó có thể trồng các loại cây kiểng thủy sinh trong hệ thống đất ngập nước để vừa xử lý nước thải, vừa tạo cảnh quan, đồng thời tạo thêm thu nhập.

Cây bách thủy tiên (*Echinodorus Cordifolius*) thường được trồng trong các ao, hồ nhân tạo hay trang trí trong các tiểu cảnh ở sân vườn. Nhờ đặc trưng của bộ rễ, cây bách thủy tiên có thể phát triển tốt trong môi trường chứa nước thải sinh hoạt và đóng vai trò quan trọng trong việc loại bỏ phosphor (Toirit et al., 2012). Ứng dụng cây bách thủy tiên để xử lý diethylene glycol trong nước thải với thời gian lưu nước (HRT) 7 ngày có thể giảm pH từ 12,0 xuống còn 6,8; giảm khoảng 98% nhu cầu oxy hóa học (COD) và 67% tổng chất rắn hòa tan (TDS) (Sriparat & Thiravetyan, 2011). Noonpui & Thiravetyan (2011) cũng sử dụng khu đất ngập nước trồng cây bách thủy tiên xử lý nước thải dệt nhuộm với thời gian lưu nước 7 ngày ghi nhận cây Bách thủy tiên có khả năng loại bỏ màu nhuộm red 141; hơn nữa cây trồng có thể làm giảm TDS, độ dẫn điện và làm giảm pH từ 9,5 xuống 7,4 trong 2 ngày. Boonbangkeng et al. (2021) đã sử dụng hệ thống đất ngập nước trồng cây bách thủy tiên để xử lý nước thải giàu dưỡng chất. Với thiết kế dòng chảy zigzag, sau 5 ngày xử lý hệ thống có hiệu suất xử lý rất cao đạt 100% đạm nitrate ($N-NO_3^-$), 70% phosphate ($P-PO_4^{3-}$). Ngoài ra, hệ thống đất ngập nước trồng cây bách thủy tiên cũng được ghi nhận có thể hấp thu tốt kim loại sắt từ nước rỉ rác, đặc biệt vào thân cây (892

± 1 mg/kg) và lá cây ($892 \pm 0,05$ mg/kg) sau 14 ngày thí nghiệm (Sari et al., 2019).

Ở Việt Nam, sử dụng hệ thống đất ngập nước trồng cây bách thủy tiên để xử lý nước thải sinh hoạt chưa được thử nghiệm. Nhan and Tuong (2020) ghi nhận hệ thống đất ngập nước trồng cây bách thủy tiên và cây họ xoăn (*Vallisneria Natans*) xử lý nước thải từ ao nuôi tôm cho hiệu quả xử lý rất cao, đạt 95,7% đạm amon ($N-NH_4^+$), 98,9% $N-NO_3^-$, 60,0% $P-PO_4^{3-}$, 100% sắt và 97,4% đồng sau 21 ngày lưu nước. Với nước thải sinh hoạt, hệ thống đất ngập nước nhân tạo trồng kết hợp cây ngãi hoa và cây bòn bòn cho hiệu suất xử lý chất rắn lơ lửng (SS) trên 70%, chất hữu cơ xấp xỉ 80% và 41,54% $P-PO_4^{3-}$ ở thời gian lưu nước 5 ngày (Việt và ctv., 2017); trong khi cây thủy trúc giúp giảm được 71,37% tổng đạm, 98,88% tổng lân sau 30 ngày lưu nước (Lộc và ctv., 2012).

Nghiên cứu này được tiến hành nhằm tìm hiểu thông số vận hành khu đất ngập nước trồng cây bách thủy tiên để tạo cảnh quan và xử lý nước thải sinh hoạt, đồng thời tạo thêm thu nhập cho người dân thông qua việc bán cây kiểng. Đồng thời, để có cơ sở thiết kế và ứng dụng mô hình, nghiên cứu này xác định thời gian lưu nước phù hợp cho hệ thống đất ngập nước nhân tạo trồng bách thủy tiên để xử lý nước thải sinh hoạt đạt tiêu chuẩn xả thải theo quy định tại QCVN 14:2008/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước thải sinh hoạt.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Địa điểm và đối tượng nghiên cứu

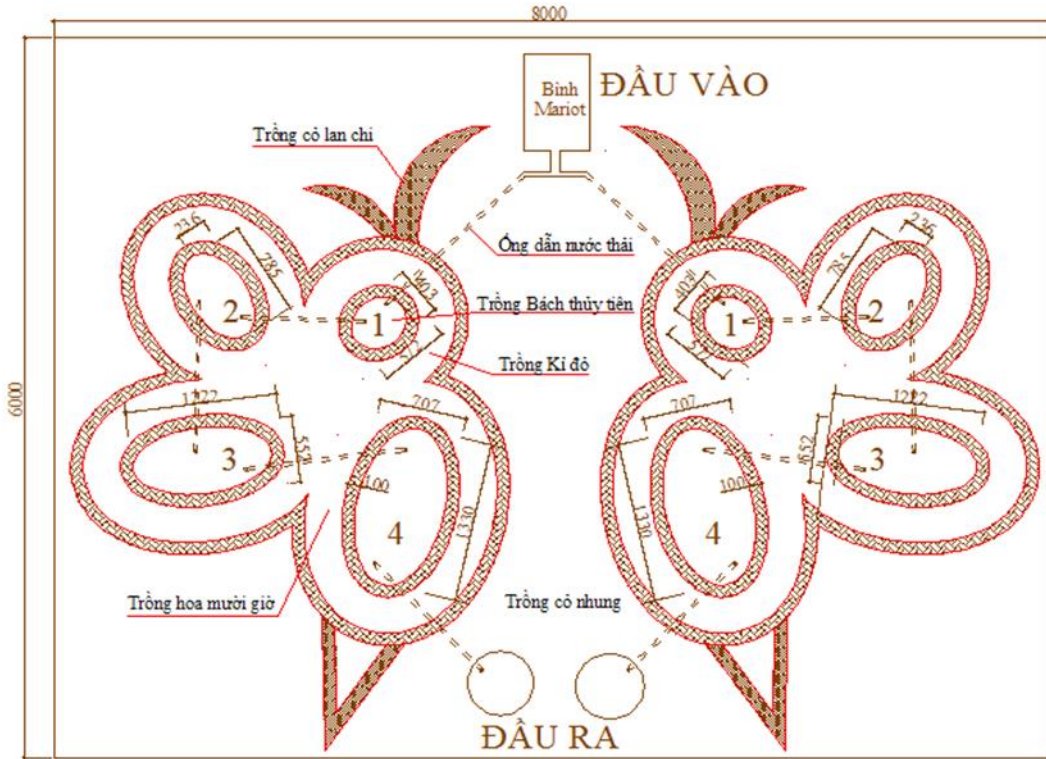
Các thí nghiệm được thực hiện trên mô hình đất ngập nước nhân tạo tại Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ.

Đối tượng nghiên cứu của thí nghiệm là nước thải sinh hoạt và cây bách thủy tiên trồng trong mô hình đất ngập nước nhân tạo, trong đó:

- Nước thải sinh hoạt lấy ở cống thoát nước chung của hẻm 124, đường 3/2, phường Xuân Khánh, quận Ninh Kiều, thành phố Cần Thơ.
- Cây bách thủy tiên giống mua ở làng hoa Sa Đéc, tỉnh Đồng Tháp.

2.2. Mô hình thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, mô hình đất ngập nước có dòng chảy ngầm theo phương ngang được xây dựng theo hình dạng 2 con ong để tạo cảnh quan. Mỗi con ong là một hệ thống xử lý được tạo thành từ bốn ô hình elip với tổng diện tích bề mặt của các ô là $1,701$ m² (Hình 1).



Hình 1. Mô hình đất ngập nước nhân tạo sử dụng trong thí nghiệm

Các kích thước của mô hình như sau:

- Ô 1 có kích thước 0,4 m × 0,5 m
- Ô 2 có kích thước 0,5 m × 0,785 m
- Ô 3 có kích thước 0,563 m × 1,122 m
- Ô 4 có kích thước 0,672 m × 1,403 m
- Độ sâu của các ô là 0,7 m
- Độ sâu của lớp chất nền là 0,55 m
- Độ sâu mực nước là 0,5 m

Với các kích thước thiết kế thì phần thể tích chứa chất nền trồng cây của mô hình được tính là $V_{\text{chất nền}} = 0,83 \text{ m}^3$.

Nguyên lý hoạt động của mô hình: nước thải từ thùng Mariotte đi theo đường ống dẫn nước vào ô số 1, sau đó đến ô số 2, 3 và 4. Nước sau xử lý theo đường ống chảy vào thùng chứa nước.

Chất nền trồng cây bách thủy tiên là đá 1×2 cm. Đá mua về được rửa sạch và xác định độ rỗng bằng cách cho vào đầy bình thủy tinh 8.000 mL, sau đó đổ nước vào tới khi đầy bình, ghi nhận thể tích nước cho vào. Thể tích nước cho vào bình ở 3 lần lượt là 3.800 mL, 3.810 mL và 3.800 mL. Độ rỗng của chất nền trồng cây tính theo công thức:

$$\alpha = \frac{V_v}{V_T} \times 100 = \frac{3803}{8000} \times 100 = 47,5\%$$

Trong đó:

V_v : thể tích nước cho vào vật liệu lọc (mL)

V_T : thể tích nước của bình (mL)

Với độ rỗng là 47,5% và thể tích chứa chất nền trồng cây của mô hình, thể tích chứa nước của mô hình được tính như sau:

$$V_{\text{chứanước}} = \alpha \times V_{\text{chấtnền}} = 0,475 \times 0,83 = 0,39 \text{ m}^3$$

2.3. Các bước tiến hành nghiên cứu

2.3.1. Chuẩn bị mô hình

Sau khi xây dựng mô hình đất ngập nước, lắp đặt van định lượng cho mô hình. Đưa chất nền vào mô hình. Tiến hành trồng cây bách thủy tiên trực tiếp vào chất nền theo thứ tự sau: ô thứ 1 trồng 3 bụi với 25 nhánh, ô thứ 2 trồng 5 bụi với 58 nhánh, ô thứ 3 trồng 8 bụi với 56 nhánh, ô thứ 4 trồng 13 bụi với 101 nhánh. Mật độ bụi cây trung bình trong mô hình là 16 - 19 bụi/m².

Cây bách thủy tiên được trồng thích nghi với nước thải sinh hoạt cho đến khi cây phát triển tốt mới bắt đầu tiến hành thí nghiệm định hướng. Việc

tạo thích nghi cho bách thủy tiên được tiến hành bằng cách pha loãng nước thải với nước cấp ở tỉ lệ 1:1 (v:v) nạp vào khu đất ngập nước trong 2 tuần, sau đó mới vận hành mô hình hoàn toàn với nước thải sinh hoạt.

2.3.2. Tiến hành thí nghiệm

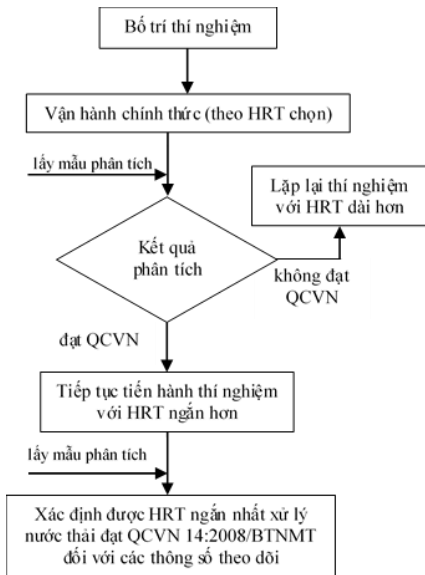
Căn cứ vào nồng độ chất hữu cơ trong nước thải đầu vào chọn HRT đảm bảo trong khoảng 4 - 15 ngày (Metcalf & Eddy, 1991).

a. Thí nghiệm định hướng

Tiến hành thí nghiệm sau khi tạo thích nghi cho cây bách thủy tiên với HRT đã chọn. Mẫu nước thải trước và sau khi xử lý qua mô hình được thu thập, phân tích và đánh giá bằng chỉ tiêu COD theo thời đoạn 5 ngày liên tục. Nếu nồng độ COD đầu ra ít biến động thì mô hình ổn định, có thể tiến hành thí nghiệm chính thức. Nếu nồng độ COD biến động thì tiếp tục vận hành cho đến khi mô hình ổn định.

b. Thí nghiệm chính thức

Thí nghiệm được tiến hành chính thức sau khi mô hình đã hoạt động ổn định qua thí nghiệm định hướng (Hình 2). Các giá trị HRT được chọn từ thí nghiệm định hướng.



Hình 2. Lưu đồ tiến hành thí nghiệm

Mẫu nước thải đầu vào và đầu ra được thu thập và đo đạc, phân tích các thông số pH, hàm lượng oxy hòa tan trong nước (DO), SS, nhu cầu oxy sinh hóa (BOD₅), COD, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, P-PO₄³⁻, tổng Coliform trong 03 ngày liên tục. Thí nghiệm này không tiến hành lặp lại mà thu thập mẫu nước liên tục trong các thời đoạn 03 ngày để đánh giá nhằm đảm bảo độ tin cậy của kết quả thí nghiệm.

Kết quả phân tích mẫu nước thải sau khi xử lý được so sánh với yêu cầu xả thải theo quy định của QCVN 14:2008/BTNMT. Nếu nước thải sau xử lý chưa đạt quy chuẩn thì tiến hành thí nghiệm với HRT lớn hơn, nếu nước thải sau xử lý đã đạt chuẩn thì tiến hành thí nghiệm với HRT nhỏ hơn.

Cuối đợt thí nghiệm ghi nhận các thông số tăng trưởng của cây bách thủy tiên như chiều cao cây, chiều dài rễ, số cây con mới mọc quanh cây giống đưa vào ban đầu.

2.4. Phương pháp phân tích mẫu

Các thông số ô nhiễm của mẫu nước thải được theo dõi bao gồm pH, DO, SS, BOD₅, COD, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, P-PO₄³⁻, tổng Coliform. Trong đó pH, DO được đo đạc trực tiếp tại hiện trường lấy mẫu, các thông số còn lại phân tích tại Phòng thí nghiệm Xử lý Nước - Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên - Trường Đại học Cần Thơ. Tất cả quy trình đo đạc và phân tích các thông số chất lượng nước tuân thủ các phương pháp chuẩn quy định bởi APHA, AWWA & WEF (1998).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc tính hóa lý của nước thải sinh hoạt

Trước khi tiến hành nghiên cứu, mẫu nước thải được thu thập và phân tích thành phần ô nhiễm nhằm định hướng cho thí nghiệm (Bảng 1). Về mặt cảm quan, nước thải lúc thu mẫu có màu xám đen, có cặn lơ lửng và mùi hôi. Giá trị pH nằm trong khoảng thích hợp cho hoạt động của VSV và phù hợp cho khu đất ngập nước (Kadlec & Knight, 1996). Nồng độ SS tương đối thấp có thể đưa trực tiếp vào hệ thống đất ngập nước mà không sợ bị nghẹt. Tỉ số BOD₅:N:P cao hơn nhiều so với tỉ số 100:5:1 (Việt & Ngân, 2014) chứng tỏ nước thải đủ dưỡng chất cho các hoạt động của VSV.

Bảng 1. Thông số ô nhiễm của nước thải

Chỉ tiêu	Đơn vị	Nồng độ ô nhiễm (n = 3)
pH		7,1 ± 0,06
DO	mg/L	1,1 ± 0,44
SS	mg/L	41,0 ± 10,7
BOD ₅	mg/L	115,0 ± 16,2
COD	mg/L	232,0 ± 31,4
N-NH ₄ ⁺	mg/L	39,0 ± 1,15
N-NO ₃ ⁻	mg/L	1,2 ± 1,71
P-PO ₄ ³⁻	mg/L	12,0 ± 2,18
Tổng Coliforms	MPN/ 100 mL	7,33×10 ⁶ ± 0,58×10 ⁶

3.2. Thí nghiệm định hướng

Thí nghiệm định hướng được tiến hành khi cây

bách thủy tiên đã thích nghi với nước thải sinh hoạt. Nước thải trong nghiên cứu này có nồng độ hữu cơ tương đối thấp nên chọn HRT 5 ngày để tiến hành thí nghiệm định hướng; khi đó lưu lượng nước thải nạp cho mô hình là 79 L/ngày.

Ở thí nghiệm định hướng, mẫu nước thải đầu vào và đầu ra được thu thập trong các thời đoạn 5 ngày liên tục và phân tích COD để đánh giá hiệu quả xử lý chất hữu cơ và tính ổn định của hệ thống. Kết quả Bảng 2 cho thấy mặc dù nồng độ COD của nước thải trước khi xử lý có biến thiên lớn, tuy nhiên nồng độ COD của nước thải sau xử lý có sự biến động rất nhỏ. Hiệu suất xử lý COD của hệ thống trong thời đoạn lấy mẫu 5 ngày đạt 86,6 - 89,5% chứng tỏ hệ thống đã hoạt động ổn định. Do đó có thể tiến hành thí nghiệm chính thức với HRT 5 ngày.

Bảng 2. Nồng độ COD của nước thải thí nghiệm

Ngày	Đầu vào (mg/L)	Đầu ra (mg/L)	Hiệu suất xử lý (%)
1	187	24,3	87,1
2	221	26,1	88,2
3	190	25,5	86,6
4	203	26,8	86,8
5	262	27,6	89,5
Trung bình	213 ± 30,5	26 ± 1,3	87,8 ± 1,2

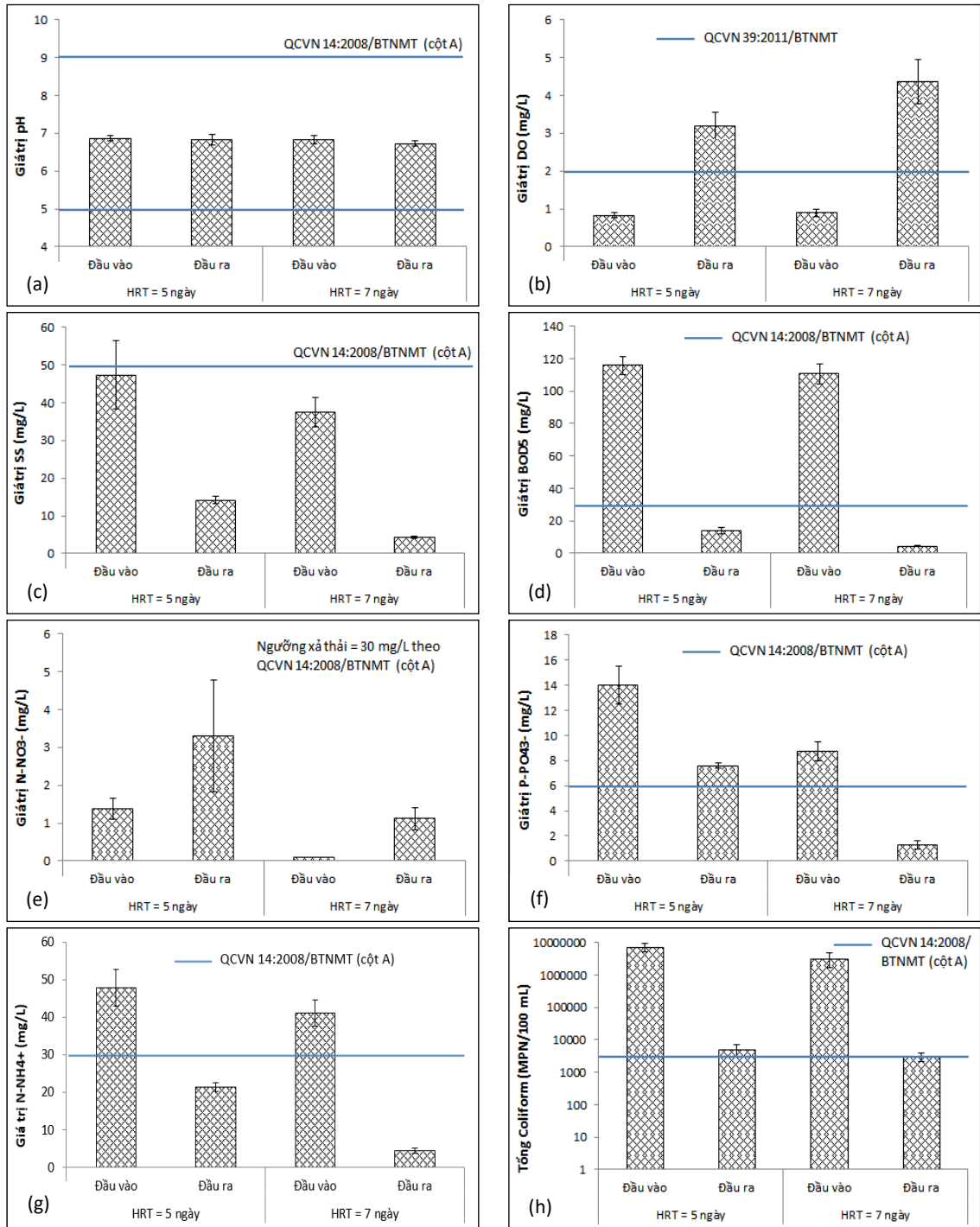
3.3. Hiệu quả xử lý nước thải của mô hình

Hình 3 trình bày kết quả phân tích mẫu nước của các thí nghiệm với HRT khác nhau. Giá trị pH của nước thải sau xử lý đạt 6,8 ± 0,2 và 6,7 ± 0,1 lần lượt cho thí nghiệm HRT 5 ngày và 7 ngày (Hình 3a). Cả hai giá trị này đều nằm trong khoảng cho phép từ 5,0 - 9,0 của QCVN 14:2008/BTNMT (cột A). Giá trị pH của nước thải sau xử lý giảm nhẹ so với pH trước xử lý là do trong hệ thống diễn ra quá trình nitrate hóa đã tiêu thụ độ kiềm của nước thải. Khoảng pH ghi nhận được thuận lợi cho sự phát triển của VSV cũng như sự sinh trưởng của cây bách thủy tiên.

Nồng độ DO của nước thải sau xử lý ở HRT 5 ngày và 7 ngày lần lượt đạt 3,2 ± 0,4 và 4,4 ± 0,6 mg/L cao hơn DO của nước thải trước xử lý (Hình 3b). Điều này là do cây bách thủy tiên thực hiện quá trình quang hợp cung cấp oxy xuống bộ rễ, VSV xung quanh rễ cây sẽ sử dụng nguồn oxy này để

phân hủy chất hữu cơ và nitrate hóa nước thải. Nhưng do nồng độ BOD₅ trong nước thải đầu vào khá thấp nên nhu cầu sử dụng oxy của vi khuẩn không cao, vi khuẩn không tiêu thụ hết lượng oxy cung cấp bởi cây bách thủy tiên làm cho nồng độ DO của nước thải đầu ra tăng cao. Ngoài ra, trong trường hợp xử lý ở HRT 7 ngày, thời gian lưu nước tăng dẫn đến tải nạp chất hữu cơ thấp hơn, lượng oxy VSV sử dụng để oxy hóa chất hữu cơ thấp làm cho lượng oxy sử dụng thừa. Điều này làm cho DO trong nước thải sau xử lý ở HRT 7 ngày tăng cao hơn HRT 5 ngày. Nồng độ DO tăng cao trong nước thải sau xử lý cũng được ghi nhận trong nghiên cứu xử lý nước thải sinh hoạt bằng khu đất ngập nước trồng cây ngãi hoa kết hợp cây bòn bòn (Việt và ctv., 2017), cây thủy trúc (Lộc và ctv., 2012). Tuy nhiên, nghiên cứu của Nhan & Tuong (2020) lại ghi nhận hàm lượng DO giảm liên tục từ ngày thứ 2 đến ngày thứ 6 ở mức thấp hơn tiêu chuẩn xả thải, điều này có thể là do nước thải ao nuôi tôm chứa nhiều dưỡng chất và chất hữu cơ, VSV phải sử dụng toàn bộ lượng oxy để trong hệ thống đất ngập nước để phân hủy các thành phần ô nhiễm.

Hàm lượng SS trong nước thải đầu ra lần lượt đạt giá trị 14,2 ± 1,0 mg/L và 4,3 ± 0,3 mg/L cho thí nghiệm với HRT 5 ngày và 7 ngày (Hình 3c), đạt loại A theo QCVN 14:2008/BTNMT. Hiệu suất xử lý SS khá cao, đạt trung bình 68,9% và 88,3% cho hai thời gian lưu nước. Hiệu suất xử lý này khá tương đồng với hiệu suất xử lý nước thải sinh hoạt 71,26% ghi nhận trước đó của Việt và ctv. (2017) khi sử dụng cây ngãi hoa và cây bòn bòn. Khi tăng HRT, vận tốc nước thải đưa vào mô hình giảm làm tăng hiệu quả loại bỏ SS. Hàm lượng SS trong nước thải giảm khi qua khu đất ngập nước do vận tốc dòng chảy nhỏ và thời gian lưu nước đủ dài để các hạt rắn lơ lửng có kích thước lớn được lắng đọng và giữ lại một phần khi đi qua lớp đá hoặc được giữ lại ở phần rễ cây. Các chất rắn và các hạt keo không lắng được sẽ bị loại bỏ một phần bởi quá trình hấp phụ của các màng sinh học (hình thành trên bề mặt lớp đá) và sau đó bị VSV trong màng sinh học phân hủy. Ngoài ra, sự gia tăng chiều dài rễ, kích cỡ rễ cây cũng góp phần làm giảm SS thông qua cơ chế kết bám chất hữu cơ lơ lửng bằng chất nhầy tiết ra.



Hình 3. Các thông số ô nhiễm của nước thải trước và sau xử lý ở hai thí nghiệm HRT khác nhau

Nồng độ chất hữu cơ trong nước thải sau xử lý giảm đáng kể (Hình 3d). Với thí nghiệm xử lý nước thải ở HRT 5 ngày và 7 ngày, giá trị BOD₅ sau xử lý lần lượt đạt $14,2 \pm 2,0$ mg/L (đạt 87,7%) và $4,4 \pm 0,3$ mg/L (đạt 96,2%) đáp ứng yêu cầu xả thải của QCVN 14:2008/BTNMT (cột A). Hiệu suất xử lý

trong thí nghiệm này cao hơn giá trị ghi nhận từ các nghiên cứu đất ngập nước trước đó: 83% của cây thủy trúc (Lộc và ctv., 2012), 80,77% của cây ngãi hoa kết hợp bèo bồng (Việt và ctv., 2017). Nồng độ BOD₅ trong nước thải sau khi qua hệ thống đất ngập nước giảm là do VSV bám trên chất nền và xung

quanh bộ rễ cây sử dụng để tổng hợp nên tế bào của chúng, một phần khác được VSV oxy hóa để chuyển thành CO_2 loại ra khỏi nước thải. Thêm vào đó, các chất hữu cơ nằm ở dạng chất rắn lơ lửng và các hạt keo cũng bị giữ lại trong chất nền và hệ rễ cây cũng góp phần làm giảm nồng độ chất hữu cơ trong nước thải sau xử lý. Cây trồng trong hệ thống đất ngập nước sẽ sử dụng chất hữu cơ được phân giải thành dạng ion để hấp thu cung cấp cho sự sinh trưởng và làm tăng sinh khối của mình.

Nồng độ N-NO_3^- trong nước thải sau xử lý tăng từ $1,4 \pm 0,3$ mg/L lên $3,3 \pm 1,5$ mg/L và từ $0,09 \pm 0,01$ mg/L lên $1,2 \pm 0,3$ mg/L tương ứng với HRT 5 ngày và 7 ngày (Hình 3e) nhưng vẫn còn thấp so với ngưỡng cho phép xả thải cột A của QCVN 14:2008/BTNMT. Nồng độ N-NO_3^- tăng chứng tỏ trong khu đất ngập nước có xảy ra quá trình nitrate hóa nước thải bởi các vi khuẩn. VSV nhận oxy từ rễ cây rồi dùng nó để oxy hóa amonia trong nước thải thành nitrite (bởi nhóm *Nitrosomonas*) và sau cùng là nitrate (bởi nhóm *Nitrobacter*). Phần thân ngập nước của thực vật, hệ thống rễ và phần vật liệu lọc xung quanh đóng vai trò cung cấp diện tích bề mặt làm giá bám cho các VSV tham gia vào các quá trình amon hóa, nitrate hóa và khử nitrate hóa trong quá trình chuyển hóa các dạng nitrogen trong nước thải. Nguồn nitrate từ quá trình nitrate hóa nước thải có thể bị cây bách thủy tiên hấp thu một phần. Hiện tượng này cũng được ghi nhận trong nghiên cứu trước đây của Việt và ctv. (2017) khi thử nghiệm xử lý nước thải sinh hoạt bằng hệ thống đất ngập nước trồng cây ngãi hoa kết hợp cây bòn bòn. Tuy nhiên, khi trồng cây bách thủy tiên trong hệ thống đất ngập nước có dòng chảy zigzag, hiệu quả xử lý nước thải giàu dưỡng chất đạt đến 100% sau 5 ngày lưu nước. Sự khác biệt này có thể do cách bố trí dòng chảy kiểu zigzag giúp kéo dài thời gian tiếp xúc và oxy được hòa trộn đều vào hệ thống, VSV sẽ phân hủy lượng dưỡng chất có trong nước thải tốt hơn.

Hình 3f ghi nhận nồng độ P-PO_4^{3-} trong nước thải đầu ra của thí nghiệm HRT 5 ngày giảm từ $14 \pm 1,5$ mg/L xuống còn $7,6 \pm 0,2$ mg/L (hiệu suất xử lý 37,2 - 52,3%) chỉ đạt cột B QCVN của 14:2008/BTNMT; trong khi thí nghiệm HRT 7 ngày giảm từ $8,7 \pm 0,7$ mg/L còn $1,3 \pm 0,4$ mg/L (hiệu suất xử lý từ 81,5 đến 88,8%) đạt QCVN 14:2008/BTNMT (cột A). Nghiên cứu trước đó của Việt và ctv. (2017) cũng ghi nhận hiệu suất xử lý P-PO_4^{3-} tương đương, đạt 41,54% khi sử dụng hệ thống đất ngập nước trồng cây ngãi hoa và cây bòn bòn để xử lý nước thải sinh hoạt trong 5 ngày, tuy nhiên hiệu suất xử lý P-PO_4^{3-} có thể đạt đến 60,0% khi lưu nước đến 21 ngày (Nhan & Tuong, 2020) và

98,9% khi lưu nước đến 30 ngày (Lộc và ctv., 2012). Một giải pháp gia tăng hiệu suất xử lý P-PO_4^{3-} đến 70% nhưng vẫn có thời gian lưu nước ngắn (5 ngày) được ghi nhận bởi Boonbangkeng et al. (2021) là bố trí dòng chảy zigzag trong hệ thống đất ngập nước. Trong khu đất ngập nước, phosphate được loại bỏ bởi quá trình kết tủa khi nó phản ứng với calcium trong chất nền trồng cây hay được đồng hóa bởi VSV và bị hấp thu bởi thực vật. Photphate bị loại bỏ do sự chuyển hóa của VSV và sự hấp thu từ thực vật để phục vụ cho cây sinh trưởng và phát triển, thấy rõ nhất qua việc tăng số cây trong thí nghiệm. Hiệu suất xử lý P-PO_4^{3-} trong nghiên cứu này không cao do chất nền trồng cây là đá xây dựng không chứa calcium nên khả năng loại bỏ P-PO_4^{3-} bằng quá trình kết tủa là rất thấp.

Nồng độ N-NH_4^+ trong nước thải đầu ra giảm đáng kể từ $47,9 \pm 4,8$ mg/L còn $21,5 \pm 1,1$ mg/L (đạt 55,2%) ở thí nghiệm HRT 5 ngày và từ $41,3 \pm 3,5$ mg/L còn $4,4 \pm 0,8$ mg/L (đạt 89,2%) ở HRT 7 ngày (Hình 3g). Hiệu suất xử lý này tương đồng giá trị 95,7% nhưng sau 30 ngày xử lý trong nghiên cứu của Nhan and Tuong (2020) xử lý nước thải từ ao nuôi tôm bằng hệ thống đất ngập nước trồng cây bách thủy tiên và cây họ xoăn. Giá trị N-NH_4^+ giảm là do một phần VSV trên lớp màng sinh học và do cây bách thủy tiên hấp thu để gia tăng sinh khối, một phần được vi khuẩn nitrate hóa chuyển thành nitrate. Trường hợp thí nghiệm với HRT 5 ngày, tuy hiệu suất xử lý N-NH_4^+ đạt trên 50% nhưng hàm lượng N-NH_4^+ chưa đạt QCVN 14:2008/BTNMT có thể do thời gian lưu chưa đủ dài để VSV trên lớp màng sinh học và cây bách thủy tiên hấp thu hết lượng đạm này. Đối với thí nghiệm HRT 7 ngày, giá trị N-NH_4^+ sau xử lý đạt cột A của QCVN 14:2008/BTNMT do thời gian lưu nước đủ dài để VSV trên lớp màng sinh học và cây bách thủy tiên hấp thụ N-NH_4^+ tạo thành sinh khối và một phần N-NH_4^+ được vi khuẩn nitrate hóa chuyển hóa thành nitrate.

Mật độ Coliforms trong nước thải đầu vào biến động rất cao từ $7,4 \times 10^6 \pm 2,35 \times 10^6$ MPN/100 mL và $3,2 \times 10^6 \pm 1,56 \times 10^6$ MPN/100 mL ở hai thí nghiệm HRT 5 ngày và 7 ngày; nước thải sau xử lý giảm đáng kể còn 5×10^3 MPN/100 mL và 3.067 MPN/100 mL tương ứng (Hình 3h). Mật độ Coliform giảm trong hệ thống đất ngập nước trồng thực vật cũng đã được ghi nhận trong những nghiên cứu trước đây của Lộc và ctv. (2012), Việt và ctv. (2017). Hiệu suất xử lý Coliform trong nước thải sinh hoạt có thể lên đến 99,8% khi trồng cây ngãi hoa kết hợp bòn bòn ở thời gian lưu nước 5 ngày, thậm chí đạt đến 99,96% khi trồng cây thủy trúc với thời gian lưu nước 30 ngày. Vi khuẩn trong khu đất ngập nước bị

tiêu diệt do nó được giữ lại trên màng sinh học và do sự cạnh tranh với các VSV sống trên màng sinh học và quanh rễ cây. Ngoài ra, khi nước thải đi vào hệ thống thì lượng Coliform sẽ được giữ lại qua hệ rễ của cây, được các VSV sống quanh rễ cạnh tranh góp phần tiêu diệt nhóm vi khuẩn này và bị ion hóa bởi ánh sáng mặt trời. Tuy hiệu suất xử lý rất cao đến 99,93% nhưng giá trị tổng Coliforms vẫn chỉ đạt cột B của QCVN 14:2008/BTNMT. Do các hệ thống xử lý sinh học lợi dụng hoạt động của các VSV nên nước thải sau xử lý sinh học luôn chứa một lượng Coliforms khá cao cần tiếp tục xử lý qua công đoạn khử trùng để đạt tiêu chuẩn xả thải.

3.4. Sinh trưởng và phát triển của cây trồng

Cây bách thủy tiên phát triển tốt trên mô hình đất ngập nước nhân tạo của nghiên cứu này. Sự tăng trưởng của cây trồng được trình bày ở Bảng 3 và Hình 4.

Bảng 3. Các chỉ tiêu theo dõi sinh trưởng của cây bách thủy tiên

	Trước khi thí nghiệm	Sau khi thí nghiệm
Tổng số bụi (bụi)	29	36
Tổng số nhánh/bụi	9,0 ± 1,6	15,0 ± 5,3
Chiều cao cây (mm)	66,4 ± 9,8	85,2 ± 13,7
Chiều dài rễ (mm)	12,6 ± 2,7	29,0 ± 4,5



Hình 4. Thân (trên) và rễ (dưới) của cây bách thủy tiên trước (trái) và sau (phải) thí nghiệm

Khi kết thúc thí nghiệm ở ngày 97, các nhánh cây có xu hướng phát triển chiều cao; hệ rễ sau khi

hấp thụ chất dinh dưỡng trong nước thải có khuynh hướng mọc nhiều và dài ra. Bên cạnh đó, cây bách thủy tiên còn phân nhánh ra thành những cây con mới. Số bụi cây con mọc thêm nhiều hơn so với giai đoạn trước khi tiến hành thí nghiệm và tăng từ 29 bụi lên đến 36 bụi.

4. KẾT LUẬN - KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Kết quả thí nghiệm sử dụng hệ thống đất ngập nước nhân tạo trồng cây bách thủy tiên để xử lý nước thải sinh hoạt đạt được những kết quả sau:

Ở HRT 5 ngày, nước thải sau xử lý chỉ có ba thông số SS, BOD₅, N-NO₃ đạt QCVN 14:2008/BTNMT (cột A); P-PO₄³⁻ và tổng Coliforms đạt cột B. Riêng N-NH₄⁺ không đạt nhưng đây là một lợi thế vì dư lượng đạm trong nước thải có thể tận dụng để bón cho các cây trồng cạn.

Ở HRT 7 ngày, nước thải sau xử lý đạt QCVN 14:2008/BTNMT cột A ở các thông số SS, BOD₅, N-NO₃, P-PO₄³⁻, N-NH₄⁺; riêng Coliforms chỉ đạt cột B.

Cây bách thủy tiên trong thí nghiệm này có khả năng thích nghi và hấp thụ các thành phần ô nhiễm từ nước thải sinh hoạt để gia tăng khối lượng, góp phần xử lý nước thải. Cây phát triển càng nhanh sẽ lấy càng nhiều chất dinh dưỡng trong nước thải, có ý nghĩa cả về mặt kỹ thuật lẫn kinh tế.

Như vậy, đối với những khu vực có điều kiện xây dựng hệ thống xử lý nước thải sinh hoạt bằng khu đất ngập nước trồng bách thủy tiên, có thể chọn thông số thiết kế với HRT 7 ngày để nước thải sau xử lý đạt cột B của QCVN 14:2008/BTNMT. Theo tính toán trong nghiên cứu này, tải nạp nước cho mô hình là 329 m³/ha/ngày, tải nạp chất hữu cơ là 36,5 kg BOD₅/ha/ngày.

4.2. Kiến nghị

Nên bố trí công đoạn khử trùng nước thải sau khi xử lý qua khu đất ngập nước đảm bảo nước thải đạt quy chuẩn QCVN 14:2008/BTNMT loại A đối với chỉ tiêu vi sinh.

Cần tiến hành thêm các nghiên cứu về hiệu quả xử lý nước thải bằng đất ngập nước nhân tạo trồng bách thủy tiên với các chất nền trồng cây khác nhau.

LỜI CẢM Ạ

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn Trần Thanh Trà, Tổng Nguyễn Ái Nhi - sinh viên lớp Kỹ thuật Môi trường K40 - đã trực tiếp hỗ trợ tiến hành các thí nghiệm của nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- APHA, AWWA, & WEF (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20th ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Washington DC.
- Boonbangkeng, D., Treesubuntorn, C., Dolphen, R., & Thiravetyan, P. (2021). Remediation of algal cells, PO₄³⁻, and NO₃⁻ from eutrophic wastewater using *Echinodorus cordifolius* in zigzag-horizontal subsurface constructed wetlands. *Journal of Environmental Management*, 300, 113720. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113720
- CECR - Trung tâm Nghiên cứu Môi trường và Cộng đồng (2018). *Ô nhiễm nước và sự cần thiết phải xây dựng Luật Kiểm soát ô nhiễm nước tại Việt Nam*. Hà Nội.
- Cục Quản lý Tài nguyên nước (2010). *Kết quả điều tra tình hình khai thác, sử dụng tài nguyên nước và xả nước thải vào nguồn nước lưu vực sông Cầu*. Hà Nội.
- Kadlec, R. H., & Knight, R. L. (1996). *Treatment wetlands*. Lewis Publishers.
- Lộc, N. T., Thu, V. T. C., Linh, N. T., Thịnh, Đ. C., Hằng, P. T., & Ngân, N. V. C. (2015). Đánh giá hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt của một số loại thủy sinh thực vật. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, Số chuyên đề Môi trường và Biến đổi khí hậu*, 119–128.
- Metcalf & Eddy (1991). *Wastewater engineering: Treatment, disposal, reuse*. McGraw-Hill, Inc.
- Ngân hàng Thế giới (2013). *Đánh giá hoạt động quản lý nước thải đô thị Việt Nam*.
- 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, 012034. DOI:10.1088/1757-899X/991/1/012034
- Noonpui, S., & Thiravetyan, P. (2011). Treatment of reactive azo dye from textile wastewater by burhead (*Echinodorus cordifolius* L.) in constructed wetland: Effect of molecular size. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 46, 709–714.
- Sari, M. O. S. K., Hastuti, E. D., & Darmanti, S. (2019). Potential of water jasmine (*Echinodorus palaefolius*) in phytoremediation of Fe in leachate Jatibarang landfill. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 11(1), 55–61. DOI: <http://dx.doi.org/10.15294/biosaintifika.v11i1.17447>
- Sriparat, W., & Thiravetyan, P. (2011). Phytoremediation of Diethylene Glycol contaminated wastewater by *Echinodorus cordifolius*. *International Journal of Phytoremediation*, 13, 592–600.
- Toirit, J., Siangdung, W., & Thiravetyan, P. (2012). Phosphorus removal from domestic wastewater by *Echinodorus cordifolius* L. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 47, 794–800.
- US EPA (1988). *Design manual constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment*. US Environmental Protection Agency - Office of Research and Development.
- Việt, L. H., Ly, L. T. C., Ngọc, C. T. K., & Ngân, N. V. C. (2017). Sử dụng đất ngập nước xử lý nước thải sinh hoạt và tạo cảnh quan. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Sư phạm TP. Hồ Chí Minh*, 14(3), 162–175.
- Việt, L. H., & Ngân, N. V. C. (2014). *Giáo trình Phương pháp xử lý nước thải*. NXB Đại học Cần Thơ.