

XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT BẰNG ĐẤT NGẬP NƯỚC NHÂN TẠO NỀN XỈ THAN TỔ ONG KẾT HỢP TRỒNG CỎ VOI

Kim Lavane^{1*}, Nguyễn Thị Hoàng Hạnh^{1,2}, Phạm Văn Toàn¹

¹Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên - Trường Đại học Cần Thơ;

²Phòng Tài nguyên và Môi trường thành phố Long Xuyên, tỉnh An Giang.

*Tác giả liên hệ: klavane@ctu.edu.vn

Nhận bài: 14/05/2021 Hoàn thành phản biện: 03/08/2021 Chấp nhận bài: 16/08/2021

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm đánh giá hiệu suất của đất ngập nước (ĐNN) nhân tạo dòng chảy ngầm theo phương ngang (HSSF) và phương đứng (VF) có vật liệu nền là xỉ than tổ ong và trồng cỏ voi. Thí nghiệm được tiến hành trên mô hình phòng thí nghiệm với lưu lượng nạp của nước thải sinh hoạt là 85 lít/ngày. Tải lượng nạp BOD₅, COD, TN, TP vào mô hình lần lượt là 7,47 g/m².ngày, 3,17 g/m².ngày, 1,43 g/m².ngày, 0,12 g/m².ngày. Kết quả nghiên cứu cho thấy nồng độ các chỉ tiêu ô nhiễm sau xử lý giảm đáng kể và đạt loại A theo QCVN 14:2008/BTNMT trong cả hai mô hình HSSFCW và VFCW. Hiệu suất xử lý của HSSFCW và VFCW đối với các chỉ tiêu lần lượt là SS: 88,7% và 92,4%; BOD₅: 95,3% và 92,6%; COD: 94,3% và 92,6%; TN: 54,1% và 47,5%; N-NO₃: 38,4% và 33,6%; TP: 73,5% và 63,2%; P-PO₄³⁻: 87,6% và 59,7%. Nhìn chung, mô hình HSSFCW có hiệu suất loại bỏ các chất ô nhiễm tương đối cao hơn mô hình VFCW, ngoại trừ chỉ tiêu SS. Cỏ voi phát triển tốt và cho sinh khối cao trong thí nghiệm. Từ kết quả nghiên cứu cho thấy xỉ than tổ ong có thể tái sử dụng làm chất nền trong ĐNN nhân tạo dòng chảy ngầm. Bên cạnh đó, cỏ voi có thể trồng trong hệ thống ĐNN dòng chảy ngầm xử lý nước thải sinh hoạt.

Từ khóa: Đất ngập nước nhân tạo, Xỉ than tổ ong, Cỏ voi, Nước thải sinh hoạt

DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT BY CONSTRUCTED WETLANDS WITH BEEHIVE CHARCOAL RESIDUE AS FILTRATION BED AND NAPIER GRASS

Kim Lavane^{1*}, Nguyen Thi Hoang Hanh^{1,2}, Pham Van Toan¹

¹College of Environment and Natural Resources, Can Tho University;

²Department of Natural Resources and Environment of Long Xuyen City, An Giang Province.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the performances of horizontal subsurface flow (HSSF) and vertical flow (VF) constructed wetlands (CW) using combusted beehive charcoal residues as filtration bed media and planted with Napier grass (*Pennisetum purpureum*). The experimental systems were fed with a flow rate of 85 m³/day. The loading rates of BOD₅, COD, TN, TP into the system were 7.47 g/m².day, 3.17 g/m².day, 1.43 g/m².day, 0.12 g/m².day, respectively. The results showed that the concentration of pollutants in effluents is significantly reduced and meet the national standard type A of QCVN 14:2008/BTNMT in both HSSFCW and VFCW models. The removal efficiencies in HSSFCW and VFCW for SS: 88.7% and 92.4%; BOD₅: 95.3% and 92.6%; COD: 94.3% and 92.6%; TN: 54.1% and 47.5%; N-NO₃: 38.4% and 33.6%; TP: 73.5% and 63.2%; P-PO₄³⁻: 87.6% and 59.7%, respectively. In general, the HSSFCW model has a relatively higher pollutant removal efficiency than the VFCW model, except for the SS. good growth and high biomass yield of Napier grass had been observed in the experimental systems. This study suggested that combusted beehive charcoal residues could be reused as bed substrate in constructed wetlands. Besides, Napier grass might also be a potential plant associated with subsurface flow constructed wetlands to treat domestic wastewater.

Keywords: Constructed wetland, Beehive charcoal residues, Napier grass, Domestic wastewater

1. MỞ ĐẦU

Nước thải sinh hoạt nếu không được xử lý phù hợp có thể gây ô nhiễm môi trường và ảnh hưởng đến sức khỏe con người cũng như môi trường sinh thái. Theo báo cáo đánh giá hoạt động quản lý nước thải đô thị ở Việt Nam của Ngân hàng Thế giới hầu hết nước thải sinh hoạt khu vực đô thị được xả thải trực tiếp vào môi trường qua hệ thống thoát nước bề mặt và chỉ có 10% lượng nước thải được xử lý (World Bank, 2013). Việc xử lý nước thải sinh hoạt các khu vực nông thôn càng bất cập hơn do mật độ dân số thấp nên phát sinh khó khăn về hệ thống thu gom nước thải.

Đất ngập nước (ĐNN) nhân tạo dòng chảy ngầm được nghiên cứu ứng dụng trong xử lý nguồn nước thải sinh hoạt có qui mô nhỏ hoặc nguồn thải phân tán. Trong hệ thống này, vật liệu nền đóng vai trò quan trọng trong quá trình loại bỏ chất ô nhiễm vì có tác dụng như lớp lọc vật lý, làm giá thể cho các vi sinh vật phát triển màng sinh học, và các tương tác sinh hóa khác (Shelef và cs., 2013). Một số nghiên cứu trước sử dụng chủ yếu là cát, sỏi, zeolite làm vật liệu nền trong ĐNN nhân tạo (Calheiros và cs., 2008; Shuib và cs., 2011; Lê Hoàng Việt và cs., 2017). Một số vật liệu nền có nguồn gốc từ chất thải như xỉ lò, xỉ thép và bùn thải từ nhà máy xử lý nước cũng được nghiên cứu để xử lý nước thải (Haynes và cs., 2015).

Xỉ than tổ ong là chất thải rắn phát sinh trong sinh hoạt do than tổ ong được sử dụng khá phổ biến trong đun nấu tại nhiều địa phương ở nước ta. Nguyên liệu chính được sử dụng để sản xuất than tổ ong là than bột (chiếm 20 - 30%) và thành phần còn lại đất sét. Một số loại than tổ ong khác được sản xuất với thành phần nguyên liệu và tỉ lệ phối khác nhau (Ge và cs., 2004). Theo Singh (2010), tỉ lệ phối trộn giữa than bột và đất sét là 1:4 theo trọng lượng thì cho chất lượng than tổ ong tốt với đặc tính dễ

cháy và ít vỡ vụn. Than tổ ong sau khi đốt thường được thải bỏ vào môi trường mà chưa có hình thức thu gom xử lý hoặc tái sử dụng. Trong thực tế, xỉ than tổ ong được dùng làm nguyên liệu sản xuất gạch không nung, chất độn để trồng hoa, cây kiểng, và lót nền nhưng mang tính tự phát và cục bộ. Xỉ than tổ ong có chứa một hàm lượng ôxít nhôm và sắt do thành phần nguyên liệu sản xuất chúng dùng lượng lớn đất sét để tạo khối và kết dính. Những nghiên cứu trước cho thấy các vật liệu chứa ôxít kim loại có thể hấp phụ dinh dưỡng như PO_4^{3-} tương đối hiệu quả (Ahmedi và Pelivanoski, 2011; Liu và cs., 2018). Nghiên cứu của Kim Lavane và cs., (2018) cho thấy rằng sử dụng xỉ than tổ ong làm giá thể lọc trong hệ thống lọc sinh học ngập nước loại bỏ được trên 80,1% SS, 82,7% BOD₅, 65,3% TKN và 51,7 % TP trong nước thải sinh hoạt.

Một số thực vật được trồng phổ biến trong hệ thống ĐNN nhân tạo như *Chrysopogon zizanioides* L. (cỏ vetiver), *Phragmites* (cây sậy) (Shuib và cs., 2011; Gajewska và cs., 2020), *Cana indica* (cây chuối hoa) (Saeed và cs., 2017), cây mỏ két (*Heliconia psittacorum*) (Cano và cs., 2020), cây ngải hoa và cỏ bòn bòn (Lê Hoàng Việt và cs., 2017), hoặc cây hoa trưng bày (Zurita và cs., 2009). Nghiên cứu sử dụng cỏ voi trong ĐNN nhân tạo để xử lý ô nhiễm chưa được chú ý mặc dù loài cỏ này phát triển rất tốt tại Việt Nam. Một số nghiên cứu ngoài nước cho thấy cỏ voi có thể ứng dụng để xử lý nhiều loại nước thải như nước thải chăn nuôi heo (Klomjek, 2016), nước thải nhà máy dầu (Osman và cs., 2020), nước thải sinh hoạt (Xu và cs., 2015). Cỏ voi có tên khoa học là *Pennisetum purpureum*, thuộc lớp Liliopsida, họ Hòa thảo (Poaceae) và cùng họ với cây sậy. Theo nghiên cứu của Yang và cs., (2007), hiệu quả loại bỏ chất gây ô nhiễm trong ĐNN nhân tạo trồng cây cỏ voi

tương đối cao hơn so với mô hình ĐNN trồng *Canna indica*, *Typha latifolia* và *Phragmites communis* vào thời điểm tháng 5 và 6 trong năm. Kết quả của một nghiên cứu khác cũng cho thấy rằng cỏ voi hấp thu tốt đối với cả ni-tơ và phốt-pho trong nước thải sinh hoạt (Xu và cs., 2015). Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm (1) đánh giá chất lượng nước sau xử lý bằng ĐNN nhân tạo sử dụng xỉ than tổ ong làm vật liệu nền, (2) so sánh hiệu suất xử lý của ĐNN nhân tạo dòng chảy ngầm theo phương ngang (HSSFCW) và phương đứng (VFCW), (3) khả năng phát triển cỏ voi trong ĐNN nhân tạo.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình thí nghiệm

Nghiên cứu được tiến hành trên mô hình bể nhựa HDPE (High Density Polyethylene) có thể tích 1000 L. Kích thước của hai mô hình ĐNN nhân tạo dòng chảy ngầm theo phương ngang (Horizontal subsurface flow constructed wetland -

HSSFCW) và ĐNN nhân tạo dòng chảy theo phương đứng (Vertical flow constructed wetland - VFCW) tương tự nhau với chiều dài, chiều rộng và chiều cao tương ứng là 2,15 m, 1,16 m, và 0,51 m (Hình 1A).

Xỉ than tổ ong được sử dụng làm vật liệu nền với chiều dày khoảng 0,45 m. Sau khi thu gom từ các hộ gia đình, xỉ than tổ ong được phơi và đập nhỏ. Sau đó, các hạt được rây sàng qua rây số 6 và số 12 (tiêu chuẩn Mỹ). Khoảng kích thước hạt của xỉ than sau khi rây sàng là 1,68 - 3,36 mm (Hình 1B).

Cỏ voi được trồng bằng cách giâm từ thân cây (Hình 1C). Thân cây cỏ voi giống được chia thành các đoạn ngắn khoảng 25 - 30 cm (3 đốt) và ngâm trong dung dịch Atonik 1.8 SL pha loãng để kích rễ. Sau khi ra rễ, cỏ voi được trồng 18 cây với 3 hàng song song với nhau và mỗi hàng có 6 cây. Khoảng cách giữa các gốc cỏ khoảng 0,25 m.



Hình 1. Vật liệu nghiên cứu: A) Bể nhựa sử dụng làm mô hình thí nghiệm; B) Xỉ than tổ ong sau khi rây sàng; C) Cỏ voi;

2.2. Vận hành mô hình

Sơ đồ mô hình thí nghiệm được trình bày trong Hình 2. Mỗi mô hình HSSFCW và VFCW có 1 bể và hoạt động song song với nhau. Nước thải sinh hoạt sử dụng trong thí nghiệm được thu thập tại hẻm 124, đường 3/2, quận Ninh Kiều, thành phố Cần

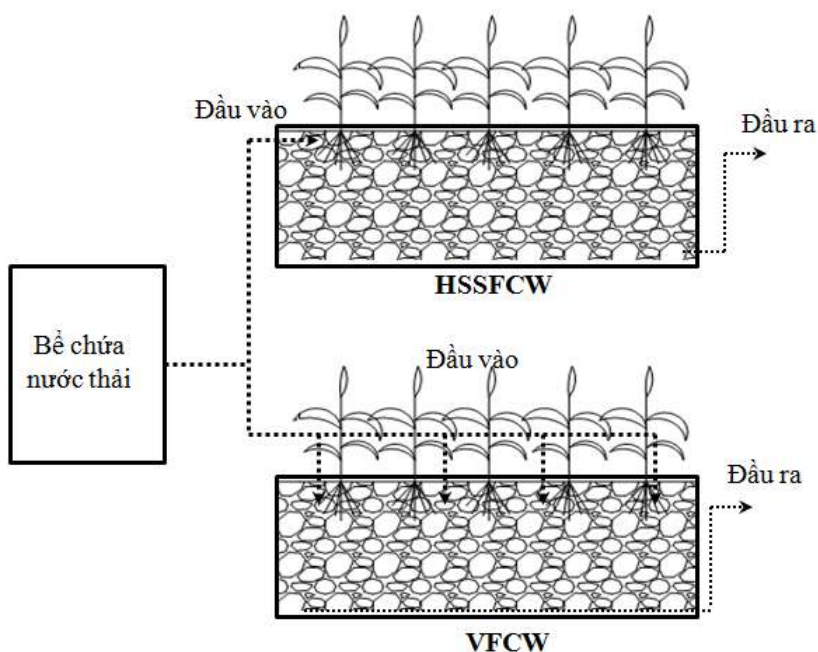
Thơ. Nước thải được thu thập mỗi ngày tại miệng cống xả bằng xô nhựa và sau đó đổ vào bồn chứa 200 L để vận chuyển về phòng thí nghiệm để chạy mô hình. Trước khi nạp vào mô hình thí nghiệm, nước thải được xử lý sơ bộ bằng phương pháp lắng tĩnh 30 phút trong thùng phuy nhựa có thể tích 150 L. Sau đó, nước thải được bơm lên bình ma-

ri-ốt để phân phối nước vào mô hình thí nghiệm. Nước thải được nạp vào mô hình HSSFCW ở đầu vào của bể và nước thải sau xử lý được thu ở đầu ra của bể. Trong mô hình VFCW, nước thải được phân phối thông qua các ống có gắn van điều chỉnh lưu lượng đặt dọc theo bể và nằm bề mặt vật liệu nền. Nước thải sau xử lý được thu bằng hệ thống ống PCV $\Phi 16$ đục lỗ dạng hình xương cá đặt dưới nền vật liệu. Mục nước trong cả 2 mô hình được duy trì khoảng 0,35 m, thấp hơn chiều dày lớp nền 0,1 m. Lưu lượng nước thải được nạp vào hệ thống là 85 lít/ngày Tải lượng bề mặt của BOD₅, COD, TN, TP nạp vào mô hình lần lượt là 74,72 kg/ha.ngày, 131,67 kg/ha.ngày, 14,28 kg/ha.ngày, 1,21 kg/ha.ngày.

2.3. Phân tích và xử lý số liệu

Phương pháp phân tích các chỉ tiêu ô nhiễm được thực hiện dựa theo qui chuẩn

hiện hành tại phòng thí nghiệm Hóa Môi trường, Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ. Chỉ tiêu pH, nhiệt độ, DO được đo bằng thiết bị đo Hana HI8314 và Hana HI9146. BOD₅ được xác định bằng phương pháp Winkler cải tiến (SMEWW 5210D:2012); COD được xác định bằng phương pháp Dicromate đun hoàn lưu kín (TCVN 6491:1999); tổng nitơ (TN) và tổng photpho (TP) được xác định theo qui trình của SMEWW 4500-N và 4500-P (WEF, 2005); N-NH₄⁺ được xác định theo phương pháp chung cất và chuẩn độ (TCVN 5988:1995); N-NO₃⁻ được xác định theo phương pháp Salicylate (TCVN 6180:1996); P-PO₄³⁻ được xác định theo phương pháp so màu (TCVN 6202:2008). Chỉ tiêu SS được xác định theo phương pháp khối lượng (TCVN 6625:2000). Số liệu được xử lý bằng phần mềm ứng dụng Excel 2007.



Hình 2. Sơ đồ mô hình thí nghiệm

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thành phần và tính chất nước thải sinh hoạt đầu vào

Nước thải sinh hoạt đầu vào được phân tích nồng độ các chỉ tiêu ô nhiễm qua 5 ngày lấy mẫu liên tục nhằm đánh giá thành phần và tính chất của nước thải. Kết quả phân tích được trình bày trong Bảng 1. Giá trị pH đầu vào dao động nhẹ $\text{pH}=7,1\pm 0,05$. Khoảng pH trung tính sẽ thuận lợi cho sự sinh trưởng của vi sinh vật và sự phát triển của cỏ voi (Nguyễn Anh Vũ, 2008).

Nước thải đầu vào chứa nồng độ SS thấp và chất dinh dưỡng cao. Giá trị trung bình của SS = 45,8 mg/L, COD = 310 mg/L, BOD₅ = 176 mg/L, TN = 33,6 mg/L, TP = 2,8 mg/L. Tỷ lệ BOD₅:TN:TP là 100:19,1:1,6 so với 100:5:1 phù hợp cho hệ thống xử lý sinh học. Chất dinh dưỡng cao là cần thiết cho vi sinh vật và thực vật phát triển mà không cần phải bổ sung thêm trong quá trình xử lý. Từ kết quả này cho thấy nước thải sinh hoạt phù hợp để xử lý bằng ĐNN nhân tạo.

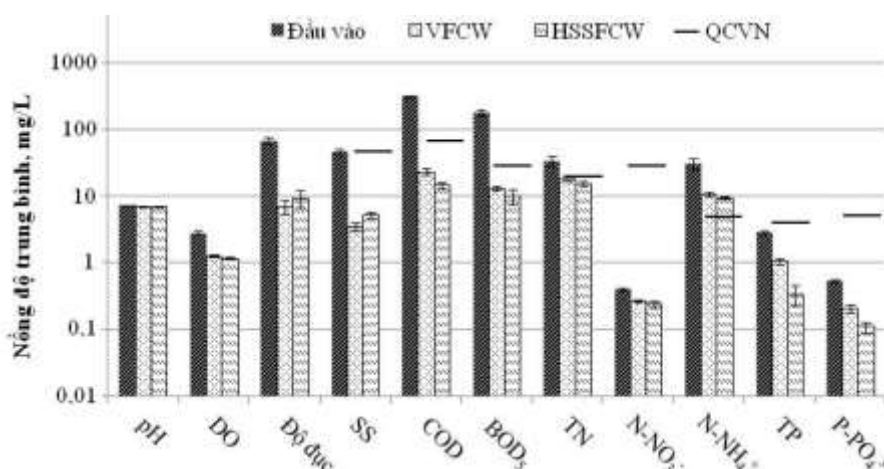
Bảng 1. Thành phần tính chất nước thải sinh hoạt đầu vào

Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị trung bình (n = 5)	Độ lệch chuẩn	QCVN 14:2008/BTNMT (cột A)
pH	-	7,1	0,05	5-9
DO	mg/L	2,8	0,18	Không quy định
Độ đục	NTU	67,6	9,2	Không quy định
SS	mg/L	45,8	4,7	50
COD	mg/L	310	10	Không quy định
BOD ₅	mg/L	176	16	30
TN	mg/L	33,6	5,4	Không quy định
N-NO ₃ ⁻	mg/L	0,39	0,02	30
N-NH ₄ ⁺	mg/L	30,6	5,3	5
TP	mg/L	2,8	0,14	Không quy định
P-PO ₄ ³⁻	mg/L	0,53	0,02	6
Tổng Coliform	CFU/mL	$1,8\times 10^6$	$3,1\times 10^5$	3.000

3.2. Đánh giá chất lượng nước thải sau xử lý bằng ĐNN nền xỉ than tổ ong

Nồng độ các chỉ tiêu ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt trước và sau xử lý được thể hiện trong Hình 3. Kết quả thí nghiệm cho thấy các chỉ tiêu độ đục, SS, BOD₅, TN, N-NO₃⁻, TP, P-PO₄³⁻ đạt loại A theo QCVN 14:2008/BTNMT. Cụ thể, chỉ tiêu SS giảm từ 45,8 mg/L xuống $5,2 \pm 0,5$ mg/L và $3,5 \pm 0,44$ mg/L đối với HSSFCW và VFCW. Kết quả này cho thấy nền xỉ than tổ ong đóng vai trò là vật liệu lọc cơ học rất tốt trong ĐNN nhân tạo. Theo nghiên cứu trước

đây cho thấy hiệu suất loại bỏ SS trong nước thải sinh hoạt đạt khoảng 88% khi xử lý bằng cột lọc sinh học sử dụng vật liệu xỉ than tổ ong (Kim Lavane và cs., 2018). Theo báo cáo của Singh (2010) cho thấy xỉ than tổ ong có tỷ lệ đất sét lớn và đặc điểm này có thể làm tăng tương tác và giữ lại SS trên bề mặt hạt vật liệu. Ngoài ra, sự sinh trưởng và phát triển của vi sinh vật trong hệ thống có thể tạo ra màng sinh học trên bề mặt vật liệu (Shelef và cs., 2013), đóng vai trò như lớp keo giúp tăng khả năng giữ lại SS và tương tác sinh hóa khác.



Hình 3. Giá trị nồng độ trung bình các chỉ tiêu trong nước thải sinh hoạt trước và sau xử lý

Nồng độ BOD₅ trong nước thải sau xử lý đạt loại A theo QCVN 14:2008/BTNMT. Nước thải đầu ra của mô hình HSSFCW có BOD₅ = 10 ± 2,6 mg/L và mô hình VFCW có BOD₅ = 13,1 ± 1,0 mg/L. Từ kết quả nghiên cứu cho thấy, khả năng tải BOD₅ trên diện tích bề mặt của bể HSSFCW là 7,04 gBOD₅/m².ngày và bể VFCW là 6,92 gBOD₅/m².ngày.

Thành phần đạm (nitơ tổng, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻) trong nước thải sau xử lý đều giảm so với đầu vào. Giá trị nitơ tổng (TN) và N-NO₃⁻ động lần lượt là 15,4-17,65 mg/L và 0,24-0,26 mg/L (Hình 3). Khả năng tải TN trên diện tích bề mặt của bể HSSFCW và VFCW đạt lần lượt là 0,77 g/m².ngày và 0,68 g/m².ngày. Đối với N-NH₄⁺, nước thải sau xử lý có nồng độ dao động từ 10,7 ± 0,91 mg/L và 9,4 ± 0,46 mg/L. Mặc dù N-NH₄⁺ trong nước thải đầu ra thấp hơn nhiều so với đầu vào (30,6 ± 5,9 mg/L) nhưng vẫn chưa đạt tiêu chuẩn QCVN 14:2008/BTNMT (cột A là 5 mg/L). Tương tự như kết quả nghiên cứu của Abdelhakeem và cs., (2016), N-NH₄⁺ tương đối khó loại bỏ một cách hiệu quả bằng cả hai mô hình HSSFCW và VFCW. Thực vật có thể hấp thụ N-NH₄⁺ trong nước thải nhưng quá trình nitrát hóa mới là quá trình chính để xử lý N-NH₄⁺ trong hệ thống ĐNN nhân tạo (Vymazal, 2005). Sự chuyển hóa N-NH₄⁺ sang N-NO₃⁻ kém có thể do oxy hòa tan trong nền vật liệu thấp nhưng đây lại điều kiện làm cho quá trình khử nitrát diễn

ra tốt hơn. Abdelhakeem và cs., (2016) cho rằng vấn đề này là yếu tố cản trở làm cho quá trình xử lý nitơ không hiệu quả trong hệ thống ĐNN nhân tạo. Nghiên cứu trước cho rằng ĐNN nhân tạo dạng lai (hybrid) và nhiều bậc mới thúc đẩy quá trình nitrát hóa diễn ra hiệu quả hơn (Vymazal, 2005; Gajewska và cs., 2020).

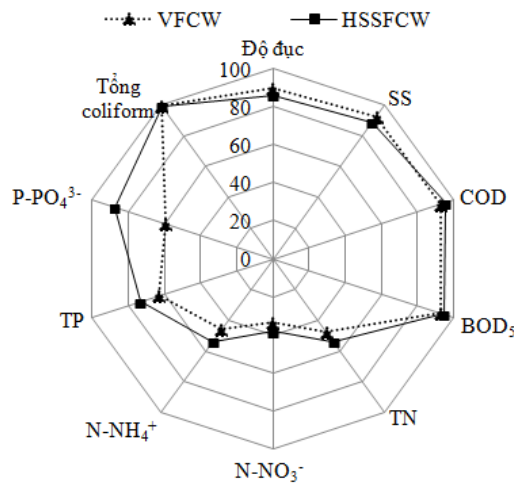
Nồng độ của lân tổng (TP) và P-PO₄³⁻ trong nước thải đầu ra giảm thấp so với đầu vào. Giá trị TP đầu ra của HSSFCW và VFCW là 0,33 ± 0,11 mg/L và 1,04 ± 0,10 mg/L; chỉ tiêu P-PO₄³⁻ cũng đạt giá trị lần lượt là 0,11 ± 0,02 mg/L và 0,21 ± 0,03 mg/L, thấp hơn so với đầu vào. Sự loại bỏ lân trong mô hình giúp nâng cao chất lượng nước thải sau xử lý mặc dù thành phần này trong nước thải đầu vào thấp. Mặc dù nồng độ lân trong nước thải sinh hoạt đầu vào ở nghiên cứu này thấp nhưng kết quả thí nghiệm cho thấy HSSFCW và VFCW sử dụng vật liệu nền xi than tổ ong có thể loại bỏ lân trong nước thải. Kadlec & Knight (1996) cho rằng lân được loại bỏ trong ĐNN chủ yếu từ quá trình hấp phụ trên bề mặt của chất nền, quá trình kết tủa, hấp thụ của thực vật và hấp thụ bởi vi sinh vật. Kết quả trong nghiên cứu này cũng cho thấy hiệu quả tích cực của xi than tổ ong trong xử lý P-PO₄³⁻ như các thông tin lược khảo và nhận định trong nghiên cứu của (Ahmedi và Pelivanoski, 2011; Lui và cs., 2018). Bên cạnh đó, trong hệ thống ĐNN trồng cỏ voi, đạm và lân ở các dạng hòa tan trong nước

thải sinh hoạt được hấp thu tốt bởi thực vật (Xu và cs., 2015).

3.2. So sánh hiệu suất loại bỏ chất ô nhiễm của HSSFCW và VFCW

Hiệu suất xử lý các chỉ tiêu ô nhiễm được thể hiện trong Hình 4. Hiệu suất loại bỏ SS trong mô hình HSSFCW và VFCW lần lượt là 88,7% và 92,4%. Kết quả thí nghiệm cho thấy mô hình VFCW loại bỏ SS hiệu quả hơn so với mô hình HSSFCW. Độ

đục của nước thải sau xử lý trong 2 mô hình cũng giảm từ $67,6 \pm 9,15$ NTU xuống $9,29 \pm 2,5$ NTU và $7,04 \pm 1,6$ NTU. Kết quả thí nghiệm cho thấy kiểu phân phối nước từ trên xuống trong mô hình VFCW hiệu quả hơn vì mô hình hoạt động tương tự như cột lọc sinh học với diện tích bề mặt vật tiếp xúc với nước thải lớn hơn so với mô hình HSSFCW.



Hình 4. Hiệu suất xử lý các chỉ tiêu trong nước thải sinh hoạt trước và sau xử lý

Hiệu suất xử lý COD và BOD₅ của mô hình HSSFCW đạt 95,3% và 94,3%. Đối với mô hình VFCW, hiệu suất xử lý cũng đạt lần lượt là 92,6% và 92,5%. Nhìn chung, hiệu suất xử lý COD và BOD₅ bởi HSSFCW tương đối cao hơn VFCW (COD: $\alpha = 0,028 < 0,05$; BOD₅: $\alpha = 0,034 < 0,05$). Hiệu suất xử lý COD và BOD₅ được ghi nhận tương đương với nghiên cứu của Yang và cs., (2007) trên mô hình HSSFCW với khả năng loại bỏ COD là 85,8% (lớn nhất: 95,2% và nhỏ nhất: 69,4%) và BOD₅ là 91,2% (lớn nhất: 99,4% và nhỏ nhất: 79,6%). Nghiên cứu của Raphael và cs., (2019) cho thấy hiệu suất xử lý BOD là 35% và 35,4% và COD là 61,9% và 56,7% trong hệ thống HSSFCW và VFCW và thấp hơn nhiều so với nghiên cứu này. Sự chênh lệch hiệu suất xử lý có thể là do sự khác biệt của mô hình nghiên cứu. Nghiên cứu của Nguyễn Xuân Lộc (2008) về ĐNN nhân tạo dòng chảy ngang xử lý nước thải sinh hoạt

cho hiệu suất COD khoảng 66,04 - 73,81%. Tuy nhiên, kết quả của nghiên cứu này ngược lại với nghiên cứu trước khi cho rằng HSSFCW tương đối kém hiệu quả hơn so với VFCW trong xử lý chất hữu cơ hòa tan (Gajewska và cs., 2020).

Kết quả nghiên cứu cho thấy hiệu suất xử lý các chỉ tiêu dinh dưỡng trong nước thải sinh hoạt của bể HSSFCW cao hơn bể VFCW. Hiệu suất xử lý TN bởi HSSFCW là 54,1% và VFCW là 47%. Kết quả của nghiên cứu này tương đồng với nghiên cứu của Zurita và cs., (2009) rằng HSSFCW loại bỏ TN tốt hơn VFCW. Tuy nhiên, Gajewska và cs., (2020) cho rằng không có sự khác biệt trong xử lý TN giữa HSSFCW và VFCW. Một số nghiên cứu trước báo cáo rằng HSSFCW xử lý nước thải sinh hoạt và đô thị đạt hiệu suất xử lý TN khoảng 56,1% (Zhang và cs., 2009), trong khi đó nghiên cứu của Raphael và cs., (2019) ghi nhận với hiệu suất loại bỏ TN

trung bình đạt trên 81%, cao hơn nhiều so với nghiên cứu này. Đối với NH_4^+ N- NO_3^- , hiệu suất xử lý trong bể HSSFCW lần lượt là 53,9% và 38,4%, cao hơn bể VFCW là 46,1% và 33,6%. Tuy nhiên, Zurita và cs., (2009) báo cáo rằng quá trình nitrát hóa diễn ra trong VFCW tốt hơn HSSFCW. Quá trình loại bỏ nitơ trong hệ thống ĐNN nhân tạo khá phức tạp, liên quan đến các quá trình chuyển hóa bởi vi sinh vật và sự hấp thụ của thực vật, cũng như tỷ lệ $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ trong nước thải đầu vào. Để nâng cao hiệu suất loại bỏ nitơ trong nước, những hệ thống ĐNN nhân tạo nhiều bậc được chú ý nghiên cứu, tuy nhiên cũng cần phải xem xét đến độ sâu của dòng chảy trong nền vật liệu (Cano và cs., 2020). Bể HSSFCW cho hiệu suất xử lý tổng lần cao hơn bể VFCW. Hiệu suất xử lý PO_4^{3-} vận hành của bể HSSFCW là 87,6% trong khi bể VFCW đạt được là 59,7%. Kết quả này có xu hướng tương tự như kết quả được ghi nhận trong nghiên cứu của Raphael và cs., (2019) với hiệu suất của HFCW (95%) cao VFCW (65%).

Bảng 2. Số liệu sinh trưởng của cây cỏ voi trước và sau xử lý

Đặc điểm sinh trưởng	Trước khi tiến hành thí nghiệm	Sau khi kết thúc thí nghiệm (224 ngày)	
		HSSFCW	VFCW
Tổng số cây/bể	18	77	88
Số cây/ vị trí trồng	1	$4,3 \pm 1,1^1$	$4,8 \pm 1,3$
Đường kính thân (mm)	10,2	$16,6 \pm 2,72$	$14,5 \pm 2,68$
Chiều cao (cm)	25-30	$367 \pm 0,38$	$385 \pm 0,32$
Chiều dài bộ rễ (cm)	≤ 5	≤ 39	≤ 40

¹Độ lệch chuẩn ($n=3$)

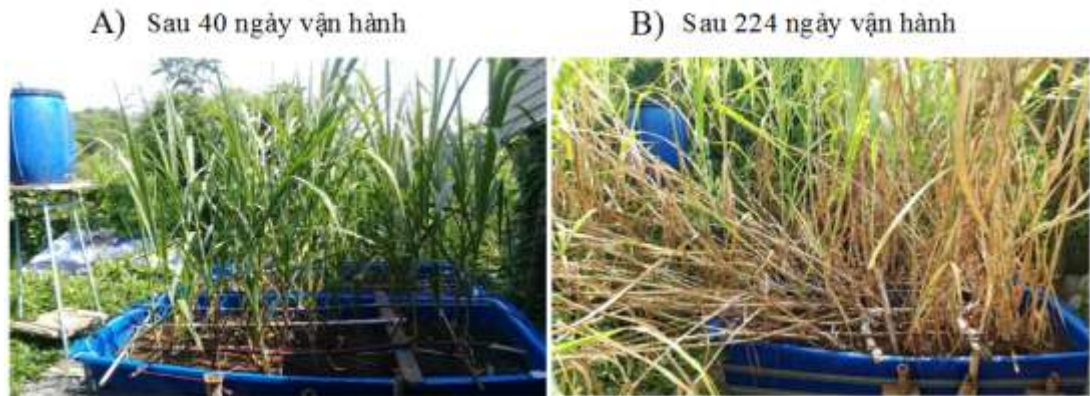
Quan sát sự sinh trưởng cho thấy bộ rễ phát triển mạnh mẽ với chiều dài trung bình 40 cm đồng thời bám toàn bộ vào vật liệu có trong mô hình. Đường kính thân cây phát triển từ 10,2 mm lên 14,5 - 16,6 mm. Số lượng chồi mới phát triển rất tốt với số lượng từ 3 đến 7 chồi. Chiều cao cỏ voi phát triển đạt 367 - 385 cm. Sinh khối tươi của cỏ voi bình quân từ 15 - 16,8 kg/m² ứng với mật độ trồng của nghiên cứu. Điều này chứng tỏ cỏ voi có thể sinh tồn và phát triển tốt trong hệ thống ĐNN nhân tạo mặc dù cỏ voi có tính ưa cạn. Cỏ voi sinh trưởng trưởng tốt trong ĐNN dòng chảy đứng (Xu và cs., 2015). Kết

Tổng coliforms trong nước thải sau xử lý giảm đáng kể. Hiệu suất trung bình của HSSFCW và VFCW đạt từ 99,4% và 99,3%. Tuy nhiên mật số tổng Coliforms trong nước thải sau xử lý vẫn chưa đạt QCVN 14:2008/BTNMT. Nghiên cứu của Zurita và cs., (2009) cho thấy tổng coliforms được loại bỏ đáng kể và VFCW có hiệu suất xử lý tương đối cao hơn HSSFCW. Trong ĐNN nhân tạo dòng chảy ngầm, vi khuẩn được loại bỏ chủ yếu qua lọc cơ học và tương tác sinh học với hệ vi sinh vật sinh trưởng trong lớp vật liệu nền (Shelef và cs., 2013). Bên cạnh đó, thời gian lưu nước trong nền vật liệu, dạng ĐNN nhân tạo, và yếu tố môi trường như điều kiện hiếu khí, kỵ khí, biến động nhiệt độ môi trường cũng tác động đáng kể đến hiệu quả loại bỏ tổng coliform (Vymazal, 2005).

3.3. Sự phát triển của cỏ voi

Sự sinh trưởng và phát triển của cỏ voi trồng trong ĐNN nhân tạo được trình bày trong Bảng 2.

quả nghiên cứu cho thấy chiều cao cỏ voi trong VFCW cao hơn trong HSSFCW. Tương tự như nghiên cứu của Zurita và cs., (2020), thực vật phát triển trong VFCW tốt hơn HSSFCW. Tuy nhiên, khi trồng trong ĐNN nhân tạo thì phải lưu ý mực nước ngập so với nền vật liệu vì cỏ voi không phát triển nếu bị ngập sâu hơn 20 cm (Pincam và cs., 2017). Cỏ voi phát triển tương đối nhanh, do đó cần tiến hành thu hoạch làm thức ăn gia súc sau mỗi 35 - 40 ngày (Nguyễn Xuân Lộc, 2008) để tránh trường hợp xác thực vật gây ô nhiễm lại trong nước thải đầu ra.



Hình 5. Sinh trưởng của cỏ voi sau A) 40 ngày và B) 224 ngày

4. KẾT LUẬN

Mô hình đất ngập nước nhân tạo dòng chảy ngang theo phương ngang và phương đứng có vật liệu nền xỉ than tổ ong và trồng cỏ voi có thể xử lý nước thải sinh hoạt đạt loại A theo QCVN 14:2008/BTNMT cho các chỉ tiêu quan sát, ngoại trừ chỉ tiêu N-NH_4^+ và tổng coliform. Hiệu suất của mô hình HSSFCW cao hơn VFCW đối với khi xử lý BOD_5 : 95,3% > 92,6%; COD: 94,3% > 92,6%; TN: 54,1% > 47,5%; N-NO_3^- : 38,4% > 33,6%; TP: 73,5% > 63,2%; P-PO_4^{3-} : 87,6% > 59,7%, ngoại trừ chỉ tiêu SS: 88,7% < 92,4%. Cỏ voi sinh trưởng và phát triển bình thường trong điều kiện thí nghiệm của nghiên cứu này. Qua kết quả nghiên cứu cho thấy rằng xỉ than tổ ong có thể sử dụng lại làm chất nền trong ĐNN nhân tạo bên cạnh các vật liệu khác như cát, sỏi,... nhằm góp phần giảm thiểu ô nhiễm nguồn nước. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu cũng cho thấy cỏ voi cũng là một loài thực vật có tiềm năng trồng được trong ĐNN nhân tạo.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Dự án Nâng cấp Trường Đại học Cần Thơ VN14-P6 bằng nguồn vốn vay ODA từ Chính phủ Nhật Bản.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tài liệu tiếng Việt

Kim Lavane, Tôn Nữ Nhật Minh, Dương Thị Cẩm Thu, Nguyễn Thị Trúc Lê, Nguyễn Thị Cẩm Ngân (2018). Tái sử dụng xỉ than tổ ong làm vật liệu đệm trong hệ thống lọc sinh học để xử lý

nước thải sinh hoạt hộ gia đình. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ nông nghiệp*, 2(2), 693-704.

Lê Hoàng Việt, Lê Thị Chúc Ly, Cao Thị Kim Ngọc, Nguyễn Võ Châu Ngân. 2017. Sử dụng đất ngập nước xử lý nước thải sinh hoạt và tạo cảnh quan. *Tạp chí Khoa học: Khoa học tự nhiên và công nghệ*, 14(3), 162-175.

Nguyễn Anh Vũ (2008). *Ảnh hưởng của khoảng cách và phân đạm đến khả năng sinh trưởng và giá trị dinh dưỡng của cỏ voi (Pennisetum purpureum), cỏ sả (Panisum maximum), cỏ Ruzi (Brachiaria ruziziensis) và cỏ Lông tây (Brachiaria mutica)*. Luận văn Thạc sỹ, Đại học Cần Thơ.

Nguyễn Xuân Lộc (2008). *Hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt của Diên thanh, Lúa, Thấu dậu, Sậy và Cỏ voi*. Luận văn thạc sỹ, Đại học Cần Thơ.

2. Tài liệu tiếng nước ngoài

Abdelhakeem, S. G., Aboulroos, S. A., & Kamel, M. M. (2016). Performance of a vertical subsurface flow constructed wetland under different operational conditions. *Journal of Advanced Research*, 7(5), 803-814.

Ahmedi F., Pelivanoski, P. (2011). Sand, Gravel, Clay, and Coal Combustion Byproducts used as a Filter Material for Phosphorus Removal in Small Scale On-Site Wastewater Systems –An Overview. *The 4th International Conference on Environmental and Geological Science and Engineering*. Barcelona, Spain, September 2011. WSEAS

Calheiros, C. S. C., Rangel, A. O. S. S., & Castro, P. M. L. (2008). Evaluation of different substrates to support the growth of *Typha latifolia* in constructed wetlands treating tannery wastewater over long-term operation. *Bioresource Technology*, 99(15), 6866-6877.

Cano, V., Vich, D. V., Andrade, H. H. B., Salinas, D. T. P., & Nolasco, M. A. (2020). Nitrification

- in multistage horizontal flow treatment wetlands for landfill leachate treatment. *Science of The Total Environment*, 704, 135376.
- Gajewska, M., Skrzypiec, K., Józwiakowski, K., Mucha, Z., Wójcik, W., Karczmarczyk, A., Bugajski, P. (2020). Kinetics of pollutants removal in vertical and horizontal flow constructed wetlands in temperate climate. *Science of The Total Environment*, 718, 137371.
- Ge, S., Xu, Chow, J. C., Watson, J., Sheng, Q., Liu, W., Zhang, J. (2004). Emissions of Air Pollutants from Household Stoves: Honeycomb Coal versus Coal Cake. *Environmental Science & Technology*, 38(17), 4612-4618.
- Haynes, R. J. (2015). Use of Industrial Wastes as Media in Constructed Wetlands and Filter Beds—Prospects for Removal of Phosphate and Metals from Wastewater Streams. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(10), 1041-1103.
- Kadlec, R.H. and Knight, R.L (1996). *Treatment Wetlands*. Lewis Publishers, Boca Raton, 893 p.
- Klomjek, P. (2016). Swine wastewater treatment using vertical subsurface flow constructed wetland planted with Napier grass. *Sustainable Environment Research*, 26(5), 217-223.
- Liu, R., Chi, L., Wang, X., Sui, Y., Wang, Y., & Arandiyani, H. (2018). Review of metal (hydr)oxide and other adsorptive materials for phosphate removal from water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 5269-5286.
- Osman, N. A., Roslan, A. M., Hassan, M. (2020). Potential use of *Pennisetum purpureum* for phytoremediation and bioenergy production: a mini review. *Asia-pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology*, 28(1), 14 - 26.
- Pincam, T., Brix, H., Eller, F., & Jampeetong, A. (2017). Hybrid Napier grass as a candidate species for bio-energy in plant-based water treatment systems: Interactive effects of nitrogen and water depth. *Aquatic Botany*, 138, 82-91.
- Raphael, O. D., Ojo, S. I. A., Ogedengbe, K., Eghobamien, C., Morakinyo, A. O. (2019). Comparison of the performance of horizontal and vertical flow constructed wetland planted with *Rhynchospora corymbosa*. *International Journal of Phytoremediation*, 21(2), 152-159.
- Saeed, T. and G. Sun (2017). Pollutant Removals Employing Unsaturated and Partially Saturated Vertical Flow Wetlands: A Comparative Study. *Chemical Engineering Journal*, 325, 332–341.
- Singh, R. M. (2010). National Policy ecommendations for Promotion of Biobriquette Technology in Nepal. *Technical report*.
- Shelef, O., Gross, A., & Rachmilevitch, S. (2013). Role of Plants in a Constructed Wetland: Current and New Perspectives. *Water*, 5(2), 405-419
- Shuib, N., Davies, W.R., Baskaran, K., Muthukumar, S. (2011). Effluent quality performance of horizontal subsurface flow constructed wetlands using natural zeolite (escott) *International Conference on Environment Science and Engineering*, 8, 19-23.
- Vymazal, J. (2005) *Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment*. *Ecological Engineering*, 25(5), 478-490.
- Worldbank (2013). *Đánh giá hoạt động quản lý nước thải đô thị Việt Nam*. The World Bank, 2013.
- Xu, Q., Huang, Z., Wang, X., Cui, L. (2015). *Pennisetum sinense* Roxb and *Pennisetum purpureum* Schum. as vertical-flow constructed wetland vegetation for removal of N and P from domestic sewage. *Ecological Engineering*, 83, 120-124.
- Yang, Q., Chen, Z. H., Zhao, J. G., & Gu, B. H. (2007). Contaminant Removal of Domestic Wastewater by Constructed Wetlands: Effects of Plant Species. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49(4), 437-446.
- Zhang, D., Gersberg, R. M., Keat, T. S. (2009). Constructed wetlands in China. *Ecological Engineering*, 35, 1367 - 1378.
- Zurita, F., De Anda, J., Belmont, M.A. (2009). Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 35(5), 861-869.