

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ TRỒNG THỦY TRÚC CHO BÃI LỌC NGẦM DÒNG CHẢY NGANG ĐỂ XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT VÙNG VEN ĐÔ PHÍA BẮC VIỆT NAM

Trần Đức Hạ^{a,*}, Vi Thị Mai Hương^b, Trần Thúy Anh^a

^aKhoa Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

^bKhoa Môi trường, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên,
666 đường 3 Tháng 2, phường Tích Lương, Thành phố Thái Nguyên, Việt Nam

Nhận ngày 03/05/2019, Sửa xong 22/05/2019, Chấp nhận đăng 28/05/2019

Tóm tắt

Bãi lọc ngầm dòng chảy ngang (HF) là loại công trình sinh thái khi kết hợp với các công trình khác có thể hình thành được hệ thống xử lý nước thải chi phí thấp, phù hợp với vùng ven đô. Điều kiện khí hậu khu vực phía Bắc thuận lợi cho sự sinh trưởng của Thủy trúc (*Cyperus alternifolius*), một trong những loài thực vật phổ biến trồng trên các bãi lọc ngầm dòng chảy ngang. Nghiên cứu trên mô hình thí nghiệm đặt tại hiện trường và trên công trình HF thực tế thấy rằng Thủy trúc phát triển tốt với tốc độ sinh trưởng lớn. Sự phát triển của nó thúc đẩy sự chuyển hóa các chất hữu cơ (BOD_5) và các chất dinh dưỡng (NH_4 , NO_3 , PO_4) với các hệ số động học phân hủy cao. Hệ số động học k_{BOD} của bãi lọc ngầm HF có trồng Thủy trúc là $0,214 \text{ m.ngày}^{-1}$ cao hơn nhiều so với khuyến cáo của TCVN 7957:2008. Các hệ số k_{NH_4} là $0,05 \div 0,10 \text{ m.ngày}^{-1}$, k_{NO_3} là $0,029 \div 0,059 \text{ m.ngày}^{-1}$ và k_{PO_4} là $0,011 \div 0,081 \text{ m.ngày}^{-1}$. Nước thải sinh hoạt sau khi xử lý qua HF đảm bảo được mức A theo QCVN 14:2008/BTNMT.

Từ khoá: bãi lọc ngầm dòng chảy ngang; Thủy trúc; nước thải sinh hoạt; hệ số động học.

EVALUATING THE EFFICIENCY OF CYPERUS ALTERNIFOLIUS ON HORIZONTAL SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLAND FOR THE DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT IN THE PERI-URBAN AREA OF NORTHERN VIETNAM

Abstract

Horizontal subsurface flow constructed wetland (HFCW) is an ecological work that can treat wastewater in natural condition. Combining HFCW with other ecological wastewater treatment works can create a suitable low-cost treatment system for peri-urban areas. The climatic conditions in the Northern region are favorable for the growth of *Cyperus alternifolius*, one of the commonly planted tree in HFCW worldwide. This research employed a wastewater treatment pilot with HFCW planted *Cyperus alternifolius* and other ecological facilities in a peri-urban area in the North of Vietnam. It was found out that *Cyperus alternifolius* grew well with a high growth rate. The growth of *Cyperus alternifolius* enhanced the conversion of organic substances (BOD_5) and nutrients (NH_4 , NO_3 , PO_4) with high decomposition kinetic coefficients. The kinetic coefficient (k_{BOD}) of HFCW in this research was 0.214 m.d^{-1} , k_{NH_4} , k_{NO_3} and k_{PO_4} were $0.05 \div 0.10$, $0.029 \div 0.059$ and $0.011 \div 0.081 \text{ m.d}^{-1}$, respectively, which are relatively higher than the recommendation of National Design Standard TCVN 7957:2008. Domestic wastewater after being treated through HFCW satisfied level A of National technical regulation on domestic wastewater QCVN 14:2008/BTNMT.

Keywords: horizontal subsurface flow constructed wetland; *Cyperus alternifolius*; domestic wastewater; kinetic coefficients.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(2V\)-07](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(2V)-07) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: hatd@nuce.edu.vn (Hạ, T. Đ.)

1. Giới thiệu chung

Khu vực phía Bắc có khí hậu nhiệt đới gió mùa ẩm quanh năm và chịu ảnh hưởng của gió mùa Đông Bắc và gió mùa Đông Nam. Nhiệt độ tăng dần từ phía bắc xuống phía nam, trung bình hàng năm khoảng 25°C. Thời tiết mùa hè từ tháng 4 đến tháng 10 nóng ẩm và mưa cho tới khi gió mùa nổi lên. Mùa đông từ tháng 11 tới tháng 3 trời lạnh (nhiệt độ từ 15÷26°C), khô, có mưa phùn. Lượng mưa trung bình từ 1,700 đến 2,400 mm, phân bố không đều theo hai mùa mưa và khô rõ rệt [1]. Điều kiện tự nhiên này phù hợp cho việc ứng dụng các công trình sinh thái để xử lý nước thải (XLNT) sinh hoạt. Trong những năm gần đây, cùng với cả nước, tốc độ phát triển kinh tế xã hội khu vực miền núi phía Bắc Việt Nam tăng lên rõ rệt. Các tác động này tạo nên sức ép đối với môi trường cũng như hệ thống hạ tầng kỹ thuật các đô thị trong khu vực. Hệ thống thoát nước (HTTN) và XLNT tập trung không kịp đáp ứng với quá trình đô thị hóa. Vì vậy việc xử lý nước thải phi tập trung cho các vùng ven đô thị là phù hợp và cần thiết [2]. Các công trình sinh thái như công trình đất ngập nước kiến tạo, hồ sinh học, ... rất phù hợp cho các vùng ven đô khu vực phía Bắc. Dạng bãi lọc trồng cây (BLTC) được ứng dụng phổ biến trong XLNT là BLTC ngập nước và bãi lọc chảy ngầm [3, 4]. Tuy nhiên do nước thải được phân phối trong khối vật liệu chất nền tạo nên dòng chảy ngầm và cây trồng phát triển trên mặt đất, bãi lọc ngầm (Submerged Surface Flow -SSF) dạng dòng chảy ngang (Horizontal flow – HF) hạn chế được các yếu tố gây ô nhiễm môi trường thứ cấp như mùi hôi, ruồi nhặng, ... thích hợp để ứng dụng cho khu vực đông dân cư ven đô [3, 4].

Theo Kim và cs. [5] có nhiều loại cây có thể sử dụng để làm sạch môi trường nước đã được tìm thấy ở Việt Nam. Các loài cây này hoàn toàn dễ kiếm tìm ngoài tự nhiên và chúng cũng có sức sống khá mạnh mẽ. Lộc và cs. [6] thấy rằng các các loại cây: Bèo Tai tượng (*Pistia stratiotes* L.), Lục bình (*Eichhorniacrassipes*) và Thủy trúc (*Cyperus alternifolius*) phù hợp để nuôi trồng trên các bãi lọc ngập nước XLNT sinh hoạt khu vực đồng bằng sông Cửu Long Thủy trúc là loài cây phát triển tự nhiên có khả năng chuyển hóa chất hữu cơ và dinh dưỡng cao [7] và là loài cây hợp nước của vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới, có thể tạo cảnh quan sinh thái cho các đô thị, nhất là vùng ven đô. Đây là một loài cây bụi lâu năm, mọc thẳng thành bụi lớn ở những vùng ẩm ướt hoặc đầm lầy, ưa nắng, chịu được bóng râm, có tốc độ sinh trưởng nhanh. Thủy trúc có thể dễ dàng nhân giống với hạt giống hoặc từ một phần của cây. Thủy trúc được trồng rộng rãi làm cây cảnh quan, hàng rào, thu hoạch làm giấy, mũ, túi xách và cũng có thể được sử dụng như một loài thực vật chống xói mòn đất [8]. Thủy trúc được nghiên cứu như một loài thực vật trồng trong các BLTC xử lý các chất ô nhiễm trong nước thải đặc biệt là các chất dinh dưỡng N, P và các kim loại nặng ở nhiều nước trên thế giới như Châu Âu (Ý, Đức), Châu Á (Trung Quốc, Nhật Bản, Việt Nam, ...) [9, 10].

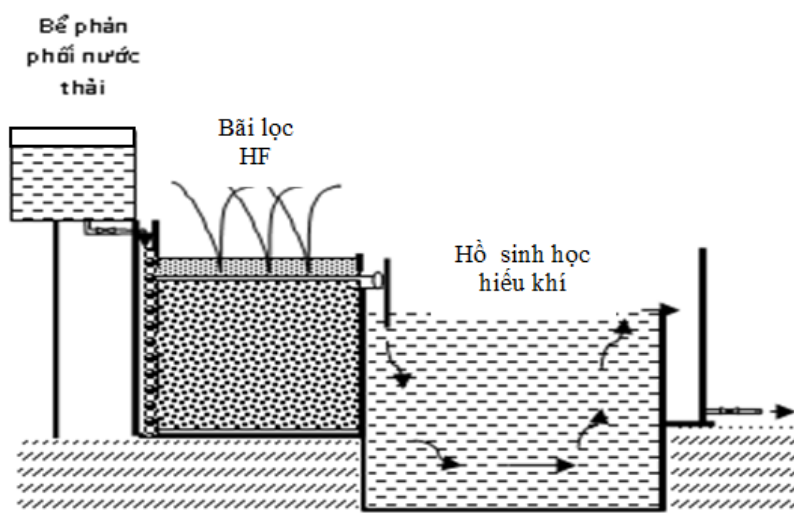
Để đánh giá khả năng sử dụng Thủy trúc cho các bãi lọc ngầm dòng chảy ngang (HF) và hiệu quả XLNT sinh hoạt trong các công trình đó, nội dung nghiên cứu trình bày trong bài báo này tập trung vào:

- Nghiên cứu sự sinh trưởng của Thủy trúc và xác định các hệ số động học phân hủy các chất hữu cơ và dinh dưỡng (BOD₅, N–NH₄, N–NO₃, P–PO₄) trên bãi lọc ngầm dòng chảy ngang (HF) trong hệ thống thử nghiệm kết hợp với các công trình sinh thái khác được lắp đặt tại hiện trường;
- Đánh giá hiệu quả loại bỏ các chất ô nhiễm nêu trên tại bãi lọc HF có trồng Thủy trúc để XLNT sinh hoạt cho một đối tượng ven đô cụ thể khu vực phía Bắc.

2. Mục đích, đối tượng, vật liệu và các phương pháp nghiên cứu

2.1. Nghiên cứu hiệu quả XLNT sinh hoạt trên mô hình thử nghiệm bãi lọc HF có trồng Thủy trúc

Mục đích nghiên cứu trên mô hình thí nghiệm (MHTN) là đánh giá sự phát triển của Thủy trúc trên bãi lọc HF và hiệu quả xử lý các chất ô nhiễm đặc trưng (BOD_5 , $NH_4^+ - N$, $NO_3^- - N$, $PO_4^{3-} - P$) trong nước thải sinh hoạt (NTSH) thông qua các hệ số động học chuyển hóa sinh hóa các chất hữu cơ, các chất dinh dưỡng trong bãi lọc HF có trồng loại cây này. Đối tượng nghiên cứu là BLTC với NTSH sau khi qua bể tự hoại từ hệ thống thoát nước chung của khu dân cư ven đô phường Bách Quang thị xã Sông Công (tỉnh Thái Nguyên), thuộc khu vực Trung du phía Bắc. Sơ đồ mô hình thí nghiệm (MHTN) bãi lọc HF có trồng Thủy trúc được nêu trên Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ MHTN nghiên cứu XLNT sinh hoạt khu dân cư ven đô thị xã Sông Công

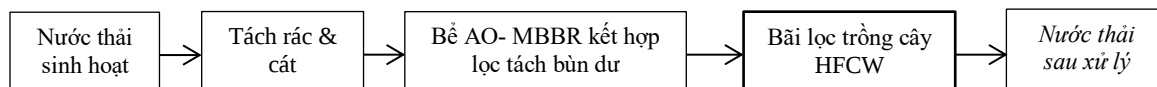
Theo Hình 1, nước thải từ ngăn phân phối qua mô hình HF sau đó về hồ sinh học xử lý triệt để (maturation pond). Kích thước mô hình BLTC được xây dựng theo [11–13] và thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Đặc điểm các loại mô hình bãi lọc nghiên cứu

Thông số	Thứ nguyên	Giá trị
Tải trọng thủy lực, HLR [11]	$m^3/m^2/ngày$	5
Lưu lượng nước thải Q	$m^3/ngày$	0,048
Diện tích bề mặt A_s ($A_s = 100Q/HLR$) [12]	m^2	0,96
Chiều dài bãi lọc	m	1,2
Chiều rộng bãi lọc	m	0,8
Chiều cao của bãi lọc	m	0,75
Chiều cao lớp nước trên bề mặt	m	0
Chiều cao lớp cát (cát lọc $\phi = 1 \div 2$ mm) [12]	m	0,15
Chiều cao lớp vật liệu lọc (Sỏi lọc $\phi = 2 \div 3$ cm) [12]	m	0,6
HRT trong bãi lọc t ($t = V/Q = A_s \times y \times n/Q$ [12])	ngày	4,57

2.2. Nghiên cứu hiệu quả XLNT sinh hoạt trên bãi lọc trồng thủy trúc

Mục đích của nghiên cứu này là đánh giá hiệu quả XLNT sinh hoạt theo các chỉ tiêu đặc trưng là BOD₅, NH₄–N, TN và PO₄–P qua bãi lọc HF cụ thể có trồng Thủy trúc. Đối tượng nghiên cứu được lựa chọn là BLTC loại HF dùng để XLNT sinh hoạt khu ký túc xá sinh viên Học viện Nông nghiệp Việt Nam tại thị trấn Trâu Quỳ (huyện Gia Lâm, thành phố Hà Nội). Vị trí công trình HF trồng Thủy trúc trên sơ đồ dây chuyền công nghệ XLNT nêu trên Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ dây chuyền công nghệ XLNT sinh hoạt Học viện Nông nghiệp Việt Nam

NTSH sau khi qua bể tự hoại và tiền xử lý bằng công trình tách rác và lắng cát kết hợp, được xử lý sinh học bằng công trình AO- MBBR trước khi đưa về BLTC loại HF với lưu lượng từ 25÷30 m³/ngày. Kích thước của HF được tính toán và xác định theo điều 8.11.8 của TCVN 7957:2008 [14] với các giá trị như sau: $L \times B \times H = 10,6 \times 3,8 \times 1,2$ m, độ dốc $i = 0,5\%$. Vật liệu bãi lọc bao gồm: khối sỏi $\phi 30 \div 50$ mm để phân phối ở đầu và thu nước cuối bãi, vật liệu nền là loại sỏi $\phi 8 \div 10$ mm ở vùng giữa công trình.

2.3. Cây trồng trên bãi lọc

Cây trồng là Thủy trúc (*Cyperus alternifolius*) thuộc họ cói (*Cyperaceae*), thân thảo, rễ chùm dạng sợi dày, mọc thành từng cụm, lá tiêu, giảm thành bẹ ở các gốc. Thân cây trên mặt đất với cấu trúc lõi rỗng và không phân nhánh, hoa lưỡng tính; lá không cánh, dài 10–30 cm màu xanh nhạt đến nâu nhạt. Cây thường cao từ 0,5–1,5 m.

Thủy trúc thu về tiến hành cắt ngang phần thân cây, vị trí cắt cách gốc 40 cm. Tách bụi và cắt đều rễ, mỗi bụi khoảng 10 thân và đem trồng trực tiếp vào bể thí nghiệm. Cây trồng cách nhau 20 cm theo cả chiều dọc và chiều ngang. Để cây thích nghi dần với môi trường nước thải có nồng độ ô nhiễm thấp cho đến lúc Thủy trúc sống tốt và mọc chồi.

2.4. Các phương pháp phân tích và tính toán

- Xác định sinh khối khô của thực vật: Thực vật sau khi thu hoạch được vận chuyển đến phòng thí nghiệm, cân trọng lượng trước khi sấy, sau đó cắt nhỏ thành những đoạn dài khoảng 20÷30 cm, sấy khô đến khối lượng không đổi ở 103°C÷105°C, để nguội trong bình hút ẩm và cân lại trọng lượng khô sau khi sấy. Chênh lệch trọng lượng tươi và trọng lượng khô là độ ẩm của sinh khối. Chênh lệch sinh khối khô ban đầu (trước khi trồng) và khi thu hoạch là độ tăng sinh khối của cây trên BLTC.

- Các thông số chất lượng nước như BOD₅, NH₄⁺–N, NO₃[–]–N, PO₄^{3–}P, ... được phân tích trong phòng thí nghiệm của trường Đại học Xây dựng theo các phương pháp chuẩn như: TCVN 6001-1995 (ISO 5815-1989) - Chất lượng nước - Xác định nhu cầu oxi sinh hoá sau 5 ngày (BOD₅) - phương pháp cấy và pha loãng, TCVN 5988-1995 (ISO 5664-1984) - Chất lượng nước - Xác định amoni - Phương pháp chưng cất và chuẩn độ, TCVN 6180-1996 (ISO 7890-3-1988) - Chất lượng nước - Xác định nitrat - Phương pháp trắc phổ dùng axit sunfosalixylic, TCVN 6638:2000 Chất lượng nước - Xác định nitơ - Vô cơ hóa xúc tác sau khi khử bằng hợp kim Devarda, TCVN 6494-1999 - Chất lượng nước - Xác định các ion Orthophosphat bằng sắc ký lỏng ion, ...

- Xác định các hệ số động học: Để xác định các hệ số động học phân hủy các chất ô nhiễm trong bãi lọc có trồng Thủy trúc, coi bãi lọc như là các bể phản ứng sinh học bám dính với mô hình dòng chảy

phản ứng bậc 1 cho tất cả các chất ô nhiễm, trong đó có BOD₅, TN, NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻, ... Hằng số tốc độ phản ứng bậc 1 ít nhạy cảm với những điều kiện khí hậu thay đổi và không phụ thuộc vào nhiệt độ [15].

$$\ln\left(\frac{X_e - X^*}{X_i - X^*}\right) = \frac{-k}{q} \quad (1)$$

$$\ln\left(\frac{X_i - X^*}{X_e - X^*}\right) = \frac{k}{q} \quad (2)$$

$$q = Q/A_s \quad (3)$$

trong đó A_s là diện tích xử lý của BLTC (m²); k là hằng số tốc độ phản ứng bậc 1 (m/ngày); q là tải trọng thủy lực (m³/m².ngày hoặc m/ngày); Q là lưu lượng trung bình qua bãi lọc (m³/ngày); X_e là nồng độ chất ô nhiễm ở dòng ra (mg/L); X_i là nồng độ chất ô nhiễm ở dòng vào (mg/L); X^* là nồng độ nền của chất ô nhiễm, mg/L, có thể xác định theo điều 8.11.8 của TCVN 7957:2008 [14] như sau:

$$X^* = 3,5 + 0,053X_i \quad (4)$$

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả theo dõi sự phát triển của cây thủy trúc trên mô hình thí nghiệm

Thủy trúc bắt đầu được trồng vào bãi lọc HF từ ngày 4/10/2015, sinh trưởng nhanh từ khoảng tháng 12/2015 với nhiều chồi non mới mọc thêm. Trong thời gian nghiên cứu từ tháng 10/2015 đến tháng 5/2016 chỉ tiến hành thu hoạch sinh khối hai đợt vào 28/2/2016 và 20/3/2016. Kết quả theo dõi sự phát triển của Thủy trúc tại MHTN bãi lọc HF trong thời gian nghiên cứu được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả theo dõi sự phát triển của Thủy trúc trong thời gian thí nghiệm

STT	Ngày thu hoạch	Tổng sinh khối tươi (g)	Tổng sinh khối khô (g)	Chiều cao cây (m)	
				Trung bình	Cao nhất
1	28/2/2016	4.400	867,68	1,28	1,45
2	20/3/2016	7.250	1.429,7	1,6	1,8
	Tổng	11.650	2.297,38		

Cây có tốc độ phát triển nhanh, non lâu. Độ ẩm trung bình của cây là 80,28%. Tổng lượng sinh khối thu được là 2.297,38 g. Chiều cao trung bình của cây ở hai đợt thu hoạch tương ứng là 1,28 m và 1,6 m. Chiều cao tối đa của cây ở hai đợt này là 1,45 m và 1,8 m. Như vậy, Thủy trúc đã thích nghi và phát triển rất tốt trong môi trường bãi lọc HF.

3.2. Xác định hệ số phân hủy các chất ô nhiễm đặc trưng trong nước thải sinh hoạt của BLTC trên MHTN

Trên cơ sở số liệu thu được từ các đợt thí nghiệm, dựa vào phương trình (1) và (2), sử dụng phương pháp nội suy, xây dựng được phương trình động học và xác định hệ số phân hủy các chất ô nhiễm đặc trưng trong NTSH của BLTC trên MHTN. Thí nghiệm được tiến hành sau khi Thủy trúc phát triển ổn định trên bãi lọc với sự thay đổi tải trọng thủy lực HLR (tương ứng thay đổi thời gian lưu

nước trong công trình). Nước thải đưa vào MHTN trong thời gian nghiên cứu có nồng độ các chất ô nhiễm như: BOD_5 là (83 ± 13) mg/L, $NH_4^+ - N$ là $(33,17 \pm 10,71)$ mg/L, $NO_3^- - N$ là $(2,07 \pm 0,70)$ mg/L và $PO_4^{3-} - P$ là $(1,51 \pm 0,98)$ mg/L.

- Hệ số phân hủy chất hữu cơ (k_{BOD}) trong BLTC: Kết quả xác định hệ số phân hủy chất hữu cơ (BOD_5) trong NTSH của các BLTC trên MHTN được tổng hợp trong Bảng 3.

Bảng 3. Hệ số tốc độ phân hủy chất hữu cơ trong NTSH trên MHTN

HLR, $m^3/m^2/ngày$	Tải trọng chất ô nhiễm, kg/ha/ngày	k_{BOD}	
		m/năm	m/ngày
0,050	42,42	31	0,084
0,075	62,54	35	0,095
0,088	72,86	47	0,127
0,100	81,95	55	0,150

Hệ số tốc độ phân hủy chất hữu cơ (k_{BOD}) của bãi lọc có xu hướng tăng dần trong khoảng từ 0,084–0,150 m/ngày khi tăng HLR, đạt cao nhất khi HLR là $0,10 m^3/m^2/ngày$. Giá trị này phù hợp với các kết quả đã công bố về hệ số k_{BOD} trung bình đối với các bãi lọc HF của Kadlec [16], Vymazal và Kröpfelová [17], Trang và cs. [18] với các giá trị tương ứng là 0,101; 0,123; $0,060 \div 0,260$ m/ngày (hay 37; 45 và 22–95 m/năm).

- Hệ số phân hủy $NH_4^+ - N$, $NO_3^- - N$ (k_{NH_4} , k_{NO_3}) ở mô hình BLTC: Kết quả xác định hệ số phân hủy $NH_4^+ - N$, $NO_3^- - N$ trong NTSH trên MHTN được tổng hợp trong Bảng 4 và Bảng 5.

Bảng 4. Hệ số tốc độ phân hủy $NH_4^+ - N$ trong NTSH trên MHTN

HLR, $m^3/m^2/ngày$	Tải trọng chất ô nhiễm, gN/m ² /ngày	k_{NH_4}	
		m/năm	m/ngày
0,050	15,98	17	0,046
0,075	26,85	11	0,029
0,088	29,65	8	0,022
0,100	43,67	7	0,019

Bảng 5. Hệ số tốc độ phân hủy $NO_3^- - N$ trong NTSH của trên MHTN

HLR, $m^3/m^2/ngày$	Tải trọng chất ô nhiễm, gN/m ² /ngày	k_{NO_3}	
		m/năm	m/ngày
0,050	6,35	20	0,055
0,075	11,03	22	0,059
0,088	19,69	11	0,029
0,100	24,30	12	0,033

Hệ số k_{NH_4} của bãi lọc giảm dần khi tăng HLR vào các bãi lọc từ 0,05–0,10 $m^3/m^2/ngày$, dao động trong khoảng từ 0,019–0,046 m/ngày tương ứng. Giá trị này phù hợp với kết quả công bố về

hệ số k_{NH_4} của bãi lọc HF của Vymazal và Kröpfelová [17], Kadlec [16] với các giá trị tương ứng là 0,024 và 0,031 m/ngày (11,4 m/năm). Tuy nhiên kết quả này thấp hơn so kết quả công bố của Kadlec và Knight với giá trị k_{NH_4} là 0,093 m/ngày [15].

- Hệ số chuyển hóa $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ (k_{PO_4}) ở BLTC: Kết quả xác định hệ số chuyển hóa $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ trong NTSH của BLTC trên MHTN được tổng hợp trong Bảng 6.

Bảng 6. Hệ số chuyển hóa $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ trong NTSH của BLTC trên MHTN

HLR, $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{ngày}$	Tải trọng chất ô nhiễm, $\text{gP}/\text{m}^2/\text{ngày}$	k_{PO_4}	
		m/năm	m/ngày
0,050	5,75	11	0,030
0,075	11,63	5	0,013
0,088	21,18	5	0,014
0,100	28,40	4	0,011

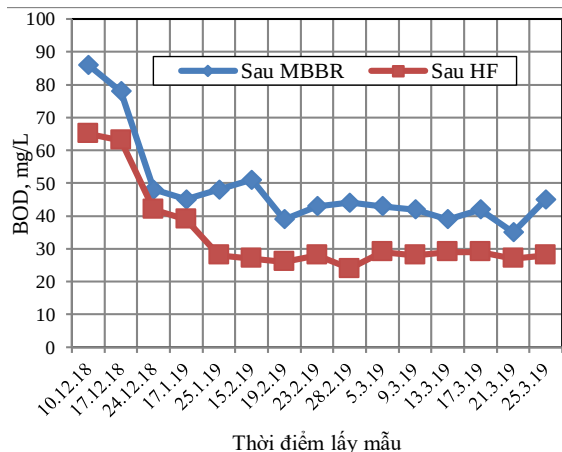
Hệ số k_{PO_4} của bãi lọc giảm dần khi tăng tải trọng thủy lực vào các bãi lọc, dao động trong khoảng từ 0,011–0,081 m/ngày tương ứng. Giá trị này phù hợp với kết quả công bố của Kadlec và Wallace [15, 19] cho vùng Bắc Mỹ; Trang và cs. [18] cho các hệ thống HF ở Đan Mạch; Vymazal [20] cho các hệ thống HF của Czech và Kadlec [16] với các giá trị tương ứng là 0,033; 0,0247; 0,026 và 0,0164 m/ngày. Tuy nhiên, các giá trị này thấp hơn so với công bố của Trang khi xác định hệ số k với TP cho bãi lọc HF xử lý NTSH dao động trong khoảng 41–84 m/năm tương ứng với 0,112–0,230 m/ngày [18]. Đồng thời các giá trị này cũng thấp hơn so với kết quả tổng hợp giá trị k đối với TP của bãi lọc HF đối với mọi loại nước thải nói chung và đối với nước thải đô thị của Vymazal và Kröpfelová [17] với các giá trị tương ứng là 0,065 và 0,035 m/ngày.

3.3. Hiệu quả xử lý nước thải của bãi lọc HF có trồng thủy trúc để xử lý nước thải sinh hoạt Học viện Nông nghiệp Việt Nam

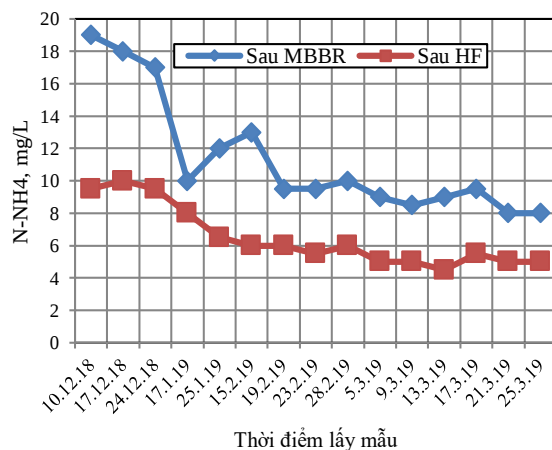
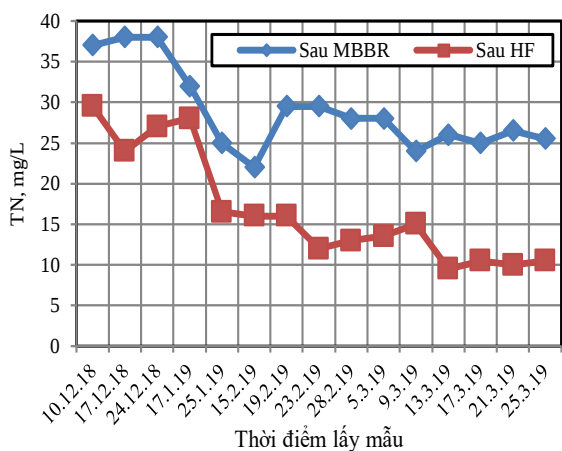
Bãi lọc ngầm dòng chảy ngang để XLNT sinh hoạt Học viện Nông nghiệp Việt Nam được đưa vào hoạt động từ tháng 12 năm 2018. Sau công trình công trình AO-MBBR, nồng độ các chất ô nhiễm của NTSH tương đối cao trong giai đoạn đầu (từ 10/12/2018 đến 25/1/2019) sau đó ổn định ở mức BOD_5 khoảng (38÷42) mg/L, $\text{NH}_4 - \text{N}$ trong khoảng (8÷10) mg/L, TN trong khoảng (25÷28) mg/L và $\text{PO}_4 - \text{P}$ trong khoảng (1,9÷2,2) mg/L. Lưu lượng nước thải cung cấp cho bãi lọc là $20 \text{ m}^3/\text{ngày}$, đảm bảo tải trọng thủy lực (HLR) là $0,625 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{ngày}$. Do đã xử lý sinh học trên hệ thống AO-MBBR nên tải trọng hữu cơ bề mặt của bãi lọc dao động trong khoảng từ 300÷315 kg $\text{BOD}_5/\text{ha}.\text{ngày}$.

Theo dõi định tính sự sinh trưởng của thủy trúc cũng như thay đổi nồng độ các chất ô nhiễm trong nước thải đầu ra thấy rằng chế độ hoạt động của công trình thay đổi theo 2 giai đoạn rõ rệt: giai đoạn đầu Thủy trúc thích nghi với điều kiện bãi trồng và giai đoạn thứ 2 từ 25/1/2019 cây sinh trưởng tốt và ổn định. Hiệu quả XLNT của bãi lọc theo các chỉ tiêu BOD_5 , $\text{NH}_4 - \text{N}$, TN và $\text{PO}_4 - \text{P}$ được nêu trên Hình 3–6.

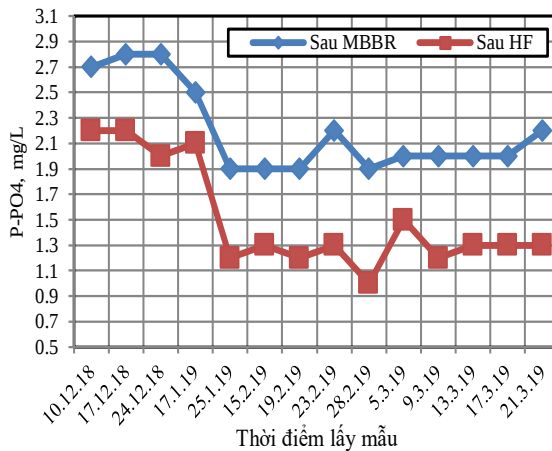
Sau khi công trình hoạt động ổn định, nồng độ BOD_5 của nước thải sau AO-MBBR nằm trong khoảng 38÷42 mg/L và sau HF là 28÷30 mg/L. Hệ số động học k_{BOD} của BLTC tính theo (2) và (4) là 0,214 m/ngày (HLR là $0,625 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{ngày}$). Giá trị này cao hơn giá trị đạt được khi nghiên cứu trên MHTN tại phường Bách Quang (k_{BOD} là 0,150 m/ngày khi BOD_5 trong nước thải đầu vào là 70÷96 mg/L và HLR bằng $0,100 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{ngày}$) do HLR cao hơn trên 4 lần nhưng nồng độ BOD_5 chỉ thấp hơn khoảng 2 lần. Đồng thời hệ số k_{BOD} của công trình thực tế có trồng Thủy trúc này cao hơn nhiều



Hình 3. Hiệu quả xử lý BOD qua bãi lọc HF


Hình 4. Hiệu quả xử lý N-NH₄ qua bãi lọc HF


Hình 5. Hiệu quả xử lý TN qua bãi lọc HF


Hình 6. Hiệu quả xử lý P-PO₄ qua bãi lọc HF

so với khuyến cáo của TCVN 7957:2008 [14] là 0,095 m/ngày đối với bãi lọc ngầm dòng chảy ngang. Như vậy việc trồng Thủy trúc lên bãi lọc đã thúc đẩy mạnh quá trình chuyển hóa các chất hữu cơ trong nước thải.

Tương tự như quá trình phân hủy hữu cơ, các quá trình chuyển hóa nitơ và photpho cũng diễn ra mạnh mẽ trong bãi HF trồng Thủy trúc. Sau khi cây trồng thích nghi và phát triển, đồng thời hệ thống XLNT hoạt động ổn định, hàm lượng amoni (NH₄-N) trong nước thải đầu ra giảm rõ rệt, từ (8÷10) mg/L xuống còn (4,2÷5,8) mg/L. Tổng N cũng giảm từ (25÷28) mg/L xuống còn (10÷14,5) mg/L và photpho (PO₄-P) từ (1,9÷2,2) mg/L xuống còn (1,1÷1,4) mg/L.

Kết quả quan trắc hoạt động của BLTC tại Học viện Nông nghiệp Việt Nam còn cho thấy, ngoài BOD₅, NH₄-N, TN và PO₄-P, các thông số ô nhiễm khác trong nước thải sau khi xử lý đều nằm trong ngưỡng cho phép để xả ra nguồn nước mặt loại A theo QCVN 14:2008/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải sinh hoạt.

4. Kết luận

Bãi lọc ngầm (SSF) dạng dòng chảy ngang (HF) là loại công trình sinh thái khi kết hợp với các công trình khác sẽ tạo được một hệ thống xử lý chi phí thấp, phù hợp để XLNT sinh hoạt phân tán vùng ven các đô thị. Khí hậu khu vực phía Bắc là điều kiện thuận lợi để Thủy trúc (*Cyperus alternifolius*) sinh trưởng tốt. Trồng Thủy trúc trên các BLTC dạng HF thấy rằng, cây phát triển nhanh và tham gia mạnh vào quá trình chuyển hóa các chất ô nhiễm trong nước thải.

Từ kết quả nghiên cứu trên MHTN tại hiện trường xác định được các hệ số động học chuyển hóa các chất hữu cơ (theo BOD₅), các chất dinh dưỡng (NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P) trên bãi lọc HF có trồng Thủy trúc với giá trị tương đối cao, k_{BOD} từ 0,084–0,150 m/ngày khi tăng HLR, k_{NH4} từ 0,05–0,10 m/ngày, k_{NO₃} từ 0,029–0,059 m/ngày và k_{PO₄} từ 0,011–0,081 m/ngày.

Nghiên cứu trên hệ thống XLNT sinh hoạt tại Học viện Nông nghiệp Việt Nam thấy rằng, hệ số động học phân hủy chất hữu cơ k_{BOD} là 0,214 m/ngày, cao hơn nhiều so với khuyến cáo của TCVN 7957:2008 [14]. Các thông số ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt sau khi đạt mức B tiếp tục xử lý trên bãi lọc HF có trồng Thủy trúc sẽ đạt được mức A của QCVN 14:2008/BTNMT- Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải sinh hoạt.

Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Sở Khoa học và Công nghệ Hà Nội cho đề tài “Nghiên cứu giải pháp kỹ thuật tổng hợp để bảo vệ môi trường nước sông nội đô thành phố Hà Nội (mã số 01C-09/01-2016-3)” mà một số kết quả của đề tài thể hiện trong mục 3.3.

Tài liệu tham khảo

- [1] QCVN 02:2008/BXD. *Quy chuẩn xây dựng Việt Nam. Số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng (Phần 1)*.
- [2] Quyết định Số: 589/QĐ-TTg (2016). *Phê duyệt Điều chỉnh Định hướng phát triển thoát nước đô thị và khu công nghiệp Việt Nam đến năm 2025 và tầm nhìn đến năm 2050*. Thủ tướng Chính phủ.
- [3] Hạ, T. Đ., Hương, V. T. M. (2012). Khả năng xử lý nước thải phân tán theo mô hình bãi lọc trồng cây - hồ sinh học cho các đô thị và khu dân cư tỉnh Thái Nguyên. *Tạp chí Môi trường*, (8/2012):53–58.
- [4] Hương, V. T. M., Hạ, T. Đ. (2017). A study on domestic wastewater treatment ability in Bach Quang ward by the hybrid model of stabilisation pond and constructed wetland. In *International Workshop on Environmental & Architectural Design for Sustainable Development*, Đại học Xây dựng, Hà Nội, 73–82.
- [5] Kim, Đ. Đ., Đức, L., Tựa, T. V., Anh, B. T. K., An, Đ. T. (2011). *Xử lý ô nhiễm môi trường bằng thực vật*. Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội.
- [6] 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.
- [7] Mburu, N., Rousseau, D., Bruggen, J., Lens, P. (2015). *Use of macrophyte Cyperus papyrus in wastewater treatment*. Springer International Publishing Switzerland.
- [8] Liao, X., Luo, S., Wu, Y., Wang, Z. (2003). Studies on the abilities of *Vetiveria zizanioides* and *Cyperus alternifolius* for pig farm wastewater treatment. In *International Conference on Vetiver and Exhibition*, Guangzhou, China, 174–181.
- [9] Liao, X., Luo, S., Wu, Y., Wang, Z. (2005). Comparison of nutrient removal ability between *Cyperus alternifolius* and *Vetiveria zizanioides* in constructed wetlands. *The Journal of Applied Ecology*, 16(1): 156–160. (in Chinese).
- [10] Ebrahimi, A., Taheri, E., Ehrampoush, M. H., Nasiri, S., Jalali, F., Soltani, R., Fatehizadeh, A. (2013). Efficiency of constructed wetland vegetated with *Cyperus alternifolius* applied for municipal wastewater treatment. *Journal of Environmental and Public Health*.

- [11] Watson, J. T., Reed, S. C., Kadlec, R. H., Knight, R. L., Whitehouse, A. E. (1989). *Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial and agricultural*. CRC Press.
- [12] Kayombo, S., Mbwette, T. S. A., Katima, J. H. Y., Ladegaard, N., Jrgensen, S. E. (2004). *Waste stabilization ponds and constructed wetlands: design manual*. Dar es Salaam, TZ/Copenhagen, DK: UNEP-IETC/Danida.
- [13] US EPA (2000). *Manual of constructed wetlands treatment of municipal wastewaters*. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio 45268-EPA/625/R-99/010.
- [14] TCVN 7957-2008. *Thoát nước - Mạng lưới và công trình bên ngoài - Tiêu chuẩn thiết kế*.
- [15] Kadlec, R. H., Wallace, S. (1996). *Treatment wetlands*. CRC Press.
- [16] Kadlec, R. H. (2009). [Comparison of free water and horizontal subsurface treatment wetlands](#). *Ecological Engineering*, 35(2):159–174.
- [17] Vymazal, J., Kröpfelová, L. (2008). *Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal subsurface flow*. Springer Science & Business Media.
- [18] Trang, N. T. D., Konnerup, D., Schierup, H.-H., Chiem, N. H., Brix, H. (2010). [Kinetics of pollutant removal from domestic wastewater in a tropical horizontal subsurface flow constructed wetland system: effects of hydraulic loading rate](#). *Ecological Engineering*, 36(4):527–535.
- [19] US EPA (2010). *Manual constructed wetlands treatment of municipal wastewaters*. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio 45268-EPA/625/R-99/010.
- [20] Vymazal, J. (2008). *Constructed wetlands for wastewater treatment: A review*, volume 965. ENKY.o.p.s. and Institute of System Biology and Ecology, Czech Academy of Science, Dukenska 145-379 01 Czech Republic.