

ĐỘNG HỌC QUÁ TRÌNH LOẠI BỎ PHOSPHATE TRONG NƯỚC THẢI SINH HOẠT BẰNG HỆ THỐNG ĐẤT NGẬP NƯỚC KIẾN TẠO CÓ TRỒNG RAU DỆU (*Alternanthera sp.*)

Trần Minh Nhựt¹, Nguyễn Thị Thanh Trà², Nguyễn Hoàng Lâm³,
Trần Thị Ngọc Bích⁴, Ngô Thụy Diễm Trang⁵

KINETICS OF PHOSPHATE REMOVAL FROM DOMESTIC WASTEWATER BY CONSTRUCTED WETLAND WITH JOYWEED (*Alternanthera sp.*)

Tran Minh Nhut¹, Nguyen Thi Thanh Tra², Nguyen Hoang Lam³,
Tran Thi Ngoc Bich⁴, Ngo Thuy Diem Trang⁵

Tóm tắt – Nghiên cứu xác định được động học của quá trình loại bỏ phosphate trong nước thải sinh hoạt thông qua cơ chế xử lý nước thải của hệ thống đất ngập nước kiến tạo có trồng rau dệu (*Alternanthera sp.*). Thí nghiệm được tiến hành theo mẻ với thời gian lưu nước 12 ngày, các nghiệm thức được bố trí để đánh giá ảnh hưởng của độ sâu ngập nước và sự có mặt của rau dệu đến khả năng loại bỏ phosphate trong nước thải. Sau 12 ngày vận hành, tất cả các mô hình thí nghiệm đều giảm nồng độ phosphate trong nước thải đều

vào. Hiệu suất xử lý của các mô hình đạt cao nhất ở ngày thứ 9 trong khoảng 69%. Hai phương trình động học bậc 1 và bậc 2 được sử dụng để xác định xu hướng của quá trình loại bỏ PO_4^{3-} trong hệ thống. Phương trình động học bậc hai phù hợp hơn trong việc xử lý PO_4^{3-} trong nước thải sinh hoạt bằng hệ thống đất ngập nước chảy mặt. Kết quả của nghiên cứu này cho thấy tiềm năng về xử lý nước thải sinh hoạt của *Alternanthera sp.* trong hệ thống đất ngập nước kiến tạo.

Từ khóa: *Alternanthera sp.*, đất ngập nước chảy mặt, mô hình động học, phosphate.

Abstract – This study aims to determine the dynamics of phosphate removal process in domestic wastewater through wastewater treatment mechanism of constructed wetland with Joyweed (*Alternanthera sp.*). The experiment was conducted in batches with a retention time of 12 days, the treatments were designed to evaluate the effect of depth of the water with and

^{1,2}Sinh viên lớp DA17KTMT, Khoa Nông nghiệp – Thủy sản, Trường Đại học Trà Vinh

^{3,4}Khoa Nông nghiệp – Thủy sản, Trường Đại học Trà Vinh

⁵Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

Ngày nhận bài: 04/9/2020; Ngày nhận kết quả bình duyệt: 22/10/2020; Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2020

Email: nhlam@tvu.edu.vn

^{1,2}Students of DA17KTMT, Agriculture and Aquaculture Department, Tra Vinh University

^{3,4}Agriculture and Aquaculture Department, Tra Vinh University

⁵College of Environmental and Natural Resources, Can Tho University

Received date: 04th September 2020; Revised date: 22nd October 2020; Accepted date: 25st December 2020

*without Alternanthera sp. on the ability to remove phosphate in wastewater. After 12 days of operation, all experiments reduced phosphate concentration in the effluent. The highest phosphate removal efficiency is at day 9 (about 69%). Two kinetic equations of first-order and second-order are used to determine the trend of PO_4^{3-} removal process in the system. The second-order kinetic equation is more suitable for treating PO_4^{3-} in domestic wastewater by surface flow constructed wetland system. The results of this study show the potential of domestic wastewater treatment of *Alternanthera sp.* in the constructed wetland.*

Keywords: *Alternanthera sp., constructed wetland, kinetic models, phosphate.*

I. GIỚI THIỆU

Hiện nay, nước thải sinh hoạt tại các khu dân cư tập trung, khu đô thị, vùng ven của các thành phố lớn tại Việt Nam hầu như chưa được xử lý hay mới chỉ được xử lý bằng các hệ thống đơn giản như bể tự hoại, chất lượng nước chưa đạt yêu cầu xả ra ngoài môi trường. Đây là một trong những nguồn gây ô nhiễm môi trường sống, lây lan dịch bệnh [1]. Lân (phosphorus) luôn hiện diện trong nước thải với hàm lượng và tỉ lệ khác nhau giữa các dạng vô cơ, hữu cơ tùy theo loại nước thải và lưu lượng xả thải. Đây là một trong những nguyên tố cần thiết cho sự sinh trưởng và phát triển của sinh vật hữu sinh [2]. Tuy nhiên, đây cũng là một yếu tố quan trọng gây nên hiện tượng phú dưỡng trong các thủy vực nếu nước thải được xả vào các nguồn tiếp nhận tự nhiên mà không được kiểm soát chặt chẽ, tạo điều kiện cho các loài tảo phát triển mạnh [3], [4]. Hiện tượng này

sẽ làm tảo phát triển mạnh, sau đó chết đi sẽ phóng thích các độc tố làm ảnh hưởng đến đời sống của thủy sinh vật, gây ra hiện tượng ô nhiễm các kênh rạch [5].

Hiện nay, nhiều phương pháp được sử dụng để loại bỏ ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt như bể phản ứng theo mẻ (Sequencing Batch Reactor – SBR) [6], tảo [7], đất ngập nước [8]. Trong số đó, đất ngập nước kiến tạo (ĐNNKT) được sử dụng nhiều trong xử lý nước thải vì nhiều yếu tố như chi phí thấp, tiêu thụ năng lượng ít, nhu cầu bảo trì thấp, giảm phát thải khí nhà kính và tăng môi trường sống cho sinh vật [9]. Những lợi ích trên là bằng chứng cho thấy việc áp dụng ĐNNKT để xử lý nước thải sinh hoạt là phương án hoàn toàn khả thi.

II. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

Trương Hoàng Đan và Bùi Trường Thọ [10] đã thực hiện nghiên cứu về việc sử dụng các kiểu ĐNNKT để xử lý nước thải sinh hoạt bằng các loại thực vật khác nhau như môn nước (*Colocasia esculenta*), lục bình (*Eichhornia crassipes*), mồm mĩ (*Hymenachne acutigluma*). Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu cũng cho thấy các yếu tố đã ảnh hưởng đến các quá trình và cơ chế loại bỏ chất ô nhiễm trong nước thải của hệ thống ĐNNKT như loại hệ thống đất ngập nước và chế độ sục khí [11], lưu lượng nạp [12]. Những nghiên cứu trước đây cho thấy, rau dệu (*Alternanthera sp.*) là một loài thực vật thủy sinh có khả năng tăng sinh khối rất nhanh [13], [14] và có tiềm năng trong việc xử lý kim loại nặng trong nước thải [15]. Tuy nhiên, chúng ta vẫn chưa có nhiều nghiên cứu về khả năng xử lý chất ô nhiễm hữu cơ của *Alternanthera sp.* trong nước thải

sinh hoạt. Vì vậy, nghiên cứu ứng dụng *Alternanthera* sp. trong hệ thống ĐNNKT để xử lý nước thải sinh hoạt là cần thiết nhằm góp phần vào việc hạn chế ô nhiễm và bảo vệ môi trường nước hướng đến sự phát triển bền vững. Dựa trên cơ sở đó, nghiên cứu này nhằm xác định khả năng, quy trình và ‘động lực học’ của quá trình loại bỏ phosphorus (PO_4^{3-}) trong hệ thống ĐNNKT được vận hành ở các độ sâu mực nước khác nhau với sự có mặt của rau dền (*Alternanthera* sp.).

III. PHƯƠNG PHÁP VÀ PHƯƠNG TIỆN NGHIÊN CỨU

A. Bố trí và vận hành thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm được đặt tại Trại Thực nghiệm, Khoa Nông nghiệp – Thủy sản, Trường Đại học Trà Vinh. Trong khuôn khổ nghiên cứu này, bể được sử dụng bằng thùng xốp, có kích thước 540 x 392 x 460 mm (dài x rộng x cao). Nước thải sinh hoạt sử dụng trong nghiên cứu được thu tại bể thu gom tập trung của hệ thống xử lý nước thải của Kí túc xá Trường Đại học Trà Vinh. Nước thải sinh hoạt trước khi đưa mô hình được cho vào bể lắng khoảng ba giờ. Mô hình được trải một lớp đá (1 x 2 cm) có độ dày 2 – 3 cm nhằm giúp tạo giá bám cho thực vật. Mô hình được vận hành trong 12 ngày nhằm đánh giá khả năng xử lý nước thải của mô hình. Rau dền (*Alternanthera* sp.) được thu tại các ao hồ ở huyện Cầu Ngang, tỉnh Trà Vinh và được dưỡng trong nước thải một tuần để thích nghi. Mô hình bố trí thí nghiệm được mô tả trong Hình 1. Trong suốt quá trình bố trí thí nghiệm, nhiệt độ được giữ ổn định trong khoảng 28 – 30°C bằng vòi phun sương (trong trường hợp nắng nóng).

Các nghiệm thức trong thí nghiệm bao gồm: N20 (nghiệm thức chỉ chứa nước thải, không có thực vật, độ sâu ngập nước 20 cm); N30 (nghiệm thức chỉ chứa nước thải, không có thực vật, độ sâu ngập nước 30 cm); TV20 (nghiệm thức chứa nước thải, được bố trí 250 g *Alternanthera* sp., độ sâu ngập nước 20 cm); TV30 (nghiệm thức chứa nước thải, được bố trí 250 g *Alternanthera* sp., độ sâu ngập nước 30 cm). Mỗi nghiệm thức được lặp lại ba lần và bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên. Mẫu nước được thu ở mỗi nghiệm thức có vị trí 2,5 cm kể từ mặt nước.

B. Thu và phân tích mẫu

Mẫu nước được thu liên tục vào các ngày 1, 3, 6, 9 và 12 ngày sau khi vận hành. Mẫu được trữ lạnh ở 4°C nhằm hạn chế các quá trình chuyển hóa trong mẫu. Chỉ tiêu PO_4^{3-} được phân tích bằng phương pháp acid ascorbic [16].

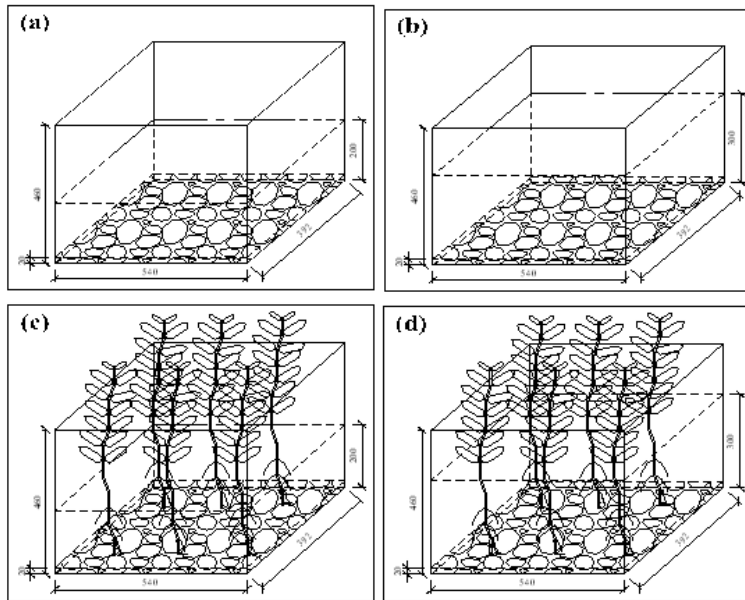
Thực vật được lựa chọn ngẫu nhiên 10 cây trong mỗi nghiệm thức để đánh giá tốc độ tăng trưởng về khối lượng và chiều cao cây trước và sau bố trí thí nghiệm. Rau dền (*Alternanthera* sp.) được để ráo nước trong không khí khoảng 30 phút trước khi cân khối lượng và đo chiều cao cây.

C. Phương pháp xử lý số liệu

Số liệu thu được từ thí nghiệm được tính toán và vẽ biểu đồ bằng phần mềm Microsoft Excel 2016, so sánh thống kê bằng SPSS 16.0.

D. Phân tích mô hình động học

Trong phân tích mô hình động học, hai mô hình được sử dụng là mô hình động



Hình 1: Mô hình các nghiệm thức thí nghiệm

(Ghi chú: (a) N20, (b) N30, (c) TV20, (d) TV30)

học bậc một và mô hình động học bậc hai (mô hình Grove), hai mô hình này cũng đã được Farzadkia et al. [17] sử dụng để đánh giá xu hướng loại bỏ chất ô nhiễm nước thải trong hệ thống đất ngập nước kiến tạo.

1) *Mô hình xử lý chất ô nhiễm theo phương trình động học bậc một:* Giả định rằng, hệ thống ĐNNKT trong nghiên cứu loại bỏ phosphate theo phương trình động học thứ nhất, những thay đổi về tốc độ xử lý được thể hiện bằng công thức (1):

$$-\frac{ds}{dt} = \frac{Q}{V} \times S_i - \frac{Q}{V} \times S_e - k_1 S_e \quad (1)$$

Trong đó, S_i và S_e là nồng độ ban đầu (mg/L) và nồng độ nước thải đầu ra (mg/L), k_1 là hệ số tương quan của phương trình động học bậc một. Trong điều kiện ổn định của bể, quá trình loại bỏ các chất ô nhiễm sẽ hướng về 0 (dS/dt). Do đó, phương trình (1) có thể được viết lại như

sau:

$$\frac{S_i - S_e}{HRT} = k_1 S_e \quad (2)$$

với HRT là thời gian lưu thủy lực (ngày). Do đó, k_1 trở thành hệ số của S_e so với $(S_i - S_e)/HRT$ theo phương trình trên [9], [17].

2) *Mô hình xử lý chất ô nhiễm theo phương trình động học bậc hai (Grove):* Mô hình động học bậc hai của quá trình loại bỏ chất ô nhiễm trong nước thải bằng hệ thống đất ngập nước được biểu thị như sau:

$$\frac{S_i \times HRT}{S_i - S_e} = n \times HRT + m \quad (3)$$

Để đơn giản hóa, có thể thấy rằng $(S_i - S_e)/S_i$ là hiệu suất loại bỏ chất ô nhiễm trong nước thải. Do đó, chúng ta có thể sử dụng tham số E để thay thế và phương trình (3) trở thành:

$$\frac{HRT}{E} = n \times HRT + m \quad (4)$$

Giá trị của m (ngày) và hệ số n có thể được tính toán dựa trên đồ thị của phương trình (3). Với phương trình (4), HRT được tính toán theo ngày [9], [17].

IV. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

A. Diễn biến nồng độ phosphate

Nước thải được thu từ bể thu gom của hệ thống xử lý nước thải tập trung tại Kí túc xá Trường Đại học Trà Vinh, nước thải được đồng nhất trong bể chứa và cho vào từng nghiệm thức nhằm hạn chế sai khác giữa các bể. Diễn biến nồng độ phosphate của các nghiệm thức trong thí nghiệm được trình bày ở Hình 2 (A và B). Nồng độ phosphate trong nước của tất cả các nghiệm thức đều giảm hơn so với nồng độ phosphate ban đầu (5,1 mg/L). Thời điểm lưu tồn nước (HRT) ngày thứ ba mới có sự khác biệt về nồng độ phosphate giữa các nghiệm thức, ngoại trừ giai đoạn 09 ngày HRT. Có thể do thời gian đầu, cây chưa sinh trưởng đủ nhiều để hấp thu nhiều dinh dưỡng trong nước thải, điều này thể hiện rõ ở nồng độ phosphate trong nghiệm thức có thực vật ở 20 và 30 cm độ sâu ngập nước cao hơn nghiệm thức không có thực vật tương ứng. Tuy nhiên, đến giai đoạn ngày thứ 12 vận hành hệ thống, nghiệm thức TV30 có nồng độ phosphate đầu ra là thấp nhất (Hình 2A). Hình 2A và Hình 2B cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa các nghiệm thức có và không có thực vật, đặc biệt là ngày thứ 6, trong cùng một mức độ sâu ngập nước nhưng những nghiệm thức có thực vật (TV20 và TV30) lại có khả năng loại bỏ phosphate cao hơn. Điều đó cho thấy vai trò của cây rau dệu (*Alternanthera* sp.) trong hấp thu phosphate.

Sự tăng trưởng của rau dệu (*Alternanthera* sp.) sau 12 ngày vận hành hệ thống

cho thấy tổng khối lượng tươi của thực vật không thay đổi nhiều so với ban đầu (~250 g). Tuy nhiên, trung bình chiều cao cây của *Alternanthera* sp. có sự tăng nhẹ. Cây ở nghiệm thức TV20 và TV30 lần lượt có chiều cao ban đầu tương ứng là $53,54 \pm 3,75$ cm và $50,85 \pm 3,73$ cm. Sau thời gian thí nghiệm, trung bình chiều cao cây ở hai nghiệm thức trên lần lượt là $56,55 \pm 4,36$ cm và $54,64 \pm 5,31$ cm (sai số được tính toán từ 10 cây ngẫu nhiên trong mỗi nghiệm thức). Sự hấp thu chất ô nhiễm của thực vật giữ vai trò quan trọng trong quá trình xử lý nước thải của hệ thống đất ngập nước, nhưng quá trình này xảy ra không đáng kể đối với chỉ tiêu phosphate. Điều này cũng được minh chứng qua cơ chế loại bỏ PO_4^{3-} trong mô hình đất ngập nước kiến tạo chảy mặt chủ yếu qua con đường lắng đọng [18]. Le Diem Kieu et al. [19] cũng đã chứng minh được PO_4^{3-} chủ yếu được giữ lại qua lớp cơ chất hay trên nền đáy của mô hình ĐNNKT. Riêng Chung et al. [20] đã chỉ ra rằng hiệu suất loại bỏ tổng PO_4^{3-} bằng mô hình ĐNNKT là 52%, trong khi tích lũy P trong thực vật chỉ ở mức 5

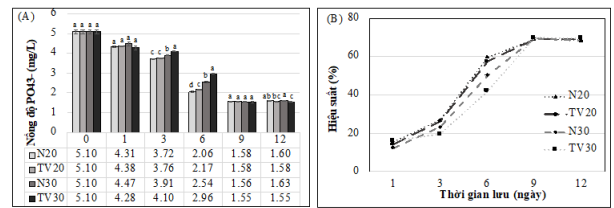
Theo kết quả thực nghiệm, mối liên hệ giữa thời gian lưu (HRT) và hiệu suất loại bỏ PO_4^{3-} được thể hiện ở Hình 2B. Có thể thấy rằng, 06 ngày đầu ở tất cả nghiệm thức, HRT có mối tương quan thuận với hiệu suất loại bỏ phosphate trong nước thải, nếu thời gian lưu càng dài thì hiệu suất loại bỏ phosphate trong nước thải càng tăng. Điều này có thể do kéo dài HRT đã làm tăng thời gian tiếp xúc giữa nước thải với vi sinh vật, thực vật và chất nền. Ngoài ra, sự lắng đọng chất rắn cũng dẫn đến phosphate giảm đi trong nước thải đầu ra [19]. Tuy nhiên, ở ngày thứ 12, khả năng loại bỏ phosphate trong các nghiệm thức không đổi hoặc giảm so với ngày thứ 9,

điều này dẫn đến nồng độ phosphate trong nước thải không giảm theo xu hướng mà tăng trở lại, có nghĩa là quá trình loại bỏ phosphate trong nước thải chủ yếu thông qua quá trình hấp phụ và lắng đọng trên nền đáy. Theo Quan et al. [18], việc hấp phụ là quá trình đảo nghịch, khi nồng độ phosphate trong nước thải thấp, một tỉ lệ nhỏ chất bị hấp phụ sẽ bị khuếch tán trở lại môi trường, do lực tương tác kém, dẫn đến giảm tốc độ loại bỏ chất ô nhiễm. Kết quả phân tích trong nghiên cứu phù hợp với các kết quả nghiên cứu được thực hiện trước đây [21], [22].

Bên cạnh yếu tố thực vật, độ sâu ngập nước cũng là một nhân tố ảnh hưởng đến việc loại bỏ phosphate trong hệ thống đất ngập nước, các nghiệm thức có độ sâu ngập nước 30 cm có khả năng loại bỏ phosphate thấp hơn so với những nghiệm thức chỉ có chiều cao mực nước là 20 cm, bởi vì quá trình lắng đọng là cơ chế chính để loại bỏ phosphate trong nước [22]. Do đó, những nghiệm thức có chiều cao mực nước thấp sẽ dẫn đến quá trình lắng đọng diễn ra nhanh hơn. Bên cạnh đó, không có sự khác biệt ($p < 0,05$) giữa các nghiệm thức có và không có *Alternanthera sp.* với độ sâu ngập nước 20 cm và với độ sâu 30 cm, sự chênh lệch giữa các nghiệm thức này cũng không quá lớn. Ở ngày vận hành thứ 9, các nghiệm thức không có sự khác biệt về nồng độ PO_4^{3-} còn lại trong nước thải (trung bình còn lại khoảng 1,5 mg/L) (Hình 2A).

B. Mô hình động học loại bỏ phosphate trong nước thải bằng hệ thống ĐNNKT chảy mặt có trồng *Alternanthera sp.*

Các mô hình toán học đã được sử dụng để xác định mối quan hệ tương quan giữa

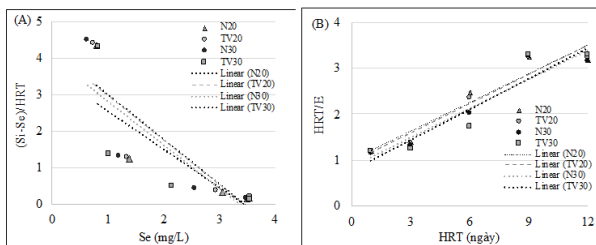


Hình 2: (A) Diễn biến nồng độ PO_4^{3-} và (B) hiệu suất loại bỏ PO_4^{3-} của từng nghiệm thức trong 12 ngày vận hành

(Ghi chú: Trong cùng một ngày, các số có kí tự (a,b,c,d) chỉ sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$) qua phép thử Duncan, giá trị sai số cho ba lần lặp lại của mỗi nghiệm thức.)

các biến trong các thiết kế hệ thống xử lý nước thải trên quy mô phòng thí nghiệm, những mô hình toán học này được sử dụng để dự đoán hiệu quả xử lý của các nghiệm thức. Do đó, việc áp dụng mô hình hóa bằng các phương trình là cần thiết để có thể điều chỉnh và đề xuất các phương án xử lý tốt nhất. Các nhà nghiên cứu có thể thiết kế, cải thiện và vận hành các hệ thống xử lý nước thải theo phương pháp cơ học, hóa học hay sinh học dựa trên việc áp dụng các mô hình đã được điều chỉnh phù hợp với các dữ liệu thực nghiệm [17]. Trong nghiên cứu này, hai mô hình được sử dụng để kiểm tra là mô hình động học bậc 1 và mô hình động học bậc 2 [9]. Hai mô hình này được sử dụng để xác định xu hướng loại bỏ phosphate trong nước thải sinh hoạt trong các hệ thống ĐNNKT chảy mặt có trồng *Alternanthera sp.* ở các độ sâu mực nước khác nhau (Bảng 1). Kết quả phân tích các mô hình của quá trình loại bỏ phosphate từ các nghiệm thức được thể

hiện ở Hình 3A và Hình 3B. Hình 3A cho thấy phương trình loại bỏ PO_4^{3-} của bốn nghiệm thức đã chỉ ra sự tương quan giữa giá trị nồng độ đầu ra và lượng lân được loại bỏ ở các mốc thời gian trong nghiên cứu. Trong khi đó, phương trình động học bậc 2 của bốn nghiệm thức ở Hình 3B cho thấy phương trình hồi quy tuyến tính và hệ số hồi quy R^2 theo thời gian lưu và hiệu suất xử lý của từng ngày. Với kết quả phân tích trên, chúng tôi có thể xác định rằng các nghiệm thức trong nghiên cứu phù hợp với quá trình loại bỏ PO_4^{3-} ở mức chấp nhận. Tuy nhiên, dựa trên hệ số tương quan, chúng tôi có thể khẳng định rằng quá trình loại bỏ PO_4^{3-} trong các nghiệm thức thích hợp với mô hình động học bậc 2, kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Wahyudianto et al. [9].



Hình 3: Phương trình động học loại bỏ phosphate (A) bậc 1 và (B) bậc 2 (Grove) của các nghiệm thức

V. KẾT LUẬN – KIẾN NGHỊ

Hiệu suất xử lý đạt cao nhất ở ngày thứ 9 vận hành hệ thống, đạt 69%. Sự hiện diện của *Alternanthera* sp. giúp loại bỏ phosphate trong nước thải sinh hoạt. Liên quan đến quá trình loại bỏ phosphate trong nước thải bằng hệ thống ĐNNKT chảy mặt, việc áp dụng các mô hình toán học

Bảng 1: Các thông số động học của các phương trình động học loại bỏ phosphate (A) bậc 1 và (B) bậc 2 (Grove)

trong quá trình loại bỏ phosphate				
Phương trình động học bậc 1				
	K_1	R^2	Phương trình tuyến tính	
N20	0,038	0,769	$y = -1,2202x + 4,2255$	
N30	0,037	0,765	$y = -1,2138x + 4,1806$	
TV20	0,039	0,730	$y = -1,1841x + 3,9993$	
TV30	0,036	0,617	$y = -1,0357x + 3,5801$	
Phương trình động học bậc 2				
	n	m	R^2	Phương trình tuyến tính
N20	0,209	0,670	0,907	$y = 0,2090x + 0,9940$
N30	0,214	0,655	0,927	$y = 0,2142x + 0,9375$
TV20	0,214	0,570	0,904	$y = 0,2139x + 0,8458$
TV30	0,226	0,579	0,885	$y = 0,2258x + 0,7493$

có thể giúp ích cho việc xác định tính chất của quá trình xử lý. Kết quả phân tích cho thấy, các nghiệm thức trong nghiên cứu đều phù hợp với phương trình động học bậc 2. Chúng ta cần tiến hành nghiên cứu với mô hình này nhưng với thời gian kéo dài nhằm đánh giá rõ hơn về vai trò của thực vật trong hệ thống và cần đánh giá thêm mức độ tương quan của nồng độ các dạng đạm với các mô hình động học bậc 1 và bậc 2 để có cái nhìn tổng quan hơn về khả năng xử lý của mô hình.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được hỗ trợ kinh phí từ Trường Đại học Trà Vinh theo Hợp đồng số 116/HĐ.HĐKH&ĐT – ĐHTV ngày 04/6/2020.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phạm Khánh Huy, Nguyễn Phạm Hồng Liên, Đỗ Cao Cường, Nguyễn Mai Hoa. Nghiên cứu xử lý nước thải sinh hoạt bằng mô hình hồ thủy sinh nuôi bèo lục bình. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ – Địa chất*. 2012; 40(10):16–22.
- [2] Ngô Thụy Diễm Trang, Triệu Thị Thúy Vi, Lê Nguyễn Anh Duy, Trần Sỹ Nam, Lê Anh Kha, Phạm Việt Nữ. Ảnh hưởng của nhiệt độ nung lên khả năng hấp phụ lân của bột vỏ sò huyết. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 2017; 50(A):77–84. DOI:10.22144/jvn.2017.069.
- [3] Hoang Lam N, Ma H. T, Bashir M. J, Eppe G, Avti P, Nguyen T. T. Removal of phosphate from wastewater using coal slag. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2020; 1–11. DOI: 10.1080/03067319.2019.1708907.
- [4] Le Moal M, Gascuel-Oudou C, Ménesguen A, Souchon Y, Étrillard C, Levain A, Pinay G. Eutrophication: a new wine in an old bottle?. *Science of the Total Environment*. 2019; 651: 1–11.
- [5] Cô Thị Kính, Phạm Việt Nữ, Lê Anh Kha, Lê Văn Chiến. Nghiên cứu hiệu quả xử lý lân trong nước thải chế biến thủy sản bằng đất đỏ bazan trong phòng thí nghiệm. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 2012; 23a:11–19.
- [6] Blackburne R, Yuan Z, Keller J. Demonstration of nitrogen removal via nitrite in a sequencing batch reactor treating domestic wastewater. *Water Research*. 2008; 42(8–9):2166–2176.
- [7] AslanIgi S., Kapdan K. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecological Engineering*. 2006; 28(1):64–70.
- [8] Huang J, Reneau Jr, R. B, Hagedorn C. Nitrogen removal in constructed wetlands employed to treat domestic wastewater. *Water Research*. 2000; 34(9):2582–2588.
- [9] Wahyudianto F. E, Oktavetri N. I, Hariyanto S. Kinetics of Phosphorus Removal from Laundry Wastewater in Constructed Wetlands with *Equisetum hymale*. *Journal of Ecological Engineering*. 2019; 20(6):60–65.
- [10] Trương Hoàng Đan, Bùi Trường Thọ. So sánh đặc điểm mô chuyển khí một số loài thực vật thủy sinh trong môi trường nước ô nhiễm. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 2012; 24a:126–134.
- [11] Nguyễn Thị Thảo Nguyên, Lê Minh Long, Hans Brix, Ngô Thụy Diễm Trang. Khả năng xử lý nước nuôi thủy sản thâm canh bằng hệ thống đất ngập nước kiến tạo. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 2012; 24a:198–205.
- [12] Ngô Thụy Diễm Trang, Hans Brix. Hiệu suất xử lý nước thải sinh hoạt của hệ thống đất ngập nước kiến tạo nền cát vận hành với mức tải nạp thủy lực cao. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 2012; 21b:161–171.
- [13] Sainty G, McCorkelle G, Julien M. Control and spread of Alligator Weed *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb., in Australia: lessons for other regions. *Wetlands Ecology and Management*. 1997; 5(3):195–201.
- [14] Masoodi A, Khan F. A. Invasion of alligator

- weed (*Alternanthera philoxeroides*) in Wular Lake, Kashmir, India. *Aquatic Invasions*. 2012; 7(1):143–146.
- [15] Deng H, Ye Z.H, Wong M.H. Lead and zinc accumulation and tolerance in populations of six wetland plants. *Environmental Pollution*. 2006; 141:69e80.
- [16] American Public Health Association (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21th ed. Washington DC, USA: American Public Health Association; 2012.
- [17] Farzadkia M, Ehrampush M.H, Mehrizi E.A, Sadeghi S, Talebi P, Salehi A, Kermani M. Investigating the efficiency and kinetic coefficients of nutrient removal in the subsurface artificial wetland of the Yazd wastewater treatment plant. *Environmental Health Engineering and Management Journal*. 2015; 2:23–30.
- [18] Quan Quan, Bing Shen, Qian Zhang, Muhammad Aqeel Ashraf. Research on Phosphorus Removal in Artificial Wetlands by Plants and Their Photosynthesis. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2016; 59. DOI: 10.1590/1678-4324-2016160506.
- [19] Le Diem Kieu, Pham Quoc Nguyen, Tran Thi Tuoi, Ngo Thuy Diem Trang. Effects of phosphorus in the wastewater from intensive catfish farming ponds on the growth a phosphorus uptake of *Hymenachne acutigluma* (Stued.). *Academia Journal of Biology*. 2018; 40(4):29–35. DOI: 10.15625/2615-9023/v40n4.13276.
- [20] Chung A K C, Wu Y, Tam N F Y, et al. Nitrogen and phosphate mass balance in a subsurface flow artificial wetland for treating municipal wastewater. *Journal of Ecological Engineering*. 2008; 32(1):81–89.
- [21] Olguín E.J, Sánchez-Galván, G, Melo F.J, Hernández V.J, González-Portela, R.E. Long-term assessment at field scale of Floating Treatment Wetlands for improvement of water quality and provision of ecosystem services in a eutrophic urban pond. *Science of The Total Environment*. 2017; 584-585:561–571. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.072.
- [22] Ghosh D, Gopal B. Effect of hydraulic retention time on the treatment of secondary effluent in a subsurface flow constructed wetland. *Ecological Engineering*. 2010; 36:1044–1051.