

Đánh giá hiệu quả vận hành thích nghi hệ thống đất ngập nước nhân tạo kết hợp pin nhiên liệu vi sinh xử lý nước thải chứa ammonia với tải trọng cao

Đặng Nguyễn Hoàng Đạt^{1,2}, Đoàn Hữu Thùy^{1,2}, Đoàn Văn Tuấn³, Lâm Phạm Thanh Hiền^{1,2}, Trần Thị Phi Oanh^{1,2}, Võ Nguyễn Xuân Quế^{1,2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Khoa Môi trường và Tài nguyên, Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

³Ionpia Việt Nam

Liên hệ

Võ Nguyễn Xuân Quế, Khoa Môi trường và Tài nguyên, Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: vnqxue@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 30-8-2021
- Ngày chấp nhận: 23-11-2021
- Ngày đăng: 26-12-2021

DOI: 10.32508/stdjet.v4iS11.909



Bản quyền

© ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



TÓM TẮT

Những thách thức toàn cầu liên quan đến khủng hoảng nước sạch và năng lượng là động lực thúc đẩy sự phát triển và đưa vào ứng dụng các công nghệ xử lý nước cải tiến, nhằm đáp ứng nhu cầu sử dụng nước sạch và năng lượng. Mô hình đất ngập nước nhân tạo (constructed wetland - CW) đã được nhìn nhận và áp dụng thành công trong xử lý nước thải với chi phí lắp đặt và bảo trì thấp. Ngoài ra, trong những năm gần đây, nghiên cứu ứng dụng pin nhiên liệu vi sinh (microbial fuel cell - MFC) cũng đã có những đột phá đáng kể trong xử lý môi trường. Ý tưởng kết hợp giữa mô hình đất ngập nước dòng ngược (VSF-CW) và MFC là một công nghệ mới có hiệu quả bền vững, mang lại lợi ích kép giúp xử lý nguồn nước thải chứa nitơ đồng thời tận thu nguồn điện năng. Nghiên cứu này bước đầu đánh giá hiệu quả vận hành thích nghi với tải trọng cao (4,2 mg COD/giờ. L; COD:N = 10:1) của mô hình VSF-CW-MFC để xử lý ammonia trong nước thải sinh hoạt. Kết quả thực nghiệm cho thấy mô hình VSF-CW-MFC có khả năng thu hồi điện sinh học và xử lý nước thải sinh hoạt chứa ammonia ở tải trọng cao. Sự hiện diện của thực vật và pH nước thải xấp xỉ 7,0 có thể cải thiện hiệu quả vận hành. Trong đó, hiệu suất xử lý trung bình đối với NH₄⁺ và COD của các mô hình có thực vật với pH nước thải 7,0 lần lượt là 43,4% và 79%.

Từ khóa: đất ngập nước nhân tạo, pin nhiên liệu vi sinh, nước thải sinh hoạt, ammonia, điện sinh học

ĐẶT VẤN ĐỀ

Các mô hình đất ngập nước nhân tạo (CW) được thiết kế nhằm mục đích kiểm soát các quá trình sinh học tự nhiên thường xảy ra trong điều kiện môi trường đất ngập nước nhằm phục vụ cho nhu cầu xử lý nước thải¹. Với ưu điểm tiêu thụ năng lượng thấp, mô hình CW đã được ứng dụng thành công để xử lý nước thải sinh hoạt thứ cấp, nước rỉ rác, nước mưa chảy tràn và nước thải công nghiệp². Một trong những vấn đề mà các nhà nghiên cứu phải đối mặt trong quá trình nghiên cứu mô hình CW là bản chất phức tạp của các quá trình sinh học và sự đa dạng của cộng đồng vi sinh và thực vật ở những điều kiện khí hậu, địa lý khác nhau, vốn có ý nghĩa quan trọng trong ứng dụng xử lý nước thải.

Nhìn chung, CW được chia thành hai loại bao gồm hệ thống dòng chảy ngang (HSF-CW) và hệ thống dòng chảy dọc (VSF-CW). Trong đó, HSF-CW được chia thành loại có dòng chảy bề mặt (SF) và loại có dòng chảy dưới bề mặt (SSF). Trong các mô hình HSF-CW, nước chảy theo chiều ngang từ đầu vào đến đầu ra. Trong khi đó, VSF-CW được cấp nước theo chiều

thẳng đứng qua các đường ống cấp thoát nước dọc chiều cao. Các mô hình đất ngập nước được thiết kế với dòng chảy thẳng đứng (VSF-CW) có tiềm năng lớn hơn so với các hệ thống dòng chảy ngang HSF-CW trong ứng dụng xử lý nước thải với quá trình oxy hóa khử được cải thiện và thời gian lưu nước dài hơn. Những nghiên cứu gần đây cũng chỉ ra tiềm năng ứng dụng trong lĩnh vực môi trường của pin nhiên liệu vi sinh (microbial fuel cell - MFC). Trong ứng dụng xử lý nước thải, MFC giúp thu hồi nguồn năng lượng điện sinh học do vi khuẩn chuyển hóa dư lượng chất hữu cơ và đạm còn lại trong nước thải^{3,4}. Với hiệu quả kết hợp vừa xử lý chất nguồn nước thải vừa tạo ra nguồn điện năng, công nghệ CW kết hợp MFC (CW-MFC) được nhìn nhận là công nghệ bền vững môi trường⁵. Công nghệ MFC truyền thống được cấu thành bởi hai điện cực gồm anode (điện cực dương), cathode (điện cực âm) và tấm phân cách nằm giữa hai điện cực (separator). Hoạt động của hệ thống MFC dựa vào hai nguyên lý chính: i) Các chất hữu cơ hòa tan trong nước thải và các chất vô cơ mang năng lượng (NH₄⁺) được oxy hóa bởi các cộng đồng vi khuẩn điện hóa (electrogens – anode respiring bacteria) trong điều

Trích dẫn bài báo này: Đạt D N H, Thùy D H, Tuấn D V, Hiền L P T, Oanh T T P, Quế V N X. **Đánh giá hiệu quả vận hành thích nghi hệ thống đất ngập nước nhân tạo kết hợp pin nhiên liệu vi sinh xử lý nước thải chứa ammonia với tải trọng cao.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; 4(S11):SI52-SI60.

kiện kỵ khí xung quanh điện cực anode, electrons tự do giải phóng ra bởi quá trình oxy hóa nhờ vi khuẩn được chuyển đến điện cực anode và từ anode theo dây dẫn di chuyển đến điện cực cathode tạo ra dòng điện; ii) Proton (H^+) sinh ra từ quá trình oxy hóa di chuyển trong dung môi đến điện cực cathode để trung hòa ion OH^- sinh ra từ quá trình khử ở điện cực cathode, giúp hệ thống pin nhiên liệu vi sinh hoạt động ổn định^{6,7}.

Sự kết hợp giữa CW và MFC giúp cả hai hệ thống cùng hoạt động hiệu quả dựa trên nguyên lý tận dụng sự chênh lệch thế oxy hóa khử giữa các vùng hiếu khí và kỵ khí của CW để đáp ứng nhu cầu vận hành của hệ thống MFC, từ đó mang lại lợi ích kép giúp xử lý nước thải và tận thu nguồn điện năng hiệu quả hơn⁸. Trong hệ thống kết hợp CW – MFC, lớp đất phía dưới và lớp đất trên bề mặt của CW đóng vai trò như các buồng điện cực tương ứng của MFC. Một nghiên cứu trước đây đã chứng minh rằng hệ thống CW dòng chảy ngược (VSF-CW) có thể loại bỏ 55% NH_4^+ , 50% NO_3^- và 31% tổng nitơ (TN)⁹. Ngoài ra, môi trường tự nhiên trong VSF-CW rất thuận lợi cho việc vận hành MFC. Các vùng hiếu khí và yếm khí riêng biệt và diện tích bề mặt lớn của lớp vật liệu trong VSF-CW có thể hỗ trợ hiệu quả sự hấp phụ của chất trung gian điện tử và sự gắn kết của các vi sinh vật, là điều kiện cần thiết cho việc thu hồi điện bằng hệ thống điện cực của MFC. Nghiên cứu của Wen và cộng sự (2020) cho thấy hiệu suất loại bỏ COD trung bình là 83,19 – 86,28% trong mô hình CW-MFC¹⁰. Ngoài ra, hơn 70% chất hữu cơ đã được loại bỏ trong vùng yếm khí. CW-MFCs với sự hiện diện của thực vật hoạt động hiệu quả hơn CW-MFCs không có thực vật trong xử lý NH_4^+ , NO_3^- và TN. Ví dụ, hiệu suất loại bỏ NH_4^+ đạt trong khoảng 95,91 – 96,82% so với với 56,54 – 59,95% của hệ thống CW-MFCs không trồng cây, trong đó xấp xỉ 33,14 – 55,69% NH_4^+ bị loại bỏ trong vùng yếm khí. Trong suốt quá trình thử nghiệm, điện áp trung bình của CW-MFC có thực vật và không có thực vật là 264 mV và 108 mV với mật độ công suất đỉnh tương ứng $92,05 \text{ mW/m}^{-3}$ và $3,29 \text{ mW/m}^{-3}$.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu trước đây chỉ tập trung ứng dụng hệ sinh thái đất ngập nước mà chưa kết hợp pin nhiên liệu vi sinh trong xử lý nước thải. Trong nghiên cứu này, hệ thống kết hợp VSF-CW-MFC được thiết kế và đánh giá hiệu quả thích nghi bước đầu của hệ thực vật và điện cực lên khả năng xử lý nitơ trong nước thải sinh hoạt ở tải trọng cao. Hiệu suất xử lý nitơ, điện thế pin, hiệu suất dòng điện (coulombic efficiency -CE) và mật độ công suất pin được tính toán để đánh giá hoạt động của hệ thống VSF-CW-MFC về khả năng xử lý và hiệu quả tận thu nguồn điện năng.

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Thiết kế mô hình

Các hệ thống VSF-CW-MFC được làm từ ống nhựa PVC (polyvinyl chlorua), đường kính 20 cm và chiều cao 50 cm, được thiết kế hoạt động theo chế độ dòng chảy từ dưới lên (up-flow mode). Cột vật liệu được cấu thành gồm bốn lớp chính. Lớp dưới cùng là lớp đỡ dày 5 cm gồm sỏi (đường kính trung bình 28 mm) và cát thô. Lớp kế tiếp là khoang anode dày 10 cm bao gồm cát thô và điện cực anode làm từ tấm carbon felt được cố định bằng lưới thép không gỉ. Lớp trung gian (separator) chứa cát thô giúp phân cách khoang anode khỏi cathode với độ dày xấp xỉ 10 cm. Lớp trên cùng dày 10 cm là khoang cathode gồm hỗn hợp cát và đất đỏ bazan (Lâm Đồng) và điện cực cathode có thiết kế tương tự điện cực anode và được khoan lỗ để đảm bảo rễ cây có thể xuyên qua. Khoảng cách giữa các điện cực là 20 cm.

Các cổng lấy mẫu được bố trí dọc theo chiều cao cột PVC, phân bố phía trên và phía dưới các điện cực, cách các điện cực 5 cm (Hình 1). Đầu ra các điện cực được nối với nhau bằng dây kẽm đồng có gắn biến trở được cố định ở 50Ω. Cỏ hồng (*Cenchrus setaceus*) được chọn làm thực vật trồng trong hệ thống. Các cây con được chọn từ bãi sậy tự nhiên (Phước Kiến, Nhà Bè) và trồng thích nghi trong hệ thống VSF-CW-MFC, đảm bảo bộ rễ của cây phát triển hoàn toàn trong khoang cathode. Mỗi hệ thống trồng 8 cây với đường kính thân tương đồng nhau và bổ sung bùn biogas (1,0 lít) thu từ nhà máy xử lý bùn thải Sài Gòn Xanh (Bình Chánh, Hồ Chí Minh). Sau khi lắp đặt hoàn chỉnh, hệ thống được vận hành thích nghi với nước thải nhân tạo với lớp nước bề mặt duy trì độ sâu khoảng 2 cm.

Vận hành mô hình

Các thùng chứa nước (30 lít) bằng nhựa màu chứa nước thải giả lập. Nước thải giả lập được chuẩn bị từ nguồn nước máy, đã lưu trữ trong bốn chứa (500 lít) ít nhất 24 giờ để loại bỏ clo dư có khả năng ảnh hưởng đến cộng đồng vi sinh vật trong mô hình. Các mô hình được vận hành thích nghi với chế độ dòng liên tục với nồng độ COD và nitơ trong nước thải thấp (COD ~ 40 mg/L; COD:N ~ 10:1). Giai đoạn thích nghi được xem là hoàn thành khi số đo điện áp pin đạt mức thích hợp và có độ lặp lại. Sau 45 ngày vận hành thích nghi với tải trọng thấp, nồng độ COD và nitơ trong nước thải được nâng lên (COD ~ 120 mg/L; COD:N ~ 10:1) để đánh giá hiệu quả vận hành thích nghi ở tải trọng cao (4,2 mg COD/giờ. L; COD:N ~ 10:1) trong 28 ngày. pH nước thải được điều chỉnh thay đổi và vận hành trong các mô hình khác nhau



Hình 1: Hệ thống các mô hình CW-MFC vận hành song song

để khảo sát khả năng thích nghi của hệ thống khi vận hành với nước thải thực tế có đặc tính thay đổi liên tục.

Nước thải được bơm vào hệ thống bằng bơm nhu động nhiều kênh, với lưu lượng cố định ở mức 3 - 4 mL/phút. Mỗi điều kiện pH nước thải (6,0; 7,0; 8,0) được vận hành trên hai mô hình có thực vật. Đồng thời, hai mô hình không có thực vật được vận hành song song với nước thải được điều chỉnh ở pH 7,0. Nước thải đầu vào được chuẩn bị mới sau 2-3 ngày vận hành (COD ~ 40 - 120 mg/L; COD:N ~ 10:1). Nước thải tổng hợp được chuẩn bị từ nước máy đã qua lưu trữ có bổ sung các thành phần như glucose (30 - 100 mg/L), NH₄Cl (20-60 mg/L), KH₂PO₄ (5 - 5 mg/L), NaCl (2 - 6 mg/L), MgCl₂ (2 - 6 mg/L), và CaCl₂ (7 - 21 mg/L). Nồng độ đầu vào của NH₄⁺-N và COD trong nước thải tổng hợp đã được chuẩn bị để mô phỏng đặc điểm của nước thải sinh hoạt địa phương được báo cáo trong một nghiên cứu trước đây¹¹. Tỷ lệ COD:N của nước thải 10:1 nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho hiệu quả thu hồi điện, vốn thường bị giới hạn bởi nguồn carbon. Trong suốt giai đoạn thực nghiệm, các mô hình được nối mạch kín giữa anode và cathode.

Mẫu nước được thu sau 3 - 4 ngày vận hành thực nghiệm và phân tích các chỉ tiêu NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, tổng nitơ Kiehdahl (TKN) và COD. NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ được phân tích bằng phương pháp quang phổ hấp thụ UV-VIS¹². COD được phân tích bằng phương pháp hoàn lưu kín với tác nhân oxy hóa K₂Cr₂O₇¹³. TKN được phân tích bằng phương pháp

chưng cất và chuẩn độ¹³. Hiệu suất loại bỏ COD và NH₄⁺ được tính toán để đánh giá hiệu quả vận hành của hệ thống. Mật độ công suất điện (P_v, mW.m⁻²) và hiệu suất coulomb (CE) được tính toán để đánh giá hiệu suất thu hồi điện năng từ pin nhiên liệu vi sinh.

Tính toán và phân tích số liệu

Hiệu suất xử lý của hệ thống khi vận hành chế độ liên tục được tính toán dựa theo công thức sau:

$$\Delta P = \frac{P_{\text{đầu vào}} - P_{\text{đầu ra}}}{P_{\text{đầu vào}}} \times 100\% \quad (1)$$

Trong đó P_{đầu vào} và P_{đầu ra} là COD hoặc NH₄⁺-N của mẫu nước đầu vào và đầu ra của các buồng điện cực hoặc của hệ thống.

Mật độ công suất điện (P_v, mW/m²) và hiệu suất coulomb (CE, %) được tính theo công thức sau¹⁰:

$$P_v = \frac{U^2}{S \times R} \times 10^3 \quad (2)$$

$$CE = \frac{M \times I}{F \times q \times n \times \Delta COD} \times 100 \quad (3)$$

Trong đó U là điện áp đầu ra (V), S là diện tích điện cực anode (m²), R là điện trở ngoài (W), M là khối lượng phân tử của O₂, I là cường độ dòng điện (A), F là hằng số Faraday (96485 C/mol), q là tốc độ dòng (L/s), n là số electron cho bởi 1 mole O₂ (4, mol e⁻/mol), ΔCOD là sự chênh lệch giữa nồng độ COD đầu vào và đầu ra (g/L).

Phân tích thống kê số liệu được thực hiện với phần mềm SPSS (18.0). So sánh về chỉ tiêu chất lượng nước

giữa các mẫu nước và hiệu suất xử lý giữa các buồng điện cực được phân tích thống kê bằng phép kiểm định Mann-Whitney test. Ảnh hưởng của pH và thực vật lên hiệu suất xử lý NH_4^+ và COD được phân tích bằng kiểm định phi tham số Kruskal-Wallis test.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hiệu suất xử lý nitơ

Kết quả khảo sát trong 28 ngày vận hành với tải trọng 4,2 mg COD/giờ. L (COD:N = 10:1) cho thấy nồng độ NH_4^+ trong nước đầu ra giảm sau khi qua các khoang điện cực với tổng hiệu suất xử lý xấp xỉ từ 18% đến 60% ($P < 0,01$; Mann-Whitney test) (Hình 2). Hiệu suất xử lý NH_4^+ cao nhất ghi nhận được từ mô hình với pH nước thải xấp xỉ 7,0 (Hình 2C và Hình 2D; $P < 0,01$; Kruskal-Wallis test). Hiệu suất xử lý NH_4^+ trung bình của các mô hình có cây đạt 31,8%, 28,5% và 43,4% với pH nước thải lần lượt là 6,0, 8,0 và 7,0 (Hình 2A-Hình 2B-Hình 2C). Trong khi đó, hiệu suất xử lý NH_4^+ trung bình của mô hình không có cây với pH nước thải 7,0 đạt 43,1%, không có sự khác biệt đáng kể so với mô hình có cây (Hình 2D; $P > 0,05$; Kruskal-Wallis test). Kết quả so sánh cho thấy phần lớn NH_4^+ được xử lý tại buồng anode, trung bình xấp xỉ 60% so với hiệu suất xử lý sau khi qua buồng cathode ($P < 0,01$ Mann-Whitney test).

Nồng độ NO_2^- trong các mẫu nước thấp hơn nhiều lần so với nồng độ NH_4^+ (dưới 0,25mg/l) (Hình 3). Trong khi đó, nồng độ NO_3^- dưới ngưỡng xác định trong các mẫu nước thu từ các buồng điện cực cho thấy điều kiện môi trường yếm khí chiếm ưu thế trong hệ thống đã cản trở quá trình nitrat hóa diễn ra hoàn toàn. Nồng độ NO_2^- giảm trên 80% sau khi qua buồng anode trong tất cả các mô hình vận hành với pH nước thải khác nhau ($P < 0,001$; Mann-Whitney test). Môi trường yếm khí trong các buồng anode có khả năng xúc tiến quá trình oxy hóa NH_4^+ bởi NO_2^- với vai trò xúc tác của vi khuẩn anammox giải phóng N_2 . Nồng độ NO_2^- tăng nhẹ sau khi qua điện cực cathode ($P > 0,05$; Mann-Whitney test) và tăng đáng kể ở đầu ra đặc biệt với pH nước thải 7,0 ($P < 0,01$; Mann-Whitney test) (Hình 3C và Hình 3D). Nguyên nhân có thể do điều kiện hiếu khí trong lớp đất mặt hình thành nhờ quá trình khuếch tán oxy từ không khí vào lớp nước mặt cùng với sự vận chuyển oxy của thực vật, tạo thuận lợi cho quá trình oxy hóa NH_4^+ thành NO_2^- .

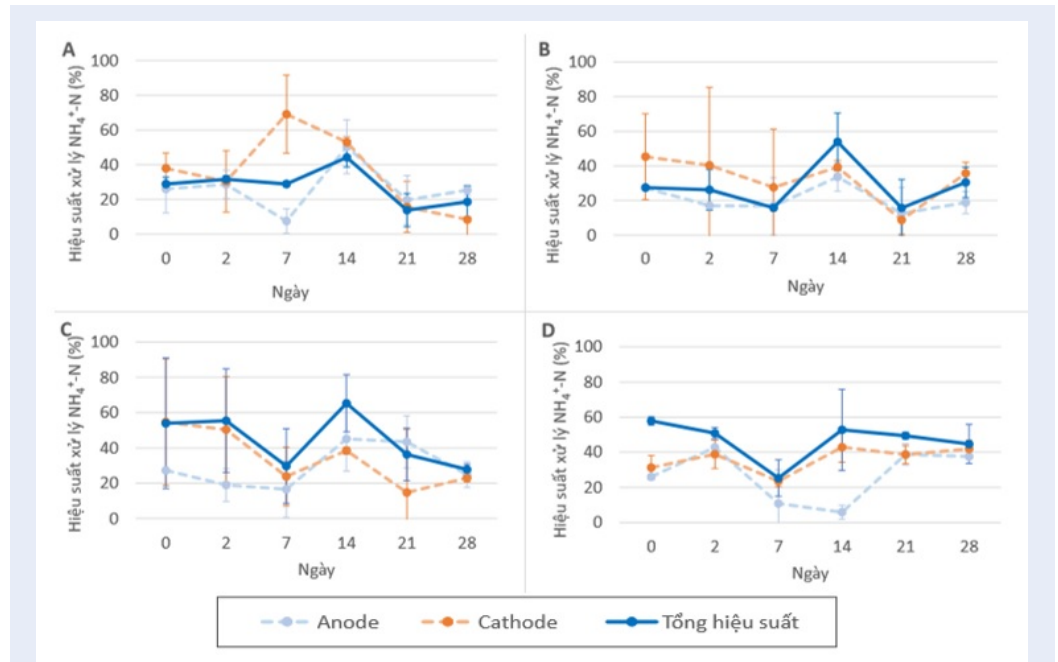
Kết quả phân tích TKN trong điều kiện pH nước thải khác nhau được trình bày trong Hình 4. Nồng độ TKN giảm mạnh nhất với pH nước thải 7,0 trong các mô hình có thực vật (Hình 4A-Hình 4B- Hình 4C; $P < 0,01$; Mann-Whitney test). Trong các mô hình

không có thực vật, nồng độ TKN trong nước đầu ra có giảm so với nước đầu vào (Hình 4D; $P < 0,01$; Mann-Whitney test). Tuy nhiên, vào giai đoạn cuối của quá trình thích nghi, nồng độ TKN trong nước đầu ra của các mô hình không có thực vật xử lý nước thải với pH 7,0 và mô hình có thực vật với pH 8,0 tăng đáng kể. Kết quả này cho thấy có sự tích lũy nitơ do tình trạng quá tải của các hệ thống không có thực vật hoặc điều kiện pH nước thải 8.0.

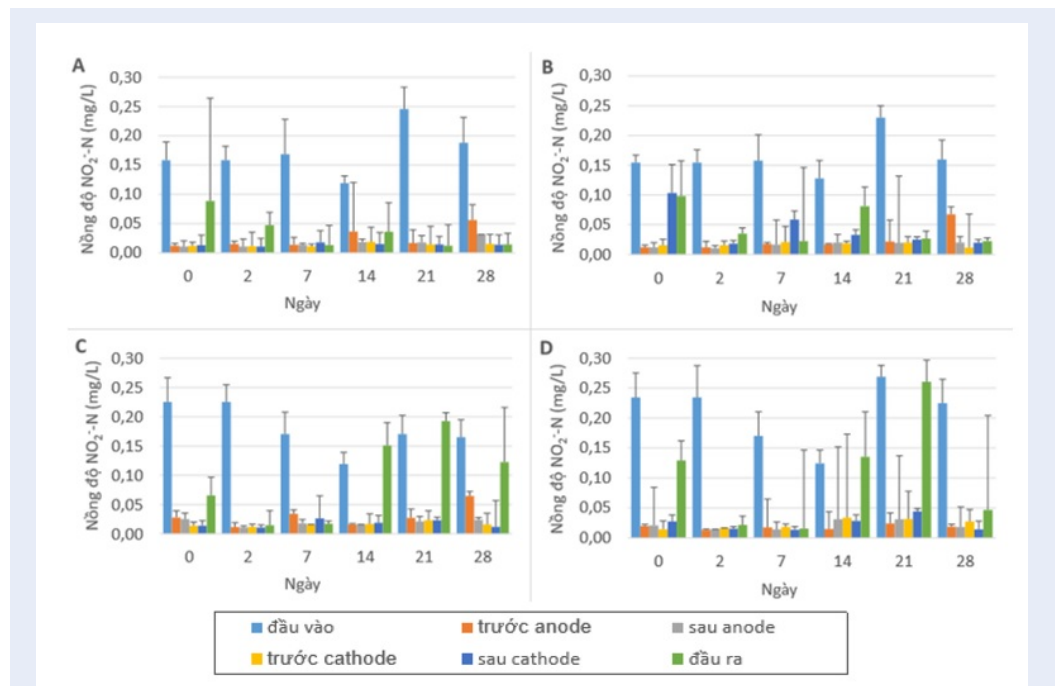
Hiệu suất xử lý COD và khả năng thu hồi điện sinh học

Sự hiện diện của thực vật và sự thay đổi pH nước thải đầu vào không ảnh hưởng đến tổng hiệu suất xử lý COD, trung bình dao động từ 72% đến 81% (Hình 5; $P > 0,05$; Kruskal Wallis test). Nồng độ COD giảm đáng kể sau khi qua buồng anode với trên 60% COD trong nước thải được xử lý ($P < 0,001$; Mann-Whitney test) (Hình 5A-Hình 5B-Hình 5C). Hiệu suất xử lý COD tại buồng anode được ghi nhận cao nhất ở mô hình xử lý nước thải có pH 6,0, trung bình khoảng 73% (Hình 5A). Trong các hệ thống CW, chất hữu cơ cung cấp cho hoạt động vi sinh vật có nguồn gốc chủ yếu là sản phẩm bài tiết từ rễ thực vật và từ nước thải¹⁴. Phần lớn chất hữu cơ trong nước thải được cộng đồng vi sinh điện hóa sử dụng trong quá trình trao đổi chất tại khoang anode chứng tỏ tình trạng thích nghi tốt của hoạt động vi sinh trong các hệ thống thực nghiệm. Hiệu suất thu hồi điện trong hệ thống CW-MFC có thể thay đổi đáng kể giữa các hệ thống có thiết kế khác nhau, được xác định bởi nhiều yếu tố như loài thực vật, vật liệu điện cực, loại nước thải, cơ chất và chế độ vận hành của hệ thống¹⁵. Trong thời gian đầu của quá trình thích nghi, hiệu điện thế đo được đều có giá trị âm (Hình 6A). Nguyên nhân có thể là do sự tiêu thụ oxy ở tầng đất mặt và buồng cathode cho quá trình phân hủy lượng lớn chất hữu cơ có trong bùn bể biogas đã được bổ sung trực tiếp vào lớp đất bề mặt để tăng cường nguồn vi sinh trong mỗi hệ thống.

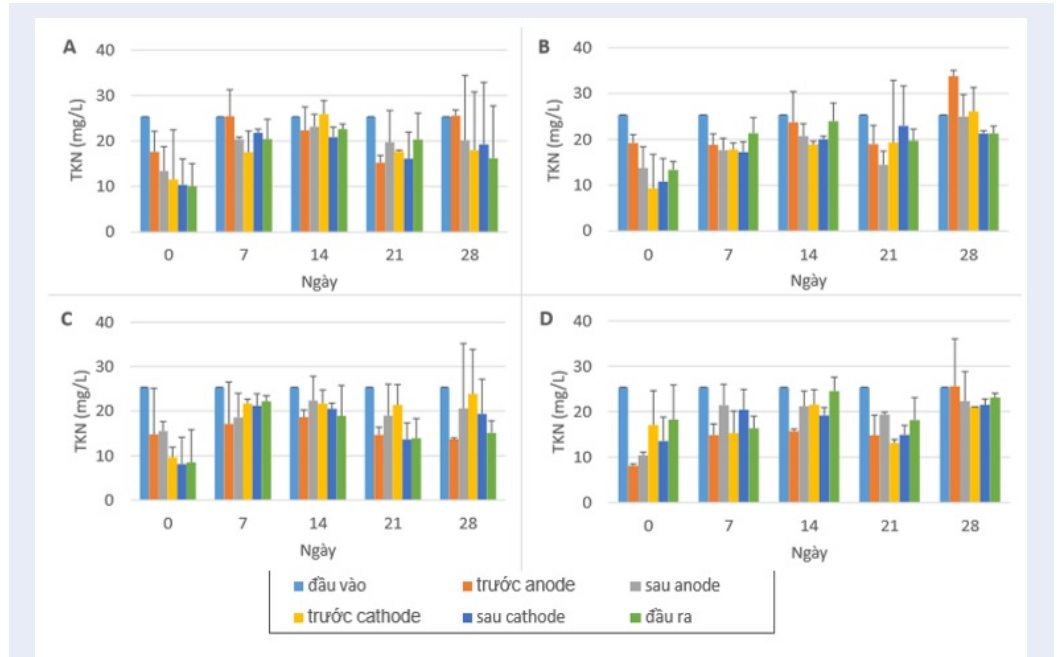
Hiệu điện thế tăng dần và đạt giá trị dương (8mV) sau 15 ngày theo dõi (Hình 6A), đánh dấu sự phát triển điều kiện môi trường thuận lợi cho cộng đồng vi sinh điện hóa thích nghi ở các buồng điện cực. Sự phát triển của cộng đồng vi sinh vật trong điều kiện môi trường thuận lợi của các hệ thống CW-MFC sẽ giúp làm tăng lượng electron và proton trao đổi giữa các điện cực và sinh ra dòng điện¹⁶. Các mô hình xử lý nước thải với pH 6,0 có hiệu điện thế giữa các điện cực cao nhất. Trong khi đó, hiệu điện thế của các hệ thống không có thực vật có xu hướng giảm vào cuối giai đoạn thích nghi với tải trọng cao, có khả năng do tình trạng quá tải đã ghi nhận đối với hiệu suất xử lý NH_4^+ .



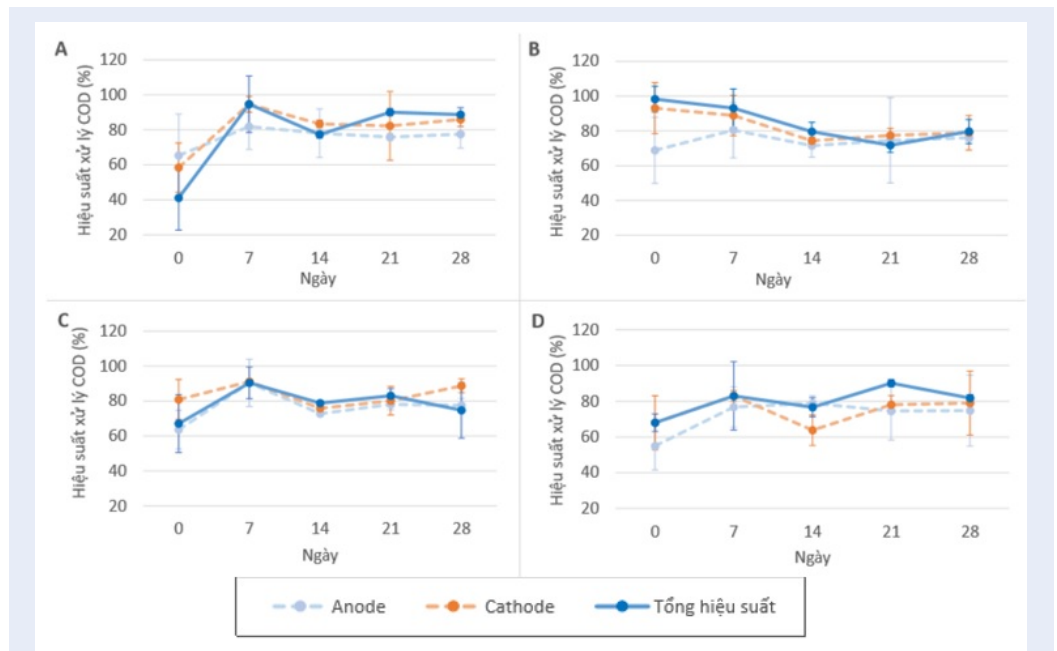
Hình 2: Hiệu suất xử lý NH_4^+ trong điều kiện pH nước thải khác nhau (A) có cây – pH 6,0; (B) có cây – pH 8,0; (C) có cây – pH 7,0; (D) không có cây – pH 7,0



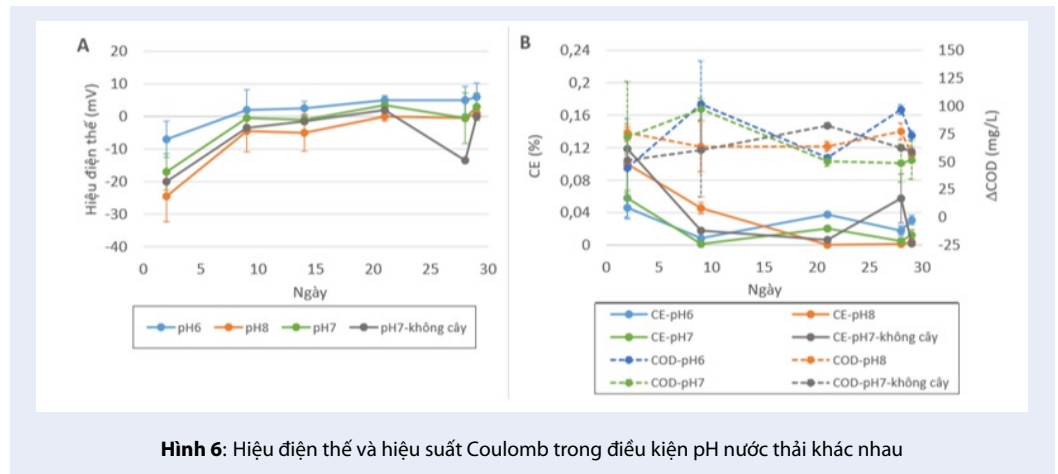
Hình 3: Nồng độ NO_2^- trong điều kiện pH nước thải khác nhau (A) có cây – pH 6,0; (B) có cây – pH 8,0; (C) có cây – pH 7,0; (D) không có cây – pH 7,0



Hình 4: Nồng độ TKN trong điều kiện pH nước thải khác nhau (A) có cây – pH 6,0; (B) có cây – pH 8,0; (C) có cây – pH 7,0; (D) không có cây – pH 7,0



Hình 5: Hiệu suất xử lý COD trong điều kiện pH nước thải khác nhau (A) có cây – pH 6,0; (B) có cây – pH 8,0; (C) có cây – pH 7,0; (D) không có cây – pH 7,0



Hình 6: Hiệu điện thế và hiệu suất Coulomb trong điều kiện pH nước thải khác nhau

Hiệu suất coulomb (CE) cao nhất đạt 0,16% (Hình 6B), thấp hơn so với những nghiên cứu trước¹⁷. Đây là kết quả tất yếu trong các hệ thống pin nhiên liệu mới thích nghi với cộng đồng vi sinh vật chưa phát triển hoàn chỉnh. Thời gian thích nghi của các hệ thống MFC thông thường có thể kéo dài trong vài tháng tùy thuộc vào hàm lượng cơ chất cho và nhận electron, cường độ ion của dung dịch điện li và khả năng thích nghi của vi sinh vật điện hóa¹⁸. Một số phương pháp có thể áp dụng giúp rút ngắn thời gian thích nghi đối với hệ thống MFC trong mô hình CW bao gồm thiết lập trở kháng ngoài thấp hơn, cung cấp bổ sung glucose đối với nước thải có BOD thấp và vận hành với điều kiện sốc tải¹⁹.

Theo công thức (3), hiệu suất CE ảnh hưởng trực tiếp bởi hiệu điện thế, cường độ dòng điện và hiệu suất xử lý COD. Hình 6B cho thấy hiệu suất CE có mối tương quan nghịch với hiệu suất xử lý COD. Một số yếu tố khác như nồng độ chất nhận điện tử và cường độ ion của dung dịch đất đều ảnh hưởng đến hệ số CE trong hệ thống CW-MFC. Mật độ công suất pin tăng dần trong các hệ thống xử lý nước thải với pH 6,0 và 7,0 có thực vật (Hình 7). Nhìn chung, sau 28 ngày vận hành với tải trọng cao (4,2 mg COD/giờ.L; COD:N = 10:1), mật độ công suất điện có thể thu hồi từ các hệ thống CW-MFC vẫn còn thấp so với các hệ thống MFC độc lập đã hoạt động ổn định đã được báo cáo trong các nghiên cứu trước đây²⁰.

KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu bước đầu cho thấy hệ thống VSF-CW-MFC có khả năng thu hồi điện sinh học và xử lý nước thải sinh hoạt với tải trọng cao (4,2 mg COD/giờ. L; COD:N = 10:1). Sự hiện diện của thực vật và nước thải với pH trung tính giúp cải thiện hiệu quả vận hành của hệ thống VSF-CW-MFC đã thiết

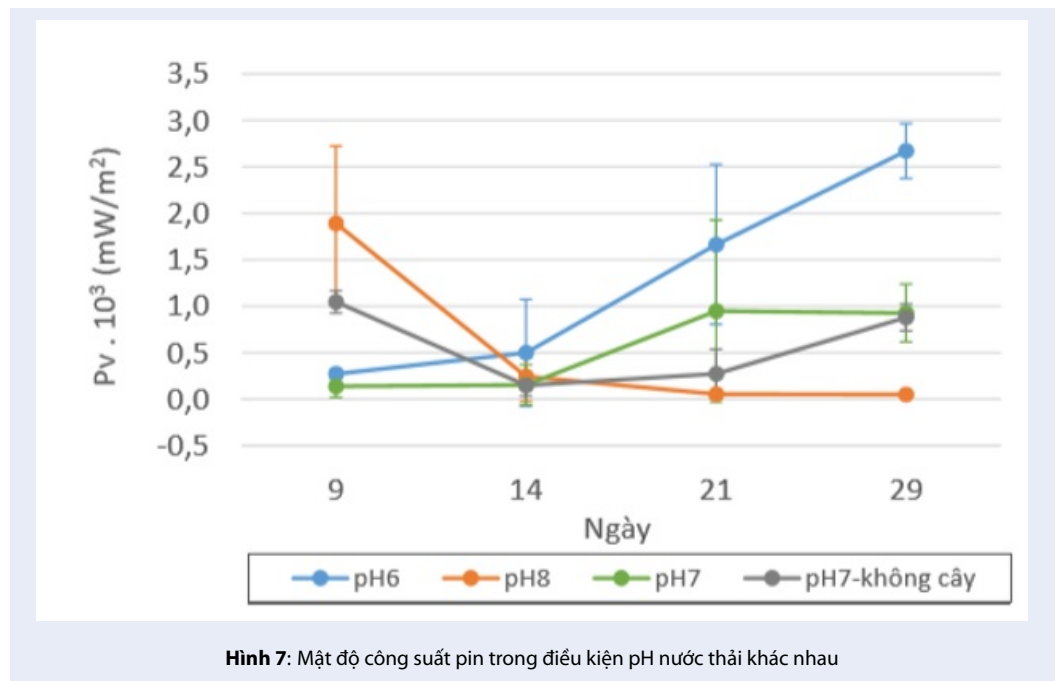
kế. Hiệu suất xử lý NH_4^+ và COD trung bình của các mô hình có thực vật với pH nước thải 7,0 lần lượt là 43,4% và 79%. Nhu cầu tiêu thụ COD cao của vi sinh ở buồng anode cho thấy hiệu suất thu hồi điện sinh học của hệ thống có thể được cải thiện với nước thải có tỷ lệ COD:N cao hơn. Ngoài ra, kết quả phân tích cũng cho thấy cần tối ưu hóa thời gian thích nghi của hệ thống để đảm bảo hiệu quả vận hành ổn định khi xử lý nước thải với tải trọng nitơ cao.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM trong khuôn khổ đề tài mã số To-MTTN-2020-21. Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian và phương tiện vật chất cho nghiên cứu này.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

- CW (constructed wetland): đất ngập nước nhân tạo
- MFC (microbial fuel cell): pin nhiên liệu vi sinh
- VSF-CW (vertical subsurface up-flow constructed wetland): mô hình đất ngập nước dòng ngược
- HSF-CW (horizontal subsurface constructed wetland): mô hình đất ngập nước dòng ngang
- SF (surface flow): dòng chảy bề mặt
- SSF (subsurface flow): dòng chảy dưới bề mặt
- CE (Coulombic efficiency): hiệu suất Coulomb
- PVC (polyvinyl chlorua): nhựa làm từ chất liệu polyvinyl chlorua
- COD (chemical oxygen demand): nhu cầu oxy hóa học
- BOD (biochemical oxygen demand): nhu cầu oxy sinh học
- TKN (total Kjeldahl nitrogen): tổng nitơ hữu cơ và NH_4^+



Hình 7: Mật độ công suất pin trong điều kiện pH nước thải khác nhau

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xin cam đoan không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Đặng Nguyễn Hoàng Đạt và Đoàn Hữu Thùy chịu trách nhiệm viết bài báo.

Đoàn Văn Tuấn tham gia thiết kế mô hình.

Lâm Phạm Thanh Hiền và Trần Thị Phi Oanh tham gia phân tích mẫu và xử lý số liệu.

Võ Nguyễn Xuân Quế chịu trách nhiệm chỉnh sửa bài báo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Vymazal J, Kröpfelová L. A three-stage experimental constructed wetland for treatment of domestic sewage: first 2 years of operation. *Ecol Eng.* 2011 Jan; 37(1):90-98; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.03.004>.
- Kim SH, Cho JS, Park JH, Heo JS, Ok YS, Delaune RD, Seo DC. Long-term performance of vertical-flow and horizontal-flow constructed wetlands as affected by season, N load, and operating stage for treating nitrogen from domestic sewage. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2016 Jan; 23(2):1108-1119; PMID: 26298340. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5214-z>.
- McCarty PL. What is the Best Biological Process for Nitrogen Removal: When and Why? *Environ Sci Tech.* 2018 Mar; 52(7):3835-3841; PMID: 29510030. Available from: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05832>.
- Stanković D. Constructed wetlands for wastewater treatment. *Gradevinar.* 2017 ;
- Logan BE. Essential data and techniques for conducting microbial fuel cell and other types of bioelectrochemical system experiments. *Chem Sus Chem.* 2012 Jun; 5(6):988-994; PMID: 22517564. Available from: <https://doi.org/10.1002/cssc.201100604>.
- Logan BE, Murano C, Scott K, Gray ND, Head IM. Electricity generation from cysteine in a microbial fuel cell. *Water Res.* 2005 Mar; 39(5):942-952; PMID: 15743641. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.11.019>.
- Liu H and Logan BE. Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell in the presence and absence of a proton exchange membrane. *Environ Sci Tech.* 2004 Jun; 38(14): 4040-4046; PMID: 15298217. Available from: <https://doi.org/10.1021/es0499344>.
- Rezaei F, Xing D, Wagner R, Regan JM, Richard TL, Logan BE. Simultaneous cellulose degradation and electricity production by *Enterobacter cloacae* in a microbial fuel cell. *Appl Environ Microbiol.* 2009 Jun; 75(11):3673-3678; PMID: 19346362. Available from: <https://doi.org/10.1128/AEM.02600-08>.
- Fuchs VJ, Gierke JS, Mihelcic JR. Laboratory investigation of ammonium and nitrate removal in vertical-flow regimes in planted and unplanted wetland columns. *J Environ Eng.* 2012 Dec; 138(12):1227-1230; Available from: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000588](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000588).
- Wen H, Zhu H, Yan B, Shutes B, Yu X, Cheng R, Chen X, Wan X. Constructed wetlands integrated with microbial fuel cells for COD and nitrogen removal affected by plant and circuit operation mode. *Environ Sci Pollut Res.* 2021 Jan; 28(3): 3008-3018; PMID: 32897473. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10632-3>.
- Dieu TTM, Mai HNP, Son TK. Domestic wastewater treatment by activated sludge technology: efficiency, energy consumption and waste generation - The case of Binh Hung Wastewater Treatment 16 Plant, Ho Chi Minh City, Vietnam. *Int J Innov Sci Eng Technol.* 2016; 3(6);
- Page AL, Miller RH, Keeney DR. Methods of Soil Analysis. Part 2 - Chemical and Microbiological Properties. In: *Soil Science Society of America. Volume 1159. American Society of Agronomy.* 1982;.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation. Washington DC. 2005;.
- Strik DP, Snel JF, Buisman CJ. Green electricity production with living plants and bacteria in a fuel cell. *Int J Energy Res.*

- 2008 Jan; 32:870-876; Available from: <https://doi.org/10.1002/er.1397>.
15. Saba B, Khan M, Christy A, Kjellerup BV. Microbial phytopowersystems-a sustainable integration of phytoremediation and microbial fuel cells. *Bioelectrochemistry*. 2018 Jun; 127:1-11; PMID: 30614442. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2018.12.005>.
 16. Vymazal J. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. *Hydrobiologia*. 2011 May; 674:133-156; Available from: <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0738-9>.
 17. Doherty L, Zhao YQ, Zhao XH, Hu YS, Hao XD, Xu L, Liu RB. A review of a recently emerged technology: constructed wetland - microbial fuel cells. *Water Res*. 2015 Nov; 85:38-45; PMID: 26295937. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.08.016>.
 18. Sokhee PJ, Soumya P. Chapter 3.1 - Important Factors Influencing Microbial Fuel Cell Performance. In: *Biomass, Biofuels and Biochemicals*. Microbial Electrochemical Technology. Editor(s): Venkata Mohan S, Sunita V, Ashok P. Elsevier. 2019; 377-406; Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64052-9.00015-7>.
 19. Fang Z, Song HL, Cang N, Li X. Electricity production from azo dye wastewater using a microbial fuel cell coupled constructed wetland operating under different operating conditions. *Biosens Bioelectron*. 2015 Jun; 68:135-141; PMID: 25562740. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2014.12.047>.
 20. Kim JR, Min B, Logan BE. Evaluation of procedures to acclimate a microbial fuel cell for electricity production. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2005 Jul; 68, 23-30; PMID: 15647935. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1845-6>.

Acclimation performance of constructed wetland coupled with microbial fuel cell for ammonia treatment of wastewaters at high loading rate

Dang Nguyen Hoang Dat^{1,2}, Doan Huu Thuy^{1,2}, Doan Van Tuan³, Lam Pham Thanh Hien^{1,2},
Tran Thi Phi Oanh^{1,2}, Vo Nguyen Xuan Que^{1,2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Faculty of Environment and Natural Resources, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc District, Ho Chi Minh City, Vietnam

³Ionpia Vietnam

Correspondence

Vo Nguyen Xuan Que, Faculty of Environment and Natural Resources, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc District, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: vnxque@hcmut.edu.vn

History

- Received: 30-8-2021
- Accepted: 23-11-2021
- Published: 26-12-2021

DOI : 10.32508/stdjet.v4iS11.909



Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



ABSTRACT

Global challenges on water and energy crisis have pressurized on water treatment industry to put into practice advanced technologies for ensuring a suitable supply of either water or energy services. Compared with other biological treatment technologies, constructed wetland (CW) is widely considered as an efficient eco-technology for wastewater treatment with the advantages of low cost, simple operation and maintenance. Microbial fuel cell (MFC) technology is the recently emerging approach in environmental engineering. The integration of MFCs within vertical up-flow CW systems (VSF-CW) as a sustainable technology, therefore, could provide dual benefits in nitrogen removal of wastewaters and energy recovery simultaneously. This study has preliminarily evaluated the acclimation performance of VSF-CW-MFC systems at the high loading rate (4.2 mg COD/h.L; COD:N = 10:1) of domestic wastewaters containing ammonia. Results demonstrated the potential of VSF-CW-MFC systems in achieving electricity generation and ammonia removal of domestic wastewaters at the high loading rate. The plant presence and influent pH of 7.0 could improve the performance efficiency. Average removal efficiencies of NH_4^+ and COD in planted microcosms with the influent pH of 7.0 were 43.4% and 79%, respectively.

Key words: constructed wetland, microbial fuel cell, domestic wastewater, ammonia, bioelectricity

Cite this article : Dat D N H, Thuy D H, Tuan D V, Hien L P T, Oanh T T P, Que V N X. **Acclimation performance of constructed wetland coupled with microbial fuel cell for ammonia treatment of wastewaters at high loading rate.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology*; 4(S11):SI52-SI61.