

KHẢ NĂNG XỬ LÝ NƯỚC THẢI SAU BIOGAS CỦA HỆ THỐNG ĐẤT NGẬP NƯỚC KIẾN TẠO

Hồ Bích Liên⁽¹⁾

(1) Trường Đại học Thủ Dầu Một

Ngày nhận bài 06/01/2021; Ngày gửi phản biện 10/01/2021; Chấp nhận đăng 30/02/2021

Liên hệ email: lienhb@tdmu.edu.vn, hobichlien@gmail.com

<https://doi.org/10.37550/tdmu.VJS/2021.02.175>

Tóm tắt

Với mục đích tìm ra một phương pháp xử lý thích hợp để giảm thiểu ô nhiễm môi trường do nước thải chăn nuôi sau biogas gây ra, hệ thống đất ngập nước kiến tạo được xây dựng. Hai hệ thống được thiết lập là hệ thống đất ngập nước kiến tạo dòng chảy ngang và dòng chảy đứng, với ba lần lặp lại. Cả hai hệ thống đều được trồng cây thủy trúc (*Cyperus involucratus*). Nước thải được đưa vào các hệ thống đất ngập nước với tốc độ dòng chảy trung bình là 312ml/ngày. Các chỉ tiêu khảo sát bao gồm COD, BOD₅, SS, N-NH₃; P-PO₄³⁻ được phân tích. Kết quả cho thấy hệ thống đất ngập nước dòng chảy đứng cho hiệu quả xử lý nước thải cao hơn hệ thống đất ngập nước dòng chảy ngang với hiệu suất xử lý trung bình cho COD, BOD₅, SS, N-NH₃; P-PO₄³⁻ lần lượt là 55,2%, 75,3%, 82,3%, 75,9% và 70,1%. Hệ thống đất ngập nước kiến tạo có thể được sử dụng như là một lựa chọn cho việc cải thiện chất lượng nước thải sau biogas.

Từ khóa: Khí sinh học; đất ngập nước kiến tạo, *Cyperus involucratus*

Abstract

POTENTIAL OF CONSTRUCTED WETLANDS FOR WASTEWATER TREATMENT FROM BIOGAS EFFLUENT

The project aimed at finding out an appropriate procedure to reduce environment pollution from breeding wastewater of biogas system which, then can be applied in the constructed wetlands system. Two units of Horizontal Flow Constructed Wetland (HFCW) and Vertical Flow Constructed Wetland (VFCW) were located and set up in two treatments with three replications. Both of these units were planted with *Cyperus involucratus*. Wastewater was fed into the wetland units at a mean flow rate of 312ml/day. Major parameters including COD, BOD₅, SS, N-NH₃; P-PO₄³⁻ were measured. The results indicated that Vertical Flow Constructed Wetland exhibited a higher treatment efficiency than Horizontal Flow Constructed Wetland with the average removal efficiency for COD, BOD, SS, N-NH₃ and P-PO₄³⁻ were 55.2%, 75.3%, 82.3 %, 75.9 % and 70.1 %, respectively. The constructed wetlands can be used as an option for improving the quality of biogas wastewater.

1. Đặt vấn đề

Chăn nuôi ở tỉnh Bình Dương trong những năm gần đây cũng có những bước phát triển lớn, đảm bảo về số lượng và chất lượng. Ngành chăn nuôi cung cấp một lượng lớn thực phẩm thiết yếu cho con người, giải quyết việc làm, tăng thu nhập và cải thiện đời sống cho người dân chăn nuôi. Bên cạnh những lợi ích mà ngành chăn nuôi đem lại cũng có không ít trở ngại. Nuôi heo với số lượng lớn cũng đồng nghĩa với việc thải ra bên ngoài môi trường một lượng lớn chất thải gây ô nhiễm đất, nước và thường xuyên bốc mùi hôi thối khó chịu ảnh hưởng đến chất lượng không khí của các khu vực xung quanh và ảnh hưởng đến cảnh quan thiên nhiên và sức khỏe của con người.

Hiện nay, công nghệ xử lý chất thải chăn nuôi heo được đa số các cơ sở chăn nuôi sử dụng là biogas. Đây được xem là giải pháp thiết thực để phát triển chăn nuôi bền vững. Nguồn năng lượng biogas được dùng để làm chất đốt trong sinh hoạt, vừa tiết kiệm chi phí, kiểm soát được ô nhiễm không khí, nâng cao chất lượng cuộc sống của người dân, vừa hạn chế được phần nào dịch bệnh cho gia súc. Ngoài ra nguồn chất thải từ hầm biogas có thể được tận dụng làm phân bón cho cây trồng phục vụ cho sản xuất nông nghiệp. Tuy nhiên, công nghệ biogas đã thải ra ngoài một lượng nước thải làm ô nhiễm môi trường mà ít ai chú ý đến, cho nên hầu hết các cơ sở chăn nuôi heo đều không có hệ thống xử lý cho loại nước thải này đồng thời nước thải sau xử lý với công nghệ biogas có chất lượng vượt rất xa các giới hạn của quy chuẩn môi trường dành cho nước thải công nghiệp sau xử lý.

So với QCVN 40:2011/BTNMT hàm lượng photpho tổng và nitơ tổng vượt chuẩn loại B lần lượt là 8,4 lần và 7,5 lần. Đây là nguyên nhân làm tăng hiện tượng phú dưỡng hóa khi nước thải chăn nuôi heo sau biogas được thải trực tiếp ra sông, hồ. Nồng độ BOD₅ vượt chuẩn loại B đến 7,6 lần, nồng độ COD vượt chuẩn loại B 4 lần, nồng độ chất rắn lơ lửng vượt chuẩn loại B 3 lần (Hồ Bích Liên, Lê Thị Hiếu, Đoàn Duy Anh, Nguyễn Đỗ Ngọc Diễm, Vương Minh Hải, Lê Thị Diệu Hiền (2016). Mặt khác chất lượng nước thải chăn nuôi heo sau biogas đến nay vẫn chưa được xử lý một cách hiệu quả nên chất lượng nước thải thải ra môi trường bên ngoài vẫn chưa kiểm soát được, ảnh hưởng đến sinh vật thủy sinh, vì vậy cần một công nghệ mới, thiết kế đơn giản, ít tốn chi phí nhưng có hiệu quả để xử lý nước thải sau biogas. Đất ngập nước kiến tạo là các hệ thống được xây dựng dựa theo hệ sinh thái tự nhiên với thảm thực vật và các cơ chế xử lý hóa, lý, sinh (Crites and Tchobanoglous, 1998). Đất ngập nước kiến tạo đã được áp dụng xử lý thành công trên nhiều loại nước thải như nước thải bệnh viện, nước thải sản xuất giấy và bột giấy, nước rỉ rác, nước thải sinh hoạt,... (Jan vymazal, 2010), tuy nhiên trên nước thải sau biogas vẫn chưa được áp dụng. Chính vì những lý do trên mà đề tài ***“Nghiên cứu xử lý nước thải chăn nuôi heo sau biogas bằng công nghệ đất ngập nước kiến tạo”*** là một vấn đề cấp thiết cần phải thực hiện, nhằm tìm ra phương pháp xử lý thích hợp để giảm ô nhiễm môi trường do nước thải chăn nuôi heo gây ra và tăng khả năng ứng dụng công nghệ đất ngập nước kiến tạo trong thực tế.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Thu mẫu nước thải chăn nuôi heo sau biogas

Nước thải chăn nuôi heo sau biogas được lấy tại hai cơ sở chăn nuôi thuộc thị xã Tân Uyên, tỉnh Bình Dương. Nước thải được lấy vào buổi sáng từ 8h-10h, lúc trời không mưa. Phương pháp thu mẫu và bảo quản mẫu được thực hiện theo TCVN 6663-1-2011 (ISO 5667-3-2006) và TCVN 6663-3-2016 (ISO 5667-3-2012).

2.2. Xây dựng hệ thống đất ngập nước xử lý

Đất ngập nước kiến tạo có thể được phân thành nhiều loại khác nhau (Brix, Schierup, 1989), nhưng phổ biến là kiểu dòng chảy ngang và dòng chảy đứng (Seidel, 1955). Hai hệ thống đất ngập nước xử lý xây dựng trong nghiên cứu này gồm hệ thống đất ngập nước (HTĐNN) dòng chảy ngang (nước thải được đưa vào khoang chứa và chảy chậm qua lớp chất nền theo đường nằm ngang cho đến khi đến vùng đầu ra) và HTĐNN dòng chảy thẳng đứng (nước thải được cấp từ phía trên và sau đó thấm dần xuống qua lớp chất nền cho đến vùng đầu ra). Mỗi hệ thống có chiều dài 40cm, rộng 30cm, cao 26m, được thiết kế gồm: Lớp dưới đáy là đá to 4cm x 6cm (dày 5cm); lớp trên là đá nhỏ 1cm x 2cm (dày 3cm); trên cùng được phủ một lớp đất thịt (45% cát, 40% limon và 15% sét, dày 8cm).

Hệ thống đất ngập nước dòng chảy đứng được thiết kế với một ống dây nhựa, trên ống dây gồm 12 lỗ nhỏ, mỗi lỗ có đường kính 1mm để nước có thể chảy ra và thấm xuống các lớp đất đá theo chiều từ trên xuống. Hệ thống đất ngập nước dòng chảy ngang được thiết kế với một tấm thiếc hình chữ nhật 20x28cm, trên tấm thiếc có 12 lỗ tròn với đường kính 1cm, để nước thải có thể dễ dàng chảy qua. Mỗi nghiệm thức tương ứng một hệ thống, trồng 6 cây thủy trúc *Cyperus involucratus* và được lặp lại 3 lần. Cây thủy trúc được lựa chọn là những cây khỏe có chiều cao khoảng 80cm, không sâu bệnh, đồng đều về kích thước và giai đoạn phát triển.

2.3. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm gồm 2 yếu tố được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên và 3 lần lặp lại.



Hình 1. Sơ đồ bố trí thí nghiệm

Yếu tố A: Nồng độ ô nhiễm của nước thải chăn nuôi heo sau biogas: A1: Mức độ ô nhiễm thấp (COD 247mg/l; SS 86mg/l; BOD₅ 40mg/l; P_{PO₄³⁻ 40,3mg/l; N_{NH₃} 15,56mg/l; A2: Mức độ ô nhiễm cao (COD 490mg/l; SS 259mg/l; BOD₅ 68mg/l; P_{PO₄³⁻ 80,6mg/l; N_{NH₃} 30,77mg/l).}}

Yếu tố B: Kiểu dòng chảy: B1: Dòng chảy ngang; B2: Dòng chảy đứng

- Nghiệm thức 1 (NT1): Kiểu dòng chảy ngang và mức ô nhiễm thấp (A1B1);
- Nghiệm thức 2 (NT2): Kiểu dòng chảy đứng và mức ô nhiễm thấp (A1B2);
- Nghiệm thức 3 (NT3): Kiểu dòng chảy ngang và mức ô nhiễm cao (A2B1);
- Nghiệm thức 4 (NT4): Kiểu dòng chảy đứng và mức ô nhiễm cao (A2B2).

2.4. Tiến hành thí nghiệm và phân tích các chỉ tiêu

Cây thủy trúc được dưỡng trực tiếp trong mô hình đất ngập nước kiến tạo trong 15 ngày, mỗi ngày tưới nước 2 lần vào sáng sớm và chiều tối, mỗi lần tưới khoảng 300ml để giữ độ ẩm cho cây. Dưỡng cây cho đến khi cây mọc mầm non ở gốc cây thì tiến hành thí nghiệm. Cho 2 lít nước thải vào bình đựng nước thải đầu vào và điều chỉnh van sao cho lượng nước thải chảy vào trong hệ thống là 312ml/ngày đêm, đồng thời mở van xả đầu ra.

Định kỳ 10 ngày thu nước thải đầu ra đem đi phân tích các chỉ tiêu: COD (mg/l) (Phương pháp đun hồi lưu – trắc quang), SS (mg/l) (đo bằng máy đo AL250), BOD₅ (mg/l) (Phương pháp Winkler), N_{NH₃} (mg/l) (Phương pháp phenat), photpho (mg/l) (Phương pháp axit ascorbic). Thời gian thí nghiệm là 30 ngày.

2.5. Phân tích và xử lý số liệu

Tất cả số liệu chất lượng nước được thu thập và tính giá trị trung bình và độ lệch chuẩn cho từng nghiệm thức. Vẽ đồ thị bằng phần mềm Excel. Đối chiếu với các chỉ tiêu của nước thải đầu vào và so sánh với tiêu chuẩn nước thải công nghiệp (QCVN 40:2011/BTNMT). Tính hiệu suất xử lý và rút ra kết luận.

3. Kết quả và thảo luận

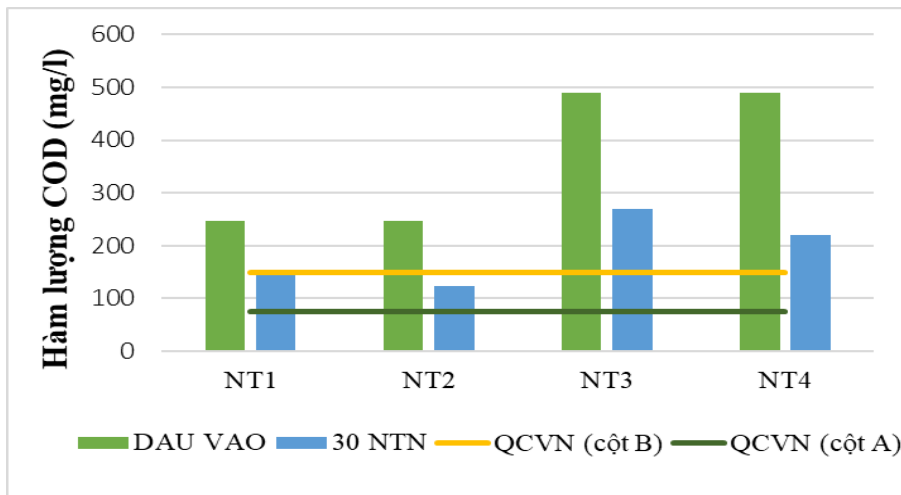
3.1. Khả năng xử lý COD (mg/l)

Bảng 1. Kết quả xử lý hàm lượng COD (mg/l) trong nước thải chăn nuôi heo sau biogas ở các nghiệm thức

Nghiệm thức	NT1	NT2	NT3	NT4
Trước thí nghiệm	247 ± 2,52	247 ± 2,52	490 ± 4,58	490 ± 4,58
10 thí nghiệm	214,5 ± 2,3	195,8 ± 1,97	484,1 ± 1,44	460,6 ± 2,72
20 thí nghiệm	188,5 ± 0,96	177,8 ± 1,93	321,97 ± 1,3	311,1 ± 1,86
30 thí nghiệm	146,7 ± 0,71	122,6 ± 0,67	268,8 ± 0,40	219,7 ± 0,37
Hiệu suất xử lý (%)	40,6	50,4	45,1	55,2

Kết quả thu được ở bảng 1 cho thấy, hàm lượng COD ở các nghiệm thức đều giảm dần theo thời gian xử lý. Mặc dù nồng độ COD đầu vào xử lý chênh lệch nhau rất nhiều ở

các nghiệm thức, tuy nhiên hiệu suất xử lý không khác biệt nhau nhiều. Hiệu suất xử lý COD của hệ thống đất ngập nước dòng chảy ngang biến động khoảng 40,6% đến 45,1% và kiểu dòng chảy đứng là 50,4% đến 55,2%. Điều này cho thấy khả năng xử lý của 2 kiểu hệ thống không phụ thuộc nhiều vào nồng độ COD ô nhiễm mà có thể phụ thuộc vào kiểu dòng chảy. Hàm lượng COD ở NT2 và NT4 (kiểu dòng chảy đứng) được loại bỏ nhiều hơn so với NT1 và NT3 (kiểu dòng chảy ngang). Như vậy, kiểu dòng chảy đứng xử lý COD tốt hơn kiểu dòng chảy ngang. So với QCVN 40:2011/BTNMT, sau 30 ngày xử lý, nồng độ COD ở cả kiểu dòng chảy ngang và đứng đều đạt chuẩn (cột B). Với nồng độ COD 490mg/l, sau 30 ngày xử lý kết quả vượt chuẩn (cột B) với cả 2 kiểu dòng chảy (hình 2).



Hình 2. Kết quả hàm lượng COD (mg/l) so với QCVN 40:2011/BTNMT

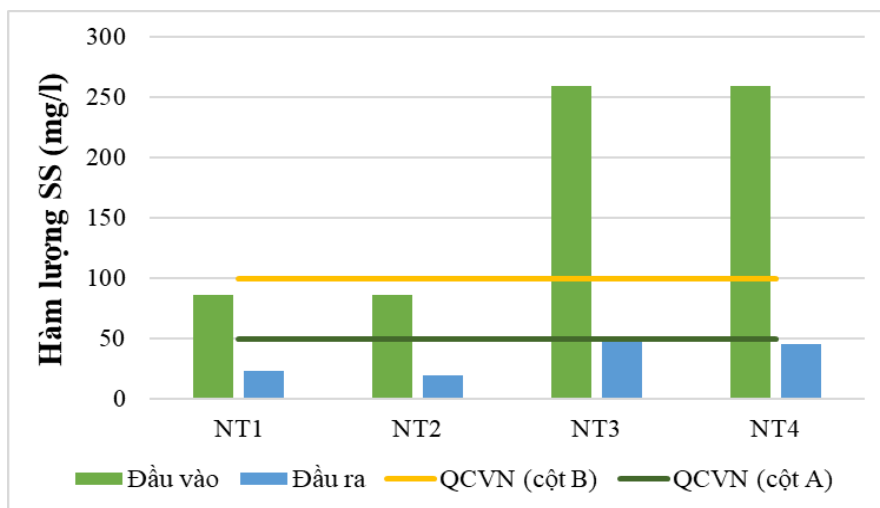
3.2. Kết quả xử lý SS (mg/l)

Bảng 2. Kết quả xử lý hàm lượng SS (mg/l) trong nước thải chăn nuôi heo sau biogas ở các nghiệm thức

Nghiệm thức	NT1	NT2	NT3	NT4
Trước thí nghiệm	86 ± 1,53	86 ± 1,53	259 ± 2,08	259 ± 2,08
10 thí nghiệm	59,67 ± 0,58	56,33 ± 0,58	156,33 ± 1,53	154,67 ± 1,53
20 thí nghiệm	37,33 ± 0,58	28,33 ± 1,15	102,33 ± 1,15	97,33 ± 1,15
30 thí nghiệm	23,5 ± 0,59	20,1 ± 0,25	50,7 ± 0,45	45,7 ± 0,26
Hiệu suất xử lý (%)	72,8	76,6	80,4	82,3

Kết quả bảng 2 cho thấy, khả năng xử lý SS của cả 2 kiểu hệ thống đất ngập nước (HTĐNN) đều phụ thuộc vào nồng độ SS, nồng độ SS càng cao thì khả năng loại bỏ SS càng cao. Khi nồng độ SS đầu vào là 86mg/l, hàm lượng SS được loại bỏ là 62,5mg/l; nhưng khi nồng độ SS đầu vào là 259mg/l, hàm lượng SS được loại bỏ là 213,3mg/l; khả năng loại bỏ SS của kiểu HTĐNN dòng chảy ngang thấp hơn so với kiểu HTĐNN dòng chảy đứng, nhưng không nhiều. hiệu suất xử lý của 2 kiểu HTĐNN dao động trong khoảng 72,8-76,6% (ở nồng độ thấp) khoảng 80,4-82,3% (ở nồng độ cao).

Sau 30 ngày xử lý, với nồng độ SS thấp, kết quả xử lý đạt chuẩn (cột A), với nồng độ ô nhiễm cao, kết quả xử lý đạt chuẩn (cột B) theo QCVN 40:2011/BTNMT (Hình 3).

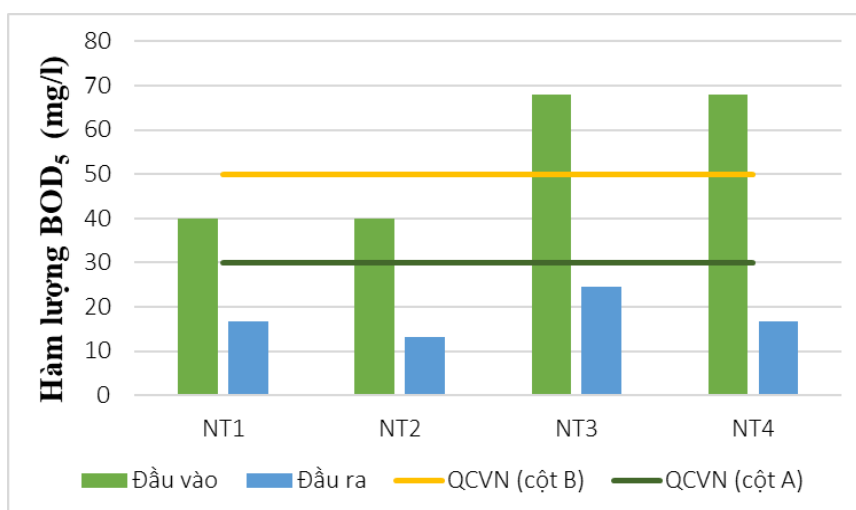


Hình 3. Kết quả hàm lượng SS (mg/l) so với QCVN 40:2011/BTNMT

3.3. Kết quả xử lý BOD₅ (mg/l)

Bảng 3. Kết quả xử lý hàm lượng BOD₅ (mg/l) trong nước thải chăn nuôi heo sau biogas ở các nghiệm thức

Nghiệm thức	NT1	NT2	NT3	NT4
Trước thí nghiệm	40 ± 0,57	40 ± 0,57	68 ± 0,93	68 ± 0,93
10 thí nghiệm	37,9 ± 0,57	36,1 ± 0,57	63,4 ± 0,50	57,2 ± 0,57
20 thí nghiệm	23,25 ± 0,64	19,25 ± 0,78	45,05 ± 0,35	37,05 ± 0,78
30 thí nghiệm	16,7 ± 0,11	13,3 ± 0,64	24,5 ± 0,21	16,8 ± 0,14
Hiệu suất xử lý (%)	58,3	66,8	63,9	75,3



Hình 4. Kết quả hàm lượng BOD₅ (mg/l) so với QCVN 40:2011/BTNMT

Kết quả bảng 3 cho thấy, nước thải chăn nuôi heo sau biogas trước xử lý và sau khi xử lý có sự chênh lệch đáng kể. Qua kết quả trên cho thấy hệ thống đất ngập nước kiến tạo xử lý BOD₅ khá tốt, với nồng độ BOD₅ đầu vào là 40mg/l và 68mg/l sau 30 ngày xử lý bằng hệ thống đất ngập nước kiến tạo thì kết quả đầu ra đều đạt chuẩn (cột A) theo QCVN 40:2011/BTNMT (hình 4). Tuy nhiên, ở hệ thống kiểu dòng chảy đứng xử lý hiệu quả hơn hệ thống kiểu dòng chảy ngang và nồng độ ô nhiễm càng cao thì hiệu quả xử lý càng lớn.

3.4. Kết quả xử lý N-NH₃ (mg/l)

Bảng 4. Kết quả xử lý hàm lượng N-NH₃ (mg/l) trong nước thải chăn nuôi heo sau biogas ở các nghiệm thức

Nghiệm thức	NT1	NT2	NT3	NT4
Trước thí nghiệm	15,56 ± 0,12	15,56 ± 0,12	30,77 ± 0,21	30,77 ± 0,21
10 thí nghiệm	10,90 ± 0,52	9,66 ± 0,50	12,86 ± 0,49	11,66 ± 0,56
20 thí nghiệm	8,58 ± 0,12	6,46 ± 0,05	9,94 ± 0,07	7,42 ± 0,06
30 thí nghiệm	8,58 ± 0,12	6,46 ± 0,05	9,94 ± 0,07	7,42 ± 0,06
Hiệu suất xử lý (%)	44,9	58,5	67,7	75,9

Từ kết quả bảng 4 cho thấy hàm lượng N-NH₃ sau khi xử lý bằng hệ thống đất ngập nước kiến tạo giảm đáng kể. Với nồng độ N-NH₃ đầu vào là 15,56mg/l và 30,77mg/l sau khi xử lý bằng hệ thống đất ngập nước kiến tạo thì kết quả sau xử lý đều đạt chuẩn (cột A) theo QCVN 40:2011/BTNMT (hình 5). Qua kết quả trên chúng tôi nhận thấy rằng hệ thống đất ngập nước kiến tạo có thể xử lý hàm lượng N-NH₃ trong nước thải chăn nuôi heo sau biogas. Hàm lượng nitơ trong nước thải chăn nuôi heo giảm đáng kể sau khi xử lý. Như vậy, nếu thải ra môi trường bên ngoài sẽ hạn chế được hiện tượng phú dưỡng trong nước. Tuy nhiên hiệu suất xử lý nước thải chăn nuôi heo sau biogas của hệ thống đất ngập nước kiến tạo kiểu dòng chảy đứng cao hơn hiệu suất xử lý của hệ thống đất ngập nước kiến tạo kiểu dòng chảy ngang.

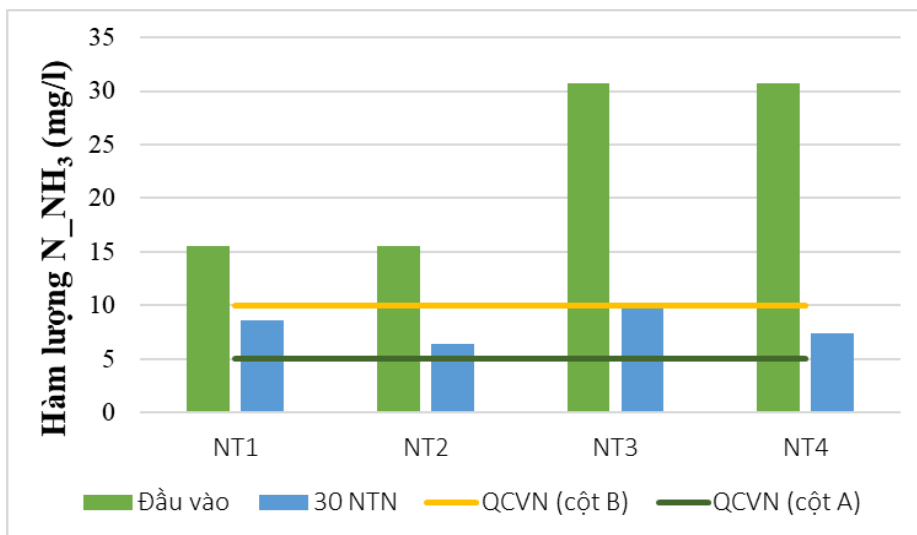
3.5. Kết quả xử lý P-PO₄³⁻ (mg/l)

Bảng 5. Kết quả xử lý hàm lượng P-PO₄³⁻ (mg/l) trong nước thải chăn nuôi heo sau biogas ở các nghiệm thức

Nghiệm thức	NT1	NT2	NT3	NT4
NBĐTN	40,3 ± 0,45	40,3 ± 0,45	80,6 ± 0,67	80,6 ± 0,67
10 NTN	23,5 ± 0,59	22,53 ± 0,68	50,77 ± 0,41	49,47 ± 0,50
20 NTN	18,60 ± 0,12	16,40 ± 0,31	41,4 ± 0,46	34,12 ± 0,36
30 NTN	14,7 ± 0,27	12,8 ± 0,28	31,6 ± 0,46	24,1 ± 0,36
Hiệu suất xử lý (%)	63,5	68,2	60,8	70,1

Kết quả hàm lượng P-PO₄³⁻ từ bảng 5 cho thấy, hệ thống đất ngập nước (HTĐNN) dòng chảy đứng xử lý P-PO₄³⁻ tối ưu hơn (> 65%) so với HTĐNN dòng chảy ngang (<65%). Hiệu quả loại bỏ P-PO₄³⁻ của HTĐNN dòng chảy đứng ở nghiệm thức

có hàm lượng đầu vào là 40,3mg/l là 68,2% và nghiệm thức 4 80,6mg/l là 70,1%. Mặc dù nồng độ SS đầu vào xử lý cao gấp 2 lần (80,6mg/l) nhưng khả năng xử lý SS của kiểu HTĐNN dòng chảy đứng không hơn nhiều so với nồng độ thấp, cao hơn khoảng 1,9%. Điều này cho thấy khả năng xử lý $P_{PO_4^{3-}}$ của HTĐNN kiến tạo không phụ thuộc nhiều vào nồng độ ô nhiễm mà phụ thuộc nhiều vào kiểu hệ thống.



Hình 5. Kết quả hàm lượng N_{NH_3} (mg/l) so với QCVN 40:2011/BTNMT

3.6. Thảo luận

Đa số các thông số ô nhiễm COD, BOD₅, SS, $P_{PO_4^{3-}}$ và N_{NH_3} khi phân tích từ 2 mẫu nước thải thu thập từ 2 hộ chăn nuôi heo đều vượt chuẩn cột B so với QCVN 40:2011/BTNMT. Kết quả này cho thấy nếu thải trực tiếp nước thải chăn nuôi heo sau biogas ra môi trường sẽ gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng, ảnh hưởng đến sức khỏe người dân và chất lượng hệ sinh thái khu vực tiếp nhận nguồn nước thải. Tuy nhiên các thông số này đều đạt cột A so với QCVN 40:2011/BTNMT sau khi được xử lý qua 2 kiểu HTĐNN dòng chảy ngang và đứng. Trong HTĐNN dòng chảy đứng, nước thải được thấm từ từ qua các lớp vật liệu lọc, dưới tác dụng của nhiều cơ chế như hấp phụ, kết tủa hóa học (U.S. Environmental Protection Agency, 1991), có thể là lý do làm cho nó có hiệu suất xử lý tốt hơn so với dòng chảy ngang. Kết quả của đề tài cũng tương tự kết quả của Vymazal và ctv (2008). Điều này cho thấy việc ứng dụng công nghệ đất ngập nước nhân tạo vào xử lý nước thải chăn nuôi heo sau biogas thay cho các phương pháp truyền thống đã từng sử dụng trong chăn nuôi là khả thi và cần thiết.

4. Kết luận

Hệ thống đất ngập nước kiến tạo dòng chảy đứng cho hiệu quả xử lý các thông số ô nhiễm COD, BOD₅, SS, $P_{PO_4^{3-}}$ và N_{NH_3} tối ưu hơn hệ thống đất ngập nước dòng chảy ngang với hiệu suất xử lý lần lượt là 55,2%, 75,3%, 82,3%, 70,1% và 75,9%. Cả 2 kiểu HTĐNN xử lý tốt hơn với loại nước thải sau biogas nồng độ cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2011). QCVN 40:2011/BTNMT- Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước thải công nghiệp.
- [2] Brix, H.; Schierup, H.-H. (1989). *The use of macrophytes in water pollution control*, AMBIO.
- [3] Crites, R. and Tchobanoglous, G. (1998). *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*. McGraw-Hill, Singapore.
- [4] Hồ Bích Liên, Lê Thị Hiếu, Đoàn Duy Anh, Nguyễn Đỗ Ngọc Diễm, Vương Minh Hải, Lê Thị Diệu Hiền (2016). Thiết kế đất ngập nước kiến tạo xử lý nước thải sau biogas ở thị xã Tân Uyên, Bình Dương. *Tạp chí khoa học Đại học Thủ Dầu Một*, 3, (ISSN 1859-4433).
- [5] Jan vymazal (2010). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Department of Landscape Ecology. *Faculty of Environmental Sciences*, Czech University.
- [6] Seidel, K. (1955). Die Flechtbinse *Scirpus lacustris*. In *Ökologie, Morphologie und Entwicklung, ihre Stellung bei den Volkern und ihre wirtschaftliche Bedeutung*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, Germany.
- [7] U.S. Environmental Protection Agency (1991). *Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*. U.S. Government Printing Office.
- [8] Vymazal, J., Kröpfelová, L. (2008). *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. The Netherlands: Springer: Dordrecht.