



Original Article

The Efficiency of Air-lift Bioreactor Using PVA-gel Carrier Materials to Treat Organic Components in Artificial Wastewater

Nguyen Trung Quan^{1,*}, Vu Ngoc Duy¹, Pham Hoang Giang¹,
Le Van Chieu¹, Tran Manh Hai²

¹*VNU University of Science, 334 Thanh Xuan, Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam*

²*Institute of Environmental Technology, Vietnam Academy of Science and Technology (VAST),
18 Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Hanoi, Vietnam*

Received 11 October 2021

Revised 03 November 2021; Accepted 05 November 2021

Abstract: An air-lift bioreactor using PVA-gel was used to remove organic components in wastewater treatment. The wastewater treatment system using Sequencing Batch Reactor with carrier material volume of 5%, activated sludge density of 2.5 g/L to treat artificial wastewater made from cat food (Whiskas) with initial COD content of 2,000 mg/L. After 10 days of operation, the removal efficiency of total COD, soluble COD, and TSS achieved 92, 89, and 84%, respectively. Despite the high removal efficiencies of organic components, the output wastewater did not achieve QCVN 40:2011/BTNMT (Column B) discharge standards. Due to high concentrations of TSS and slow biodegradable organic components. The experimental system will be necessary to study the operating conditions to treat wastewater more efficiently and achieve the discharge standards to the environment.

Keywords: Air-lift bioreactor, artificial wastewater, PVA-gel, organic component, removal efficiency.

* Corresponding author.

E-mail address: nguyentruongquan@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4808>

Đánh giá khả năng xử lý thành phần hữu cơ trong nước thải nhân tạo của hệ Air-lift sử dụng vật liệu mang PVA-gel

Nguyễn Trường Quân^{1,*}, Vũ Ngọc Duy¹, Phạm Hoàng Giang¹,
Lê Văn Chiêu¹, Trần Mạnh Hải²

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Công nghệ Môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,
18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 11 tháng 10 năm 2021

Chỉnh sửa ngày 03 tháng 11 năm 2021; Chấp nhận đăng ngày 05 tháng 11 năm 2021

Tóm tắt: Hệ phản ứng sinh học khí nâng (hệ Air-lift) sử dụng vật liệu mang polyvinylancol dạng hạt gel (PVA-gel) được nghiên cứu để đánh giá hiệu quả xử lý thành phần hữu cơ có trong nước thải. Hệ xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học theo quy trình phản ứng theo mẻ (Sequencing Batch Reactor) sử dụng vật liệu mang chiếm 5% thể tích, mật độ bùn hoạt tính 2,5 g/L để xử lý nước thải nhân tạo được điều chế từ thức ăn cho mèo (hãng Whiskas) với hàm lượng COD ban đầu 2.000 mg/L. Sau thời gian hoạt động trong khoảng 10 ngày, hiệu suất xử lý COD tổng, COD hòa tan và TSS đạt các giá trị tương ứng là 92, 89, 84%. Tuy hiệu quả xử lý các thành phần hữu cơ đạt được là khá cao nhưng do nước thải nhân tạo có nhiều TSS và thành phần hữu cơ khó phân hủy sinh học dẫn đến nước thải đầu ra chưa đạt tiêu chuẩn xả thải QCVN 40:2011/BTNMT (Cột B), do đó cần phải nghiên cứu tiếp các điều kiện vận hành để hệ thí nghiệm xử lý hiệu quả hơn và đạt tiêu chuẩn xả thải ra môi trường.

Từ khóa: Hệ Air-lift, vật liệu mang PVA-gel, nước thải nhân tạo, chất hữu cơ, hiệu suất xử lý.

1. Mở đầu

Hiện nay, ô nhiễm nước thải đang là vấn đề rất đáng quan tâm của các nhà quản lý cũng như các nhà khoa học trên thế giới. Nước thải của một số ngành công nghiệp như ngành giấy, dệt nhuộm, sản xuất mía đường, chế biến tinh bột sắn, chế biến thủy sản, chăn nuôi, ... thường chứa lượng lớn các chất hữu cơ, cặn, nitơ và photpho [1-4]. Nước thải giàu hữu cơ thường có tải lượng lớn, dễ bị phân hủy bởi các vi sinh vật gây mùi hôi thối, làm suy giảm oxy trong nước gây chết các sinh vật và mất cân bằng sinh thái, ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường.

Có nhiều phương pháp để xử lý nước thải giàu hữu cơ, trong đó phổ biến là công nghệ vi sinh. Những nghiên cứu gần đây cho thấy để tăng cường hiệu quả loại bỏ chất hữu cơ, việc áp dụng vật liệu mang vi sinh nhằm nâng cao mật độ vi sinh cũng được sử dụng rộng rãi ở Việt Nam, phù hợp với xu hướng nghiên cứu và áp dụng trên thế giới. Sinh khối được hình thành bên trong và bên ngoài vật liệu hỗ trợ giúp tăng cường sự tiếp xúc giữa các chất ô nhiễm và vi khuẩn tiêu hóa, do đó, làm tăng hiệu quả xử lý tổng thể [5-8]. Để tăng mật độ vi sinh và khả năng tiếp xúc giữa màng vi sinh với cơ chất, một số loại vật liệu

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: nguyentruongquan@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuces.4808>

mang được áp dụng phổ biến trên thị trường như polyetylen (PE), polyvinylancol (PVA), polyuretán (PU),... [5, 9].

PVA-gel là một hydrogel xốp, thường được sử dụng để làm chất mang lưu giữ sinh khối do Công ty Kuraray, Nhật Bản sản xuất, nó có dạng hình cầu đường kính 4 mm, màu trắng được làm từ nhựa PVA (Polyvinyl Alcohol) với hàm lượng chất rắn khoảng 10% (độ xốp 90%) và trọng lượng riêng là 1,025 g/ml. PVA-gel có những ưu điểm là không hòa tan trong nước, không độc hại với vi sinh, có độ xốp cao do đó khả năng cố định vi sinh tốt nên tái xử lý cao, khả năng xử lý đạt hiệu quả gấp 5 lần so với bùn hoạt tính thông thường.

Hệ phản ứng sinh học khí nâng (Air-lift bioreactor, gọi tắt là hệ Air-lift) là bể phản ứng sinh học được kích hoạt bằng khí nén tận dụng lợi thế của việc phun một dòng khí (thường là không khí) để trộn và làm trung gian chuyển các chất ở thể khí (tức là O_2 và CO_2) với pha lỏng. Tuy nhiên, không giống như trong các bể phản ứng kích động bằng khí nén cổ điển, nơi trộn chất lỏng là ngẫu nhiên (tức là cột bong bóng), thiết kế cụ thể của hệ Air-lift làm cho chất lỏng lưu thông giữa hai vùng kết nối được gọi là Vùng dâng và Vùng chảy xuống [10].

Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu áp dụng các công nghệ hiện đại nhưng đã cải tiến hoặc kết hợp các công nghệ với nhau để tạo nên hệ thống xử lý đạt hiệu quả cao hơn. Theo kết quả của Cvetkovic và nnk (2017) nghiên cứu hệ Air-lift sử dụng 12,4% thể tích PVA-gel để xử lý nước thải nhà máy sản xuất tinh bột với hàm lượng COD đầu vào khoảng 50 g/L cho hiệu quả xử lý COD để phân hủy sinh học ở thời gian lưu 8 giờ đạt 90% [11], còn Papadimitriou và nnk (2010) đánh giá ảnh hưởng của Cr(VI) đối với các hệ thí nghiệm bùn hoạt tính không và có sử dụng 5% thể tích vật liệu mang PVA với hàm lượng COD đầu vào 1.200 mg/L trong 10 ngày, kết quả thu được với hiệu suất loại bỏ chất hữu cơ đạt trên 90% [12], trong khi đó Singh và nnk (2016) nghiên cứu hệ phản ứng màng vi sinh chuyển động (Moving Bed Biofilm Reactor) sử dụng 5% thể tích PVA để xử lý nước thải đô thị có tải trọng từ 1,05-2,11 kgCOD/m³.ngày, sau 4

tháng cho thấy hiệu quả loại bỏ COD đạt 91% [13]. Mặt khác, Wang và nnk (2017) đã áp dụng PVA gel (10% thể tích) trong hệ thống phản ứng màng sinh học chuyển động để xử lý nước thải sinh hoạt với hàm lượng COD đầu vào 140-270 mg/L, sau 2 tuần chỉ loại bỏ được hơn 70% COD [14]. Trong khi đó ở Việt Nam, Pham và nnk (2014) đã khảo sát từ 6-14% thể tích PVA làm vật liệu mang vi sinh trong hệ yếm khí để xử lý nước thải tổng hợp có giá trị COD ban đầu là 12,5 g/L, hiệu suất loại bỏ TOC đạt trên 80% [15]. Do đó, khả năng xử lý các thành phần trong nước thải của hệ Air-lift sử dụng vật liệu mang PVA-gel được nghiên cứu để đánh giá hiệu quả của hệ thí nghiệm.

2. Thực nghiệm

2.1. Hệ Air-lift xử lý nước thải qui mô phòng thí nghiệm

Để đánh giá năng lực xử lý thành phần hữu cơ trong nước thải nhân tạo, hệ Air-lift được thiết kế gồm 01 bể phản ứng hình trụ được làm bằng thủy tinh hữu cơ plexiglas trong suốt có đường kính $D = 350$ mm và chiều cao $H = 500$ mm; 02 lớp vách ngăn hình trụ được làm bằng nhựa với đường kính và chiều cao tương ứng là $D_1 = 300$ mm, $D_2 = 210$ mm và $H_1 = 400$ mm, $H_2 = 360$ mm; 01 ống dẫn khí theo trục trung tâm xuống dưới đáy. Thể tích hiệu dụng (thể tích hoạt động từng mẻ thí nghiệm) của hệ là $V = 30$ lít.

Nước thải nhân tạo được điều chế từ thức ăn cho mèo (hãng Whiskas - đã được sấy khô, nghiền nhỏ và rây ở kích thước 1 mm) bằng cách cân một lượng thức ăn xác định (theo từng chế độ khảo sát) cho vào hệ thí nghiệm, sau đó bật bơm sục khí (chính DO khoảng 4-5 mg/L). Khí đi từ trên xuống theo ống trung tâm được phân bố đều 4 hướng, khi khí đi ra Vùng dâng tiếp đến là đi thẳng lên kéo theo hỗn hợp nước thải, vi sinh và vật liệu mang (nếu có) đi lên sau đó khí thoát ra ngoài còn phần hỗn hợp nước chảy tràn sang ngăn bên cạnh (Vùng chảy xuống) để đi xuống (Hình 1). Quá trình cứ diễn ra liên tục như vậy làm tăng khả năng khuấy trộn trong hệ cũng

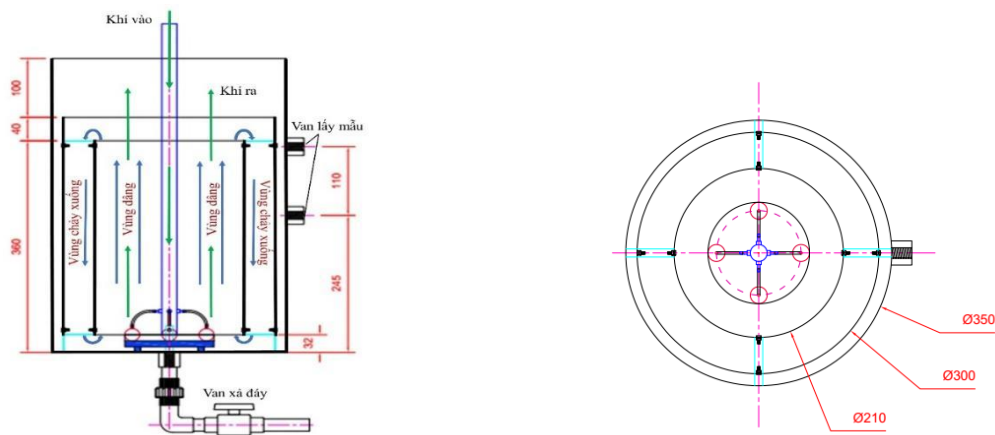
như tăng khả năng tiếp xúc giữa vi sinh và các thành phần có trong nước thải.

Hệ thí nghiệm được khảo sát theo mẻ ở 2 chế độ COD ban đầu là 1.000 mg/L (khởi động) và 2.000 mg/L khi không và có sử dụng vật liệu mang PVA-gel chiếm 5% thể tích, mật độ bùn hoạt tính 2,5 g/L [12, 13]. Mỗi chế độ COD được khảo sát theo mẻ trong khoảng 10 ngày, sau khi kết thúc một chế độ hệ thí nghiệm lại thiết lập chế độ tiếp theo.

2.2. Lấy mẫu, phân tích mẫu và tính toán

Hệ thí nghiệm được vận hành theo mẻ trong khoảng 10 ngày ở mỗi chế độ COD ban đầu, trung bình cứ sau 2 ngày hệ thí nghiệm được dừng sục khí và để lắng trong thời gian 1 giờ, sau đó lấy mẫu đầu ra (ở van lấy mẫu hoặc ở Vùng lắng) để phân tích COD và TSS.

Quy trình lấy mẫu được áp dụng theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6663-14:2018 (ISO 5667-14:2014) và bảo quản mẫu theo tiêu chuẩn TCVN 6663-3:2016 (ISO 5667-3:2012).



Hình 1. Sơ đồ thiết kế hệ phản ứng sinh học khí nâng Air-lift.

Bảng 1. Thành phần nước thải nhân tạo

Thông số	Giá trị	QCVN 40:2011/BTNMT (Cột B)
pH	7,1 – 7,5	5,5 – 9
COD _{tổng} (mg/L)	830 – 838	150
COD _{hòa tan} (mg/L)	251,5 – 257,4	-
TSS (mg/L)	353,2 – 362	100
TN (mg/L)	37,2 – 38,6	40
TP (mg/L)	109,2 – 113,5	6

Các phương pháp phân tích mẫu được áp dụng theo các phương pháp tiêu chuẩn của thế giới [16]. Các mẫu được phân tích lặp lại 3 lần, lấy giá trị trung bình để đánh giá số liệu.

Xác định khối lượng bùn vi sinh bám dính trên vật liệu mang: đong 10 ml vật liệu mang PVA-gel (làm lặp 3 lần), đếm số hạt gel và giá trị trung bình. Sau đó lấy 100 hạt gel trước và sau khi thí nghiệm đem sấy và cân khối lượng theo phương pháp xác định TSS [16].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Thành phần nước thải nhân tạo

Xác định các thành phần cơ bản trong nước thải nhân tạo bằng cách cân 1 g thức ăn của mèo (đã được chuẩn bị ở trên) cho vào cốc đựng 1 lít nước, khuấy đều sau đó lấy mẫu phân tích thu được các giá trị được trình bày trong Bảng 1.

Theo kết quả phân tích trong Bảng 1 cho thấy hàm lượng của COD tổng, TSS, TN và TP có giá trị trung bình tương ứng là 833,3; 358,4; 37,8 và 111,6 mg/L, hàm lượng COD hòa tan có giá trị trung bình là 255 mg/L. Kết quả thu được này sẽ là cơ sở để tính toán lượng thức ăn của mèo cần pha nước thải ban đầu ở các chế độ khảo sát tiếp theo.

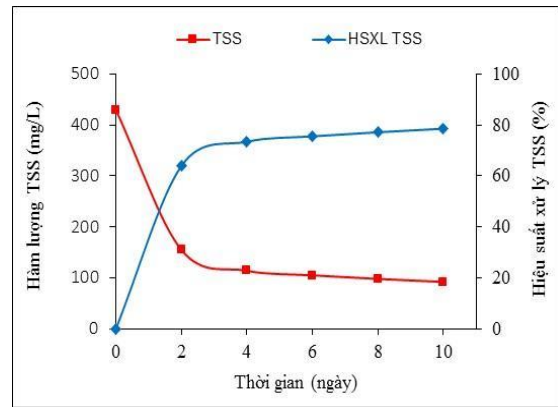
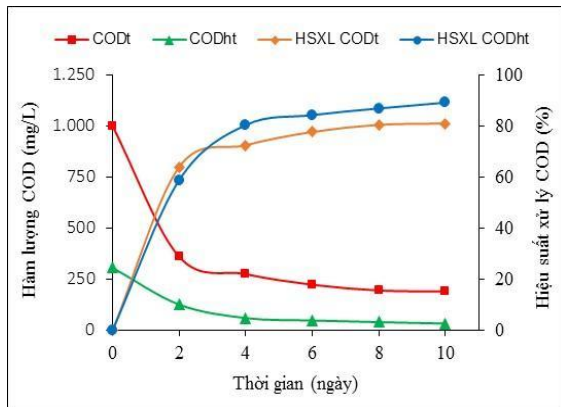
Tuy nước thải nhân tạo không có thành phần đặc trưng của bất kỳ loại nước thải thực nào (nước thải công nghiệp, nước thải chăn nuôi,...) nhưng nó được chế tạo từ thức ăn cho mèo (gồm có tinh bột, thịt, cá biển,...) nên có các thành phần cơ bản như chất hữu cơ, chất dinh dưỡng, TSS và thành phần hữu cơ khó phân hủy sinh

học, do đó nước thải nhân tạo được điều chế dễ dàng và có thành phần các chất ổn định.

3.2. Hiệu quả xử lý của hệ Air-lift khi không sử dụng vật liệu mang

3.2.1. Chế độ khởi động (COD ban đầu 1.000 mg/L)

Hệ Air-lift được vận hành ở chế độ khởi động với COD tổng ban đầu 1.000 mg/L (tương đương với cân 36 g thức ăn mèo cho vào hệ thí nghiệm), hàm lượng đầu ra và hiệu suất xử lý của COD tổng, COD hòa tan và TSS được trình bày trong Hình 2.



Hình 2. Diễn biến và hiệu suất xử lý COD và TSS ở chế độ khởi động khi không sử dụng PVA.

Đồ thị Hình 2 cho thấy hàm lượng COD trong hệ phản ứng ban đầu là 1.000 mg/L, sau 2 ngày đầu hàm lượng COD tổng giảm xuống còn 360 mg/L, hiệu suất xử lý đạt 64% và sau 10 ngày vận hành hệ thống, COD tổng giảm xuống 190 mg/L với hiệu suất xử lý đạt được 81%. Hàm lượng COD hòa tan ban đầu là 306 mg/L, sau 2 ngày đầu hàm lượng COD hòa tan giảm xuống 126 mg/L, hiệu suất xử lý đạt 59% và sau 10 ngày vận hành hệ thống, hàm lượng COD hòa tan giảm xuống còn 33 mg/L, hiệu suất xử lý cả quá trình đạt được là 89%.

Trong khi đó, hàm lượng TSS ban đầu là 430 mg/L, sau 2 ngày đầu hàm lượng TSS giảm xuống còn 155 mg/L, hiệu suất xử lý đạt 64% và sau 8 ngày vận hành tiếp theo, hàm lượng TSS là 92 mg/L, hiệu suất xử lý đạt 79%.

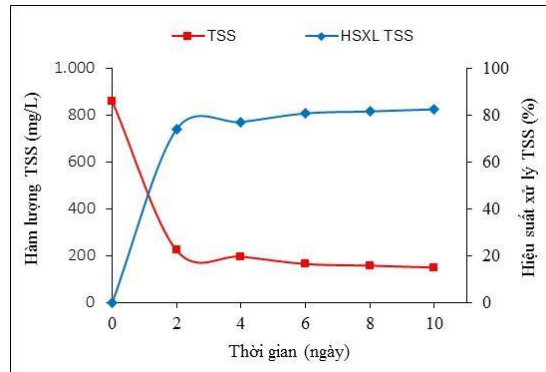
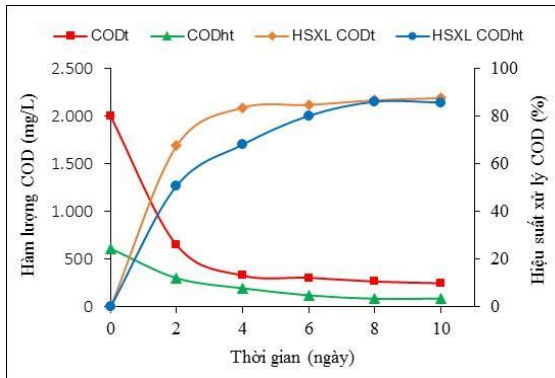
3.2.2. Chế độ khảo sát COD ban đầu 2.000 mg/L

Hệ Air-lift được khảo sát ở chế độ COD tổng ban đầu 2.000 mg/L (tương đương với cân 72 g thức ăn mèo), bùn vi sinh ở chế độ COD 1.000 mg/L được giữ lại. Hàm lượng đầu ra và hiệu suất xử lý của COD tổng, COD hòa tan và TSS được trình bày trong Hình 3.

Đồ thị Hình 3 cho thấy ở chế độ COD ban đầu là 2.000 mg/L, xu hướng diễn biến đầu ra của COD tổng, COD hòa tan và TSS cũng tương tự như ở chế độ COD 1.000 mg/L. Sau 2 ngày đầu hàm lượng các chất đều giảm nhanh, ở các ngày tiếp theo hàm lượng các chất giảm xuống không đáng kể và sau 10 ngày vận hành hiệu suất xử lý COD tổng, COD hòa tan và TSS của hệ

Air-lift không sử dụng vật liệu mang đạt được lần lượt là 88, 86 và 83%.

Sau khi kết thúc thí nghiệm của hệ Air-lift khi không sử dụng vật liệu mang PVA, lấy mẫu

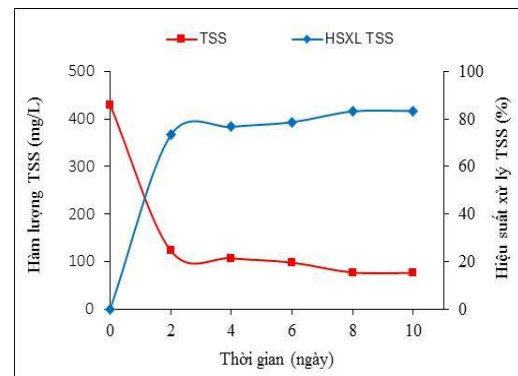
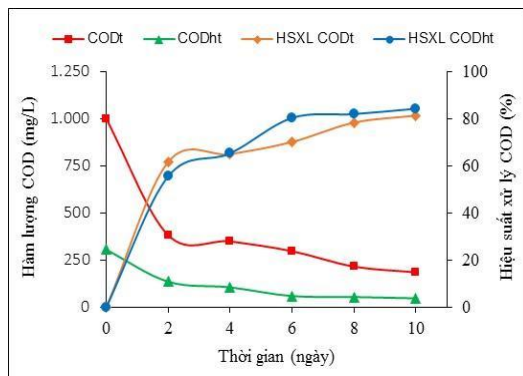


Hình 3. Diễn biến và hiệu suất xử lý COD và TSS khi không sử dụng PVA.

3.3. Hiệu quả xử lý của hệ Air-lift khi sử dụng vật liệu mang PVA-gel

3.3.1. Chế độ khởi động (COD ban đầu 1.000 mg/L)

Hệ thí nghiệm được vận hành ở chế độ khởi động với COD tổng đầu vào 1.000 mg/L được thiết lập lại với mật độ bùn vi sinh 2,5 g/L và bổ sung 5% thể tích vật liệu mang PVA-gel, kết quả được trình bày trong Hình 4.



Hình 4. Diễn biến và hiệu suất xử lý COD và TSS ở chế độ khởi động khi sử dụng PVA.

3.3.2. Chế độ khảo sát COD ban đầu 2.000 mg/L

Hệ Air-lift được khảo sát ở chế độ COD tổng ban đầu 2.000 mg/L (bùn vi sinh ở chế độ COD

xác định hàm lượng TSS để đánh giá mật độ bùn vi sinh trong hệ phản ứng, kết quả cho thấy hàm lượng TSS là 2,86 g/L cao hơn mật độ bùn vi sinh đưa vào ban đầu (2,5 g/L).

Ở chế độ khởi động khi sử dụng PVA-gel, diễn biến đầu ra và hiệu suất xử lý của COD tổng, COD hòa tan và TSS (Hình 4) có xu hướng tương tự như hệ không sử dụng vật liệu mang, sau 2 ngày đầu hàm lượng các chất giảm nhanh sau đó giảm chậm và các giá trị thay đổi không đáng kể, hiệu suất xử lý sau 10 ngày vận hành hệ thống của COD tổng, COD hòa tan và TSS đạt được tương ứng là 81, 84 và 83%.

1.000 mg/L được giữ lại), kết quả được trình bày trong Hình 5.

Hệ Air-lift ở chế độ COD ban đầu 2.000 mg/L sử dụng vật liệu mang PVA-gel có xu hướng

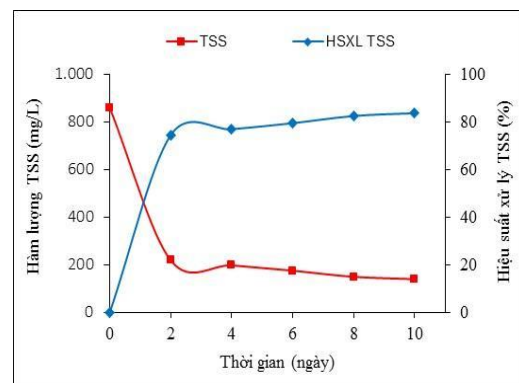
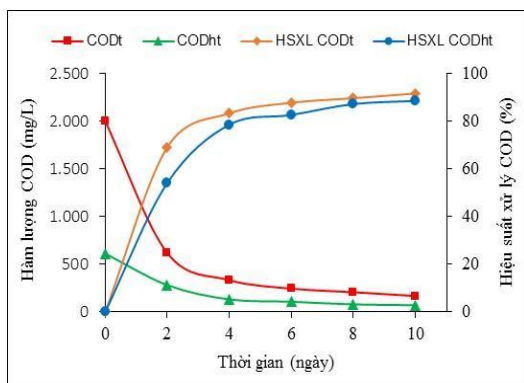
diễn biến đầu ra của các chất cũng tương tự như ở 3 chế độ khảo sát trước đó (thể hiện ở Hình 5), tức là hàm lượng các chất cũng giảm mạnh sau 2 ngày đầu và sau đó các giá trị thay đổi không đáng kể ở các ngày tiếp theo. Sau 10 ngày vận hành, hiệu suất xử lý COD tổng đạt được 92%, COD hòa tan đạt 89% và TSS đạt 84%.

Sau khi kết thúc thí nghiệm, lấy mẫu để xác định hàm lượng TSS trong bể phản ứng và khối lượng bùn vi sinh bám trên vật liệu mang. Vớt hết vật liệu mang ra ngoài (1,5 lít ban đầu cho vào), lấy 100 hạt PVA-gel (so với 100 hạt không cho vào hệ thí nghiệm) đem sấy và cân khối lượng, xác định được khối lượng bùn khô là 0,0049 g/100 hạt tương đương với 0,01 g/205 hạt (10 mL). Phần còn lại trong bể phản ứng, lấy mẫu để xác định TSS, kết quả cho thấy hàm lượng TSS trong bể phản ứng là 2,92 g/L. Do đó tổng hàm lượng TSS sau thí nghiệm thu được là 2,97 g/L, cao hơn hàm lượng TSS ở chế độ không sử dụng PVA-gel (2,86 g/L).

Kết quả này cho thấy, khi bổ sung PVA-gel, hiệu suất xử lý COD tổng và COD hòa tan cao hơn ở chế độ không sử dụng vật liệu mang, các

giá trị tương ứng là 92 và 89% so với 88 và 86%. Điều này cho thấy khi vi sinh đã thích nghi và phát triển trong môi trường nước thải nhân tạo (mật độ bùn vi sinh tăng lên) nên hiệu quả xử lý COD tốt hơn. Tuy nhiên hiệu suất xử lý TSS khi sử dụng vật liệu mang tương đương với khi không sử dụng vật liệu mang (84% so với 83%).

Hiệu quả xử lý thành phần COD của hệ Air-lift sử dụng PVA-gel ở chế độ COD 2.000 mg/L đạt được tương đương với kết quả nghiên cứu của một số nhóm nghiên cứu trên thế giới như nhóm Cvetkovic (90%) [11], nhóm Papadimitriou (90%) [12] và nhóm Singh (91%) [13]. Trong khi đó kết quả này cao hơn các kết quả nghiên cứu của nhóm Wang (70%) [14] và nhóm Pham (80%) [15]. Điều này cho thấy, mặc dù nước thải nhân tạo được chế biến từ thức ăn cho mèo của hãng Whiskas có hàm lượng TSS và thành phần hữu cơ khó phân hủy sinh học cao và các giá trị của thành phần đầu ra chưa đạt tiêu chuẩn xả thải QCVN 40:2011/BTNMT (Cột B) nhưng kết quả thu được là rất khả quan và có khả năng ứng dụng nghiên cứu tiếp các điều kiện tối ưu để chất lượng nước thải đầu ra đạt tiêu chuẩn xả thải ra môi trường.



Hình 5. Diễn biến và hiệu suất xử lý COD và TSS khi sử dụng PVA.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu hiệu quả xử lý các thành phần COD và TSS có trong nước thải nhân tạo được chế biến từ thức ăn cho mèo của hệ phản ứng sinh học khí nâng Air-lift sử dụng vật liệu mang PVA-gel cho thấy hiệu suất xử lý COD

tổng đạt được 92%, COD hòa tan đạt 89% và TSS đạt 84% ở chế độ COD ban đầu 2.000 mg/L.

Hiệu quả xử lý các thành phần hữu cơ đạt được là khá cao nhưng do nước thải nhân tạo có nhiều TSS và thành phần hữu cơ khó phân hủy sinh học nên nước thải đầu ra chưa đạt tiêu chuẩn xả thải, do đó cần phải nghiên cứu tiếp các điều

kiện vận hành như nước thải, mật độ bùn vi sinh, thể tích vật liệu mang hay chế độ sục khí,... để hệ thí nghiệm xử lý hiệu quả hơn và đạt tiêu chuẩn xả thải ra môi trường.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội trong đề tài mã số TN.21.19.

Tài liệu tham khảo

- [1] N. T. Ha, Report of Project Funded by Vietnam National University, Hanoi: Research on Technology for Energy Recovery from Sugar-Cane Industrial Wastewater, 2016 (in Vietnamese).
- [2] N. T. Quan, V. T. T. Tam, C. T. Ha, L. V. Chieu, T. M. Hai, The Dependence of Removal Rate and Efficiency on COD Loading Rate in Two Anaerobic Systems Treating High Organic Suspended Wastewater, *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, Vol. 35, No. 1, 2019, pp. 21-26, <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4233> (in Vietnamese).
- [3] V. T. T. Tam, C. T. Ha, N. V. Ha, N. T. Quan, V. N. Duy, L. V. Chieu, Enhancing the Treatability of Textile Wastewater in Biological Activated Sludge Process, *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, Vol. 33, No. 1S, 2017, pp. 217-221, <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4187> (in Vietnamese).
- [4] N. X. Thuy, N. M. Thao, Project report: Research on Technology and Equipment for Treatment of Waste from Cassava Starch Processing at Centralized Scale in Craft Villages, Hanoi, 2006 (in Vietnamese).
- [5] N. T. Quan, N. V. Anh, L. T. H. Oanh, N. H. Huan, L. V. Chieu, Y. Hidenari, N. T. Ha, Removal of Organic Matters from Piggery Wastewater in Anaerobic Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), *Vietnam Journal of Science and Technology*, Vol. 58, No. 3A, 2020, pp. 211-221, <https://doi.org/10.15625/2525-2518/58/3A/14490>.
- [6] M. L. Gulhane, A. J. Kotangale, Moving Bed Biofilm Reactor, *New Innovation in the Field of Conventional Biological Wastewater Treatment*, ISSN No 2277 – 8179, Vol. 2, No. 12, 2013, pp. 167-170.
- [7] S. J. Jähren, J. A. Rintala, H. Ødegaard, Aerobic Moving Bed Biofilm Reactor Treating Thermomechanical Pulping Whitewater Under Thermophilic Condition, *Water Research*, Vol. 36 No. 4, 2002, pp. 1067-1075.
- [8] S. Sirianuntapiboon, S. Yommee, Application of A New Type of Moving Bio-film in Aerobic Sequencing Batch Reactor, *Journal Environmental Management*, Vol. 78, 2006, pp. 149-156, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.04.012>.
- [9] G. Tchobanoglous, H. D. Stensel, R. Tsuchihashi, F. Burton, M. A. Orf, G. Bowden, W. Pfrang, *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, 5th Edition Metcalf & Eddy/AECOM, McGraw-Hill, 2014.
- [10] M. H. Siegel, C. W. Robinson, Applications of Airlift Gas-liquid-solid Reactors in Biotechnology, *Chemical Engineering Science*, Vol. 47, 1992, pp. 3215-3229, [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(92\)85030-F](https://doi.org/10.1016/0009-2509(92)85030-F).
- [11] S. Cvetkovic, B. Bugarski, B. Obradovic, Activated Sludge-loaded Polyvinyl Alcohol Microparticles for Starch Wastewater Treatment in an Airlift Bioreactor, *Korean Journal Chem. Eng.*, 2017, pp. 1-4, <https://doi.org/10.1007/s11814-017-0313-9>.
- [12] C. A. Papadimitriou, H. K. Karapanagioti, P. Samaras, G. P. Sakellaropoulos, Treatment Efficiency and Sludge Characteristics in Conventional and Suspended PVA Gel Beads Activated Sludge Treating Cr(VI) Containing Wastewater, *Desalination and Water Treatment* Vol. 23, No. 1-3, 2010, pp. 199-205, <http://dx.doi.org/10.5004/dwt.2010.1998>.
- [13] N. K. Singh, J. Singh, A. Bhatia, A. A. Kazmi, Pilot-Scale Study on PVA Gel Beads Based Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS) Plant for Municipal Wastewater Treatment, *Water Science and Technology*, Vol. 73, No. 1, 2016, pp. 113-123, <https://doi.org/10.2166/wst.2015.466>.
- [14] Y. Wang, Y. Liu, M. Feng, L. Wang, Study of the Treatment of Domestic Sewage using PVA Gel Beads as A Biomass Carrier, *Journal of Water Reuse and Desalination*, Vol. 8, No. 3, 2018, pp. 340-349, <https://doi.org/10.2166/wrd.2017.181>.
- [15] P. V. Dinh, L. T. Bach, Immobilized Bacteria by Using PVA (Polyvinyl Alcohol) Crosslinked With Sodium Sulfate, *International J. of Science and Engineering*, Vol. 7, No. 1, 2014, pp. 41-47, <https://doi.org/10.12777/ijse.7.1.41-47>.
- [16] American Public Health Association, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th Edition, American Public Health Association, 5220 D Closed Reflux, Colorimetric Method, 1995, pp. 5.15-5.16.