

Xử lý nước thải chăn nuôi heo bằng mô hình lai hợp kỵ khí USBF với lớp đệm linh động ở phân lọc kỵ khí

- **Đặng Viết Hùng**
- **Đỗ Thị Hồng Hạ**

Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 28 tháng 01 năm 2015, nhận đăng ngày 09 tháng 11 năm 2015)

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, mô hình lai hợp kỵ khí USBF (Upflow Sludge Blanket Filtration), một sự kết hợp giữa sinh trường lơ lửng trong phần UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) và sinh trường dính bám trong phần AF (Anaerobic Filter), được cải tiến nhằm nâng cao khả năng xử lý nước thải chăn nuôi heo bằng cách chuyển lớp đệm trong phần sinh trường dính bám từ trạng thái bất động thành linh động. Lớp đệm linh động chế tạo từ giá thể Anox Kaldnes K1 cho phép dính bám một lượng lớn sinh khối với hoạt tính cao. Mô hình USBF làm bằng mica với thể tích làm việc là 14 lít và tỉ lệ thể tích UASB/AF là 1/1

được vận hành với tải trọng hữu cơ tăng dần từ 1 đến 10 kgCOD/m³.ngày tương ứng thời gian lưu nước giảm dần từ 36 đến 9,6 giờ. Mô hình nghiên cứu cho hiệu quả xử lý cao nhất ở tải trọng hữu cơ 6 kgCOD/m³.ngày tương ứng thời gian lưu nước 16 giờ với hiệu suất xử lý COD đạt tới 92% và hiệu suất xử lý SS đạt tới 93%. Nồng độ sinh khối (VSS) trong phân lọc kỵ khí là 3080 mg/L khi kết thúc thí nghiệm và tỉ lệ khối lượng VSS/SS là 0,78. Các kết quả thu được cho thấy mức độ linh hoạt và đồng đều của màng sinh học bên trên lớp đệm linh động.

Từ khóa: lớp đệm linh động, nước thải chăn nuôi, USBF.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xử lý kỵ khí thường được áp dụng trong các hệ thống xử lý nước thải chăn nuôi nhằm loại bỏ một phần lớn chất rắn lơ lửng và thành phần hữu cơ [1, 2, 3]. Trong những năm gần đây mô hình lai hợp kỵ khí như kiểu USBF được đánh giá cao nhờ tăng cường được cả tải trọng và hiệu quả xử lý cùng với mức độ ổn định khi vận hành [4, 5, 6]. Mô hình lai hợp kỵ khí USBF chính là một bể xử lý nước thải bao gồm 2 phần: phần cho bùn lơ lửng nằm ở phía dưới như là UASB và phần cho màng dính bám nằm ở phía trên như là AF. Sự kết hợp

này giúp hạn chế những nhược điểm đồng thời cũng phát huy những ưu điểm của cả hai phần. Trương Thanh Cảnh, 2010 đã nghiên cứu xử lý nước thải chăn nuôi heo trên mô hình USBF với hiệu quả xử lý COD, BOD₅, SS, N và P tương ứng là 97, 80, 94, 90 và 85% [4]. Pedro R. Cordoba và cộng sự, 1995 đã nghiên cứu xử lý nước thải sản xuất bơ sữa trên các mô hình USBF và AF. Kết quả nghiên cứu cho thấy ở cùng một điều kiện vận hành nhưng mô hình USBF cho hiệu suất xử lý COD cao hơn mô hình AF. Ở tải trọng hữu cơ 4 kgCOD/m³.ngày, hiệu suất xử lý COD của các mô

hình USBF và AF là 92% và 85%. Ở tải trọng hữu cơ 8 kgCOD/m³.ngày, hiệu suất xử lý COD của các mô hình USBF và AF là 90% và 84%. Tiếp tục tăng tải thì hiệu suất xử lý của mô hình USBF giảm ít nhưng mô hình AF giảm nhiều [5]. Nuri Azbar và cộng sự, 2009 đã nghiên cứu xử lý nước thải sản xuất dầu oliu bằng mô hình USBF hoạt động với tải trọng hữu cơ thay đổi từ 0,45 đến 32 kgCOD/m³.ngày. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình USBF có khả năng chịu được nồng độ COD nước thải đầu vào cao. Hiệu quả xử lý COD đạt 50 – 94%, độ màu đạt 0 – 54%, tổng phenol đạt 39 – 80% và chất rắn lơ lửng đạt 19 – 87%. Hiệu quả xử lý COD có thể đạt được đến 90% khi tải trọng hữu cơ được giữ nhỏ hơn hoặc bằng 10 kgCOD/m³.ngày [6]. Nhằm tăng cường hơn nữa khả năng xử lý của mô hình USBF, lớp đệm bất động trong phần cho màng dính bám sẽ được chuyển thành lớp đệm linh động để có được ưu

điểm của cả hai trạng thái cố định và tầng sôi nhằm tạo điều kiện cho màng sinh học kỵ khí dính bám có nồng độ và hoạt tính sinh khối cao. Trong bài báo này, mô hình USBF với lớp đệm linh động chế tạo từ các giá thể Anox Kaldnes K1 trong phần cho màng dính bám đã được nghiên cứu xử lý nước thải chăn nuôi heo ở các tải trọng hữu cơ khác nhau.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1 Nước thải đầu vào

Nước thải đầu vào được lấy từ bể thu gom của hệ thống xử lý nước thải tại Xí nghiệp chăn nuôi heo Đồng Hiệp ở ấp 3, xã Phạm Văn Cội, huyện Củ Chi, TP HCM. Nước thải có màu đen, đục ngầu và bốc mùi hôi thối khó chịu. Thành phần và tính chất nước thải được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần và tính chất nước thải đầu vào

STT	Thông số nước thải	Đơn vị	Giá trị trung bình
1	pH	-	6,89 – 7,22
2	Độ kiềm	mgCaCO ₃ /L	1716 – 2176
3	SS	mg/L	1890 – 2260
4	BOD ₅	mg/L	2280 – 3040
5	COD	mg/L	3800 – 4260
6	TN	mg/L	524 – 702
7	TP	mg/L	111 – 161

2.2 Bùn cấy ban đầu

Bùn cấy ban đầu chính là loại bùn tự hoại của Nhà máy phân bón Hòa Bình. Bùn cấy có màu đen với tỉ lệ VSS/SS từ 0,55 đến 0,60 được cho vào mô hình với nồng độ từ 10 đến 12 g/L. Trước khi cho vào mô hình, bùn cấy được lọc qua rây với

kích thước lỗ 0,6 mm để loại bỏ rác, cát và tạp chất.

2.3 Lớp đệm linh động

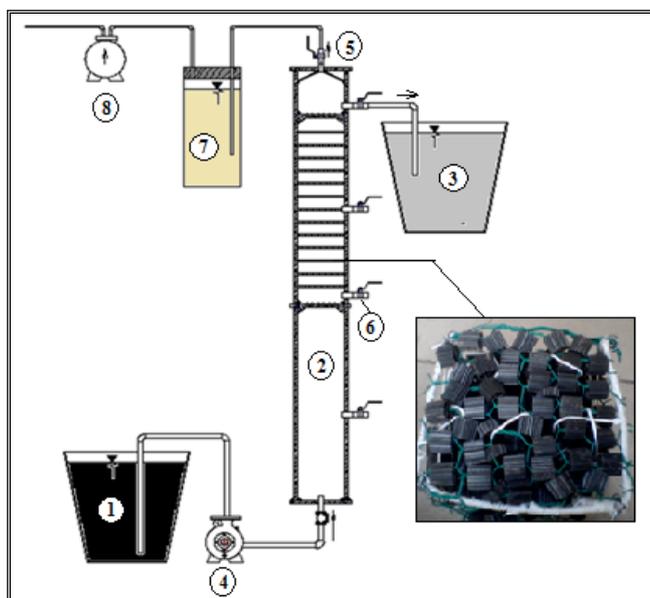
Dây kẽm bọc nhựa xỏ qua các giá thể Anox Kaldnes K1 di động có diện tích bề mặt riêng 500 m²/m³ được đan thành các tấm lưới với kích thước

mỗi tấm lưới là chiều dài 120 mm x chiều rộng 120 mm. Tất cả có 15 tấm lưới được sắp xếp thành các lớp cách nhau 30 mm và được kết nối tạo nên một khối hình trụ như Hình 1. 645 giá thể Anox Kaldnes K1 với tổng diện tích bề mặt là 0,31 m² được sử dụng và bố trí ở các vị trí xen kẽ khác nhau giữa các tấm lưới nhằm tăng hiệu quả tiếp xúc giữa vi sinh và cơ chất cũng như nhằm tránh vấn đề tắc nghẽn, ngăn dòng có thể xảy ra. Khi nước đi lên hoặc khí thoát ra qua lớp đệm linh động sẽ làm các giá thể chuyển động xung quanh các vị trí định trước trên các tấm lưới.

2.4 Mô hình thí nghiệm

Mô hình USBF làm bằng mica có kích thước chiều dài 125 mm x chiều rộng 125 mm x chiều cao 1000 mm tương ứng với thể tích lắp đặt là

15,63 lít và thể tích làm việc là 14 lít. Mô hình này có 2 phần: phía dưới là phần cho bùn lơ lửng (UASB) có chiều cao 450 mm và phía trên là phần cho màng dính bám (AF) có chiều cao 450 mm. Như vậy, tỉ lệ giữa UASB/AF là 1/1. Lớp đệm linh động được đưa vào phần cho màng dính bám ở phía trên. Trong Hình 2, hệ thống thí nghiệm bao gồm: 1/Thùng chứa nước thải đầu vào: 80 lít (Nhựa PE, Việt Nam); 2/Mô hình USBF gồm 2 phần: 15,63 lít (Mica, Việt Nam); 3/Thùng chứa nước thải đầu ra: 80 lít (Nhựa PE, Việt Nam); 4/Bơm nước thải đầu vào (Định lượng, Hoa Kỳ); 5/Van xả khí (Thau, Ø13, Việt Nam); 6/Van lấy mẫu nước (Thau, Ø13, Việt Nam); 7/Chai chứa dung dịch NaOH (Thuỷ tinh, Việt Nam); 8/Đồng hồ đo lưu lượng khí CH₄ (Meterfabriek Schlumberger, Hà Lan).



Hình 1. Hệ thống thí nghiệm

2.5 Trình tự thí nghiệm

Hệ thống thí nghiệm được khởi động bằng cách nạp vào mô hình USBF bùn cấy ban đầu cùng với nước thải đầu vào đã được pha loãng đến nồng độ COD vào khoảng 1500 mg/L tương ứng với tải trọng hữu cơ 1 kgCOD/m³.ngày. Nước thải đầu ra được bơm tuần hoàn trở lại mô hình USBF cho đến khi hiệu quả xử lý COD đạt trên 80%. Sau khi

thích nghi, hệ thống được tiếp tục vận hành theo hướng tăng dần tải trọng hữu cơ từ 2 đến 4 kgCOD/m³.ngày với cùng thời gian lưu nước là 24 giờ nhưng thay đổi nồng độ COD đầu vào từ 2000 đến 4000 mg/L; rồi đến 6, 8, 10 kgCOD/m³.ngày với cùng nồng độ COD đầu vào nhưng giảm thời gian lưu nước từ 16; 12; 9,6 giờ. Giá trị pH của

nước thải đầu vào luôn được giữ trong khoảng từ 6,72 đến 7,23.

2.6 Phương pháp phân tích

trong Qui chuẩn Việt Nam (QCVN) kết hợp với Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, Eaton DA, and AWWA) tại Phòng Thí nghiệm Công nghệ Môi trường thuộc Viện Môi trường và Tài nguyên, Đại học Quốc gia TPHCM. Lưu lượng khí sinh học được đo bằng đồng hồ ở mỗi tải trọng khi đã ổn định. Thành phần CH₄ trong khí sinh học được xác định bằng máy GCMS-QP2010 Plus. Sinh khối tạo thành chỉ được đánh giá khi kết thúc vận hành mô hình. Nồng độ sinh khối trong phần cho màng dính bám được xác định bằng hiệu số khối lượng đã sấy của 1 giá thể trước và sau khi bóc tách sinh khối nhân với số lượng giá thể là 645 rồi chia cho thể tích phần AF là 7 lít. Tất cả các phân tích được

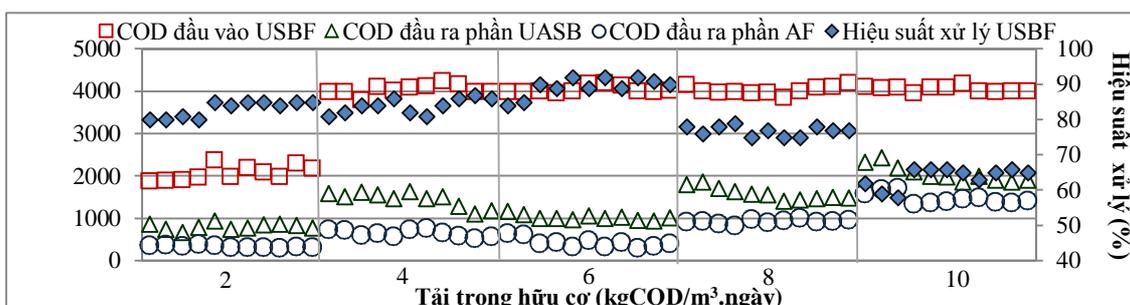
lặp lại ba lần và kết quả biện luận bên dưới được lấy theo giá trị trung bình.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

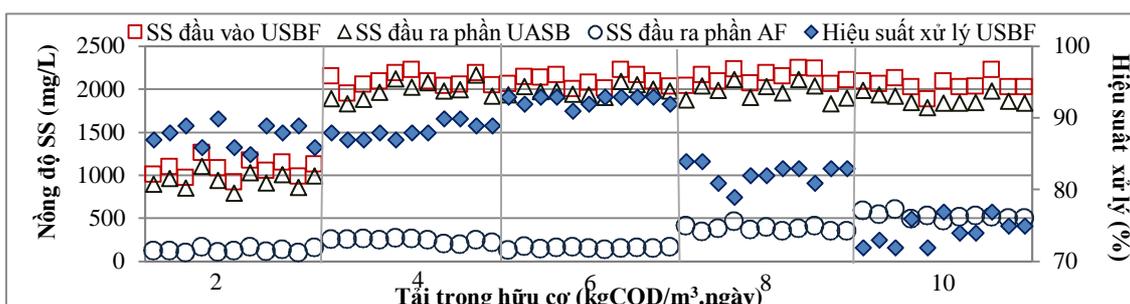
Giai đoạn thích nghi kết thúc sau khoảng 90 ngày khi hiệu suất xử lý COD và SS toàn mô hình ổn định lần lượt là 84% và 83%. Màng sinh học kỵ khí dính bám được quan sát thấy phủ kín xung quanh bề mặt giá thể. Khí sinh học cũng được tạo thành thông qua các bong bóng nhỏ nổi lên bề mặt. Giá trị pH nước thải đầu ra tăng dần và ổn định trong khoảng từ 7,68 đến 7,79.

Mẫu nước được lấy tại các vị trí là đầu vào mô hình, đầu ra mô hình và tại điểm chuyển tiếp giữa 2 phần UASB và AF. Các chỉ tiêu ô nhiễm của nước thải như pH, COD, SS, VFA và độ kiềm được phân tích theo các phương pháp

3.1 Đánh giá hiệu quả xử lý



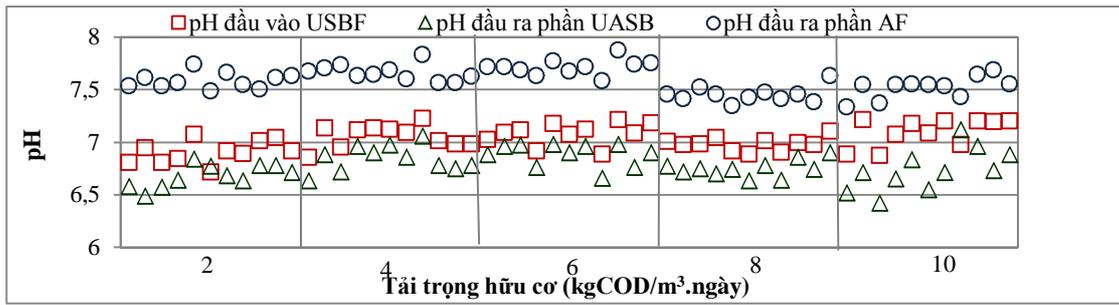
Hình 2. Biến thiên nồng độ và hiệu suất xử lý COD theo tải trọng hữu cơ



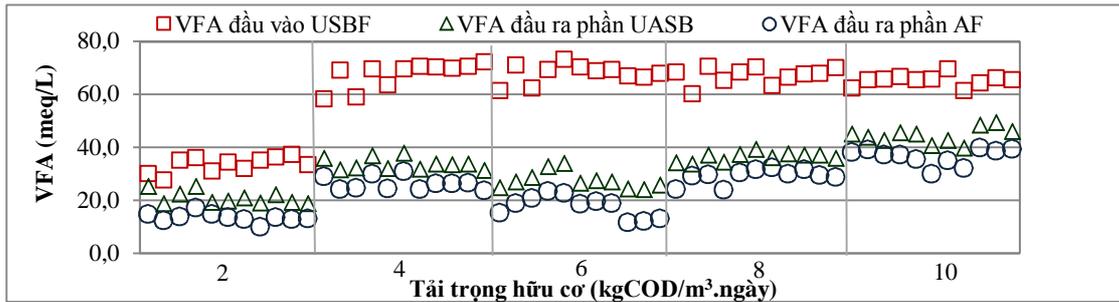
Hình 3. Biến thiên nồng độ và hiệu suất xử lý SS theo tải trọng hữu cơ

Sau khi thích nghi, mô hình USBF được tiếp tục vận hành theo hướng tăng dần tải trọng hữu cơ từ 2, 4, 6, 8 đến 10 kgCOD/m³.ngày. Hình 2 và Hình 3 cho thấy khả năng xử lý của mô hình được thể hiện qua sự thay đổi nồng độ hay hiệu quả xử lý COD và SS theo tải trọng hữu cơ trong suốt thời gian 110 ngày vận hành tăng tải. Ở giai đoạn đầu, mô hình được chạy với tải trọng hữu cơ thấp từ 2 đến 4 kgCOD/m³.ngày nhằm tích lũy nồng độ và nâng cao hoạt tính cho sinh khối. Hiệu quả xử lý COD và SS tương ứng là 80 – 85% và 85 – 90% ở tải trọng hữu cơ 2 kgCOD/m³.ngày và 81 – 87% và 87 – 90% ở tải trọng hữu cơ 4 kgCOD/m³.ngày. Hiệu quả xử lý COD và SS cũng đạt giá trị cao nhất ở tải trọng hữu cơ 6 kgCOD/m³.ngày ứng với thời gian lưu nước 16 giờ là 84 – 92% và 91 – 93%. Sự tương đồng giữa hiệu quả xử lý COD và SS cũng là hợp lý vì giữa chất rắn lơ lửng và hàm lượng hữu cơ có mối liên hệ qua lại, SS giảm thì COD cũng giảm. Tiếp tục tăng tải trọng hữu cơ lên đến 8 và 10 kgCOD/m³.ngày hay giảm thời gian lưu nước xuống còn 12 và 9,6 giờ tương ứng, vận tốc nước dâng trong mô hình tăng dẫn đến sinh khối mất dần thoát ra theo nước nên hiệu suất xử lý COD giảm và nồng độ SS đầu ra tăng. Lúc này, hiệu quả xử lý COD và SS dao động trong khoảng 56 – 64% và 79 – 84% ở tải trọng hữu cơ 8 kgCOD/m³.ngày và 49 – 69% và 66 – 78% ở tải trọng hữu cơ 10 kgCOD/m³.ngày. pH, VFA và độ kiềm được thể hiện ở Hình 4, 5, 6 là những thông số ảnh hưởng rất lớn đến khả năng xử lý của mô hình kỵ khí và là dấu hiệu cho thấy sự cân bằng và ổn định giữa quá trình axit hóa và quá trình metan hóa. pH của nước thải đầu vào mô hình USBF dao động trong khoảng từ 6,72 đến 7,23 trong khi pH của nước thải đầu ra phần UASB dao động trong khoảng từ 6,43 đến 7,13 và pH của nước thải đầu ra phần AF dao động trong khoảng từ 7,34 đến 7,88. Như vậy là pH có khuynh hướng giảm xuống ở phần UASB và tăng lên ở phần AF. Điều này chứng tỏ quá trình axit

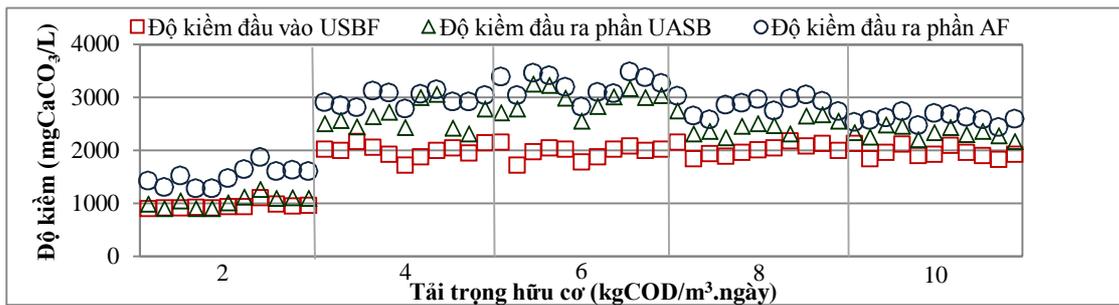
hóa xảy ra trội hơn ở phần UASB và quá trình metan hóa xảy ra trội hơn ở phần AF. Nồng độ VFA của nước thải đầu ra phần UASB và của nước thải đầu ra phần AF ở 5 tải trọng nêu trên tương ứng là 18,8 – 25,4 và 10,0 – 17,1; 31,3 – 37,9 và 23,7 – 31,0; 24,8 – 34,1 và 11,6 – 23,4; 33,8 – 39,5 và 23,9 – 31,7; 39,9 – 49,5 và 29,9 – 39,8 meq/L. Độ kiềm của nước thải đầu ra phần UASB và của nước thải đầu ra phần AF ở 5 tải trọng nêu trên tương ứng là 900 – 1268 và 1282 – 1872; 2320 – 3062 và 2792 – 3148; 2564 – 3262 và 2830 – 3488; 2240 – 2750 và 2584 – 3050; 2170 – 2490 và 2440 – 2738 mgCaCO₃/L. Tỷ lệ giữa VFA/độ kiềm ở các tải trọng là 0,003 – 0,016 và nhỏ hơn 4/10, chứng tỏ hỗn hợp đệm trong mô hình đủ để giữ pH thay đổi không nhiều giúp cho hiệu quả xử lý COD và SS của mô hình luôn đạt trên 80 và 85% ở các tải trọng 2, 4, 6 kgCOD/m³.ngày cũng như luôn đạt trên 58 và 72% ở các tải trọng 8, 10 kgCOD/m³.ngày [7]. Tính chung cho cả mô hình thì cân bằng giữa 2 quá trình axit hóa và metan hóa đã đạt được. Trong mô hình USBF, phần UASB loại bỏ một lượng lớn COD với hiệu quả xử lý từ 40 đến 76% và phần AF loại bỏ một lượng lớn SS với hiệu quả xử lý từ 62 đến 89% là phù hợp với thiết kế lai hợp của mô hình để có sự hỗ trợ qua lại nhằm tăng cường hiệu quả xử lý. Tham khảo kết quả nghiên cứu trước đây của Pedro R. Cordoba và cộng sự, 1995 [5], Nuri Azbar và cộng sự, 2009 [6], W. J. Ng và cộng sự, 1988 [8] thì hiệu quả xử lý COD và SS trong nghiên cứu này là cao hơn một chút ở cùng tải trọng. Chính lớp đệm linh động là nhân tố chính giúp tăng cường hiệu quả xử lý thông qua chiều dày lớp màng sinh học kỵ khí dính bám đều hơn cũng như hiệu quả tiếp xúc giữa vi sinh và cơ chất tốt hơn nhờ các giá thể chuyển động một cách nhẹ nhàng và liên tục. Điều này cũng giúp mô hình hoạt động ổn định và hiện tượng tắc nghẽn hay ngắn dòng đã không xảy ra trong suốt thời gian vận hành.



Hình 4. Giá trị pH ở đầu vào, đầu ra phần UASB và phần AF của mô hình USBF



Hình 5. Giá trị VFA ở đầu vào, đầu ra phần UASB và phần AF của mô hình USBF

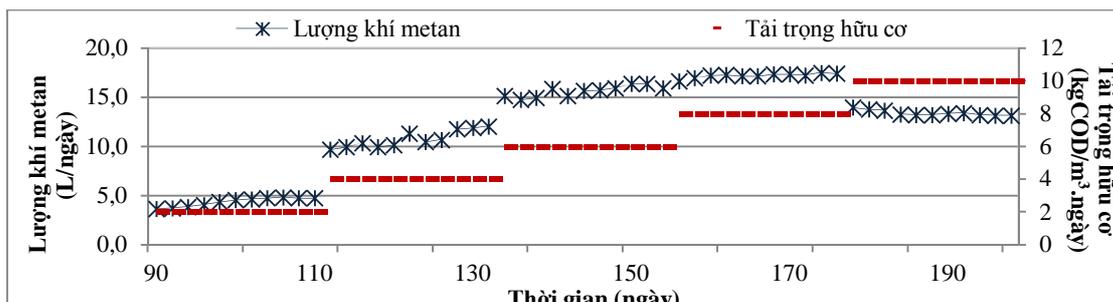


Hình 6. Giá trị độ kiềm ở đầu vào, đầu ra phần UASB và phần AF của mô hình USBF

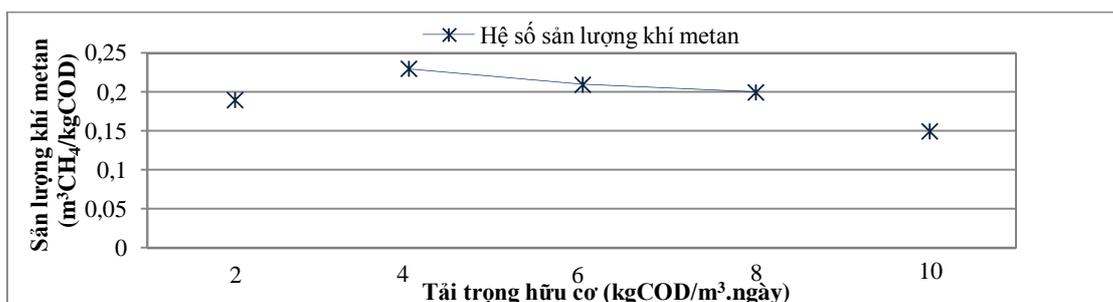
3.2 Đánh giá lượng khí sinh ra

Quá trình vận hành của mô hình USBF cũng được đánh giá qua lượng khí metan sinh ra và thành phần của khí sinh học. Hình 7 thể hiện lượng khí metan sinh ra theo tải trọng hữu cơ. Có thể thấy rằng lượng khí metan sinh ra tăng khi tải trọng hữu cơ tăng và đạt giá trị cao nhất là 17,5 L/ngày ở tải trọng 8 kgCOD/m³.ngày. Khí sinh học có thành phần CH₄ chiếm 48 – 62% thể tích, còn lại chủ yếu là CO₂ và một lượng nhỏ N₂, H₂S. Hình 8 thể hiện hệ số sản lượng của khí metan trong quá trình xử

lý. Có thể thấy rằng hệ số sản lượng của CH₄ đạt giá trị cao nhất là 0,23 m³CH₄/kgCOD ở tải trọng hữu cơ 4 kgCOD/m³.ngày. Tải trọng hữu cơ tăng, hiệu quả xử lý tăng nhưng hoạt tính vi sinh trong pha metan hóa giảm nên ở tải trọng hữu cơ 6 kgCOD/m³.ngày với hiệu quả xử lý COD và SS cùng đạt giá trị cao nhất và lượng khí CH₄ sinh ra dao động khoảng 14,7 – 16,4 L/ngày nhưng hệ số sản lượng của CH₄ chỉ là 0,21 m³CH₄/kgCOD. Tăng dần tải trọng hữu cơ, hệ số sản lượng của CH₄ giảm dần.



Hình 7. Lượng khí metan sinh ra theo tải trọng hữu cơ



Hình 8. Hệ số sản lượng của khí metan trong quá trình xử lý

3.3 Đánh giá sinh khối tạo thành

Trong suốt quá trình vận hành khi tăng tải trọng hữu cơ, màng sinh học kị khí dính bám càng ngày càng dày giúp tăng nồng độ sinh khối đồng thời màng sinh học kị khí dính bám cũng có độ linh động cao giúp tăng hoạt tính sinh khối. Điều này đã làm tăng hiệu quả xử lý thành phần hữu cơ và chất rắn lơ lửng của mô hình USBF. Do không thể lấy được giá thể ra khỏi khi đang vận hành vì đây là bể kị khí nên việc xác định nồng độ sinh khối bên trên lớp đệm linh động chỉ được thực

hiện vào lúc kết thúc thí nghiệm. Nồng độ sinh khối (VSS) trong phần cho màng dính bám là 3080 mg/L và tỉ lệ khối lượng VSS/SS là 0,78. Tham khảo kết quả nghiên cứu trước đây của Huỳnh Ngọc Phương Mai, 2006 với nồng độ sinh khối là 3390 mg/L nhưng chiều dày lớp màng sinh học dính bám không đều và thường xảy ra các vùng chết trong mô hình [9]. Như vậy, lớp đệm linh động đã cho thấy ưu điểm hơn lớp đệm bất động trong mô hình USBF.



Hình 9. Giá thể K1 khi kết thúc thí nghiệm

4. KẾT LUẬN

Lớp đệm linh động được chế tạo từ giá thể K1 ở phần lọc kị khí giúp hệ lai hợp kị khí USBF vừa tăng hiệu quả xử lý thành phần hữu cơ và chất rắn lơ lửng có trong nước thải chăn nuôi heo vừa giữ được sự ổn định và hiện tượng tắc nghẽn hay ngắn dòng đã không xảy ra trong suốt thời gian vận hành. Mô hình nghiên cứu cho hiệu quả xử lý

cao nhất ở tải trọng hữu cơ 6 kgCOD/m³.ngày tương ứng thời gian lưu nước 16 giờ với hiệu suất xử lý COD đạt tới 92% và hiệu suất xử lý SS đạt tới 93%. Tuy nhiên nồng độ các chất ô nhiễm có trong nước thải đầu ra vẫn còn khá cao, vượt qui chuẩn xả thải nhiều lần, đặc biệt là thành phần dinh dưỡng, nên việc xử lý tiếp theo là cần thiết.

Treatment of piggery wastewater by USBF reactor with flexible - bed in anaerobic filter part

- Dang Viet Hung
- Do Thi Hong Ha

University of Technology, VietNam Nation University – HCMC

ABSTRACT

In this study, an upflow sludge blanket filtration (USBF) model, which is a combination of suspended growth in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) part and attached growth in anaerobic filter (AF) part is improved to enhance treatment efficiency of piggery wastewater by changing support media in AF part from fixed - bed to flexible - bed. Flexible – bed, made from Anox Kaldnes K1 media, allows for attachment of large amounts of highly active biomass. The USBF model made of acrylic had the work volume of 14 liters and the ratio of UASB/AF of 1/1. Organic loading rate (OLR) was increased

from 1 to 10 kgCOD/m³.day and corresponding hydraulic retention times (HRT) was reduced from 36 to 9.6 hours. The results showed that treatment efficiencies of COD and SS reached 92% and 93%, respectively at the optimum OLR of 6 kgCOD/m³.day and the corresponding HRT of 16 hours. In the anaerobic filter part, the biomass concentration (VSS) was 3080 mg/L and the ratio of VSS/SS was 0.78 at the end of operation. The results also showed that biofilm attached on media surface of the flexible - bed was active and regular.

Keywords: flexible - bed, piggery wastewater, USBF.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Vũ Đình Tôn, Lại Thị Cúc, Nguyễn Văn Duy, Đánh giá hiệu quả xử lý chất thải bằng bể biogas của một số trang trại chăn nuôi lợn vùng đồng bằng sông Hồng, *Đại học Nông nghiệp Hà Nội - Tạp chí Khoa học và Phát triển*, Tập VI (6), 556-561 (2008).
- [2]. Nguyễn Thị Hồng và Phạm Khắc Liệu, Đánh giá hiệu quả xử lý nước thải chăn nuôi bằng hầm biogas quy mô hộ gia đình ở Thừa Thiên Huế, *Đại học Huế - Tạp chí khoa học*, Tập 73 (4), 83-91 (2012).
- [3]. D. Obaja, S. Mace, J. Mata-Alvarez, Biological nutrient removal by a sequencing batch reactor (SBR) using an internal organic carbon source in digested piggery wastewater, *Journal of Bioresource Technology*, Volume 96, 7-14 (2005).
- [4]. Trương Thanh Cảnh, Nghiên cứu xử lý nước thải chăn nuôi bằng công nghệ sinh học kết hợp lọc dòng bùn ngược, *Đại học Quốc gia TP HCM - Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ*, Tập 13 (M1), 48-58 (2010).
- [5]. Pedro R. Cordoba, Alejandro P. Francese, Faustino Sineriz, Improved performance of a hybrid design over an anaerobic filter for the treatment of dairy industry wastewater at laboratory scale, *Journal of Fermentation and Bioengineering*, Volume 79, Issue 3 270-272 (1995).
- [6]. Nuri Azbar, Fatih Tutuk, Tugba Keskin, Biodegradation performance of an anaerobic hybrid reactor treating olive mill effluent under various organic loading rates, *Journal of International Biodeterioration and Biodegradation*, Volume 63, Issue 6, 690-698 (2009).
- [7]. R. Rajakumar, T. Meenambal, J. Rajesh Banu, I. T. Yeom, Treatment of poultry slaughterhouse wastewater in upflow anaerobic filter under low upflow velocity, *International Journal of Environmental Science & Technology*, Volume 8, Issue 1, 149-158 (2011).
- [8]. W. J. Ng, K. K. Chin, Treatment of piggery wastewater by expanded-bed anaerobic filters, *Journal of Biological Wastes*, Volume 26, Issue 3, 215-228 (1988).
- [9]. Huynh Ngọc Phương Mai, Integrated treatment of typical processing industrial wastewater based on environmental biotechnology, *PhD-Thesis Wageningen University, the Netherlands*, 45-47 (2006).