

NGHIÊN CỨU XỬ LÝ NƯỚC THẢI CHĂN NUÔI BẰNG CÔNG NGHỆ SINH HỌC KẾT HỢP LỌC DÒNG BÙN NGƯỢC

Trương Thanh Cảnh

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 06 tháng 01 năm 2010, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 15 tháng 06 năm 2010)

TÓM TẮT: Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng một mô hình công nghệ sinh học kết hợp lọc sinh học dòng bùn ngược (*the Upflow Sludge Blanket filtration, USBF*), để xử lý nước thải chăn nuôi. Đây là công nghệ cải tiến của quá trình bùn hoạt tính trong đó kết hợp 3 quá trình thiếu khí, hiếu khí và lọc sinh học trong một đơn vị xử lý nước thải.

Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình tương đối thích hợp cho xử lý nước thải chăn nuôi. Hiệu quả xử lý vào khoảng 97%, 80%, 94%, 90% and 85% tương ứng cho COD, BOD₅, SS, N và P. Việc kết hợp 3 modul trong một quá trình xử lý tạo ra ưu điểm lớn trong việc nâng cao hiệu quả xử lý, với sự kết hợp này sẽ đơn giản hoá hệ thống xử lý, tiết kiệm vật liệu và năng lượng chi phí cho quá trình xây dựng và vận hành hệ thống.

Từ khóa: USBF, xử lý nước thải chăn nuôi, bùn hoạt tính.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, sự phát triển sản xuất ngành chăn nuôi là sự kết hợp của nhiều khuynh hướng kỹ thuật và quản lý mới. Kết quả của các xu thế đổi mới đó là làm tăng cường hiệu quả sản xuất trên một đơn vị lao động và đất đai. Đồng thời, cùng với quá trình phát triển chăn nuôi theo hướng công nghiệp hóa với trình độ thâm canh cao là việc phát sinh các vấn đề ô nhiễm môi trường đang ngày càng trầm trọng. Một trong những vấn đề chưa được quan tâm giải quyết là việc tìm ra những giải pháp thích hợp nhằm hạn chế tác động tiêu cực của chăn nuôi lên môi trường. Nước thải từ các cơ sở chăn nuôi thường được thải trực tiếp vào nguồn tiếp nhận không qua xử lý hay xử lý không đầy đủ gây ô nhiễm môi trường nước, không khí và đất trầm trọng.

Hiện nay có nhiều phương pháp khác nhau được sử dụng trong công nghệ xử lý nước thải chăn nuôi. Các phương pháp ứng dụng công nghệ sinh học đang được sử dụng phổ biến nhất trong hầu hết các hệ thống xử lý nước thải. Thường thì một hệ thống xử lý được đánh giá bởi hiệu quả của việc xử lý như khả năng loại bỏ các chất ô nhiễm, nito hay phospho..., khả năng áp dụng của chúng như giá thành của hệ thống, giá thành của một m³ nước được xử lý hay độ phức tạp của công nghệ và quá trình vận hành, bảo dưỡng thiết bị...

Hệ thống công nghệ sinh học kết hợp lọc dòng ngược bùn sinh học (*Upflow Sludge Blanket Filtration, USBF*) được thiết kế dựa trên mô hình động học xử lý BOD, nitrate hóa (*nitrification*) và khử nitrate hóa (*denitrification*) của Lawrence và McCarty.

Tuy nhiên, hiện nay trên thế giới mô hình của Lawrence và McCarty được áp dụng, cải tiến hay kết hợp trên nhiều dạng khác nhau tùy thuộc vào loại hình nước thải. Công nghệ này mới chỉ được áp dụng hạn chế ở Việt Nam (Trương Thanh Cảnh & ctv, 2006), mặc dù công nghệ bùn hoạt tính đã được sử dụng như một công nghệ kinh điển trong công tác xử lý nước thải phổ biến ở nước ta.

Nghiên cứu của chúng tôi sử dụng mô hình công nghệ USBF để xử lý nước thải chăn nuôi, là công nghệ cải tiến của quá trình bùn hoạt tính trong đó kết hợp 3 quá trình thiếu khí (*Anoxic*), hiếu khí (*Aeration*) và lọc (*Filtration*) bằng dòng ngược bùn sinh học, trong một đơn vị xử lý nước thải. Đây chính là điểm khác nhau cơ bản so với hệ thống xử lý bùn hoạt tính kinh điển, thường tách rời ba quá trình trên nên tốc độ và hiệu quả xử lý thấp. Với sự kết hợp này sẽ đơn giản hoá hệ thống

xử lý, tiết kiệm vật liệu và năng lượng chi phí cho quá trình xây dựng và vận hành hệ thống. Đồng thời hệ thống có thể xử lý nước thải có tải lượng hữu cơ, N và P cao như nước thải chăn nuôi.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nội dung nghiên cứu

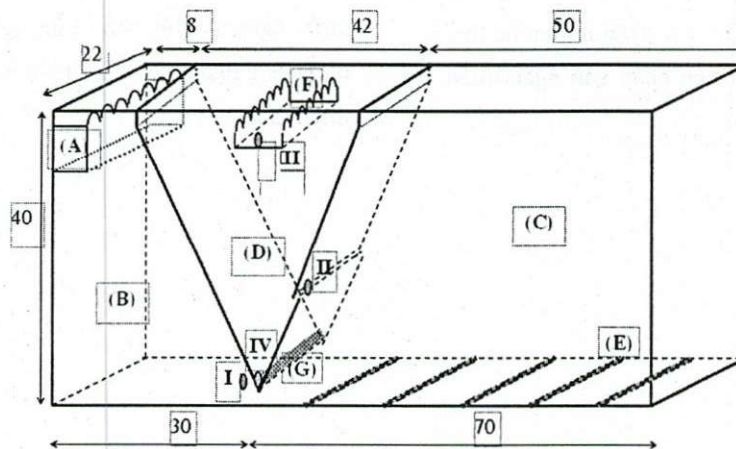
Nghiên cứu được thực hiện nhằm:

- Khảo sát sự thích nghi và đặc tính của bùn hoạt tính trong quá trình nghiên cứu với mô hình động tại phòng thí nghiệm.

- Nghiên cứu quá trình khử carbon (COD, BOD), quá trình trình loại bỏ nito và phosphor từ nước thải chăn nuôi bằng mô hình USBF.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Mô hình nghiên cứu



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo của mô hình

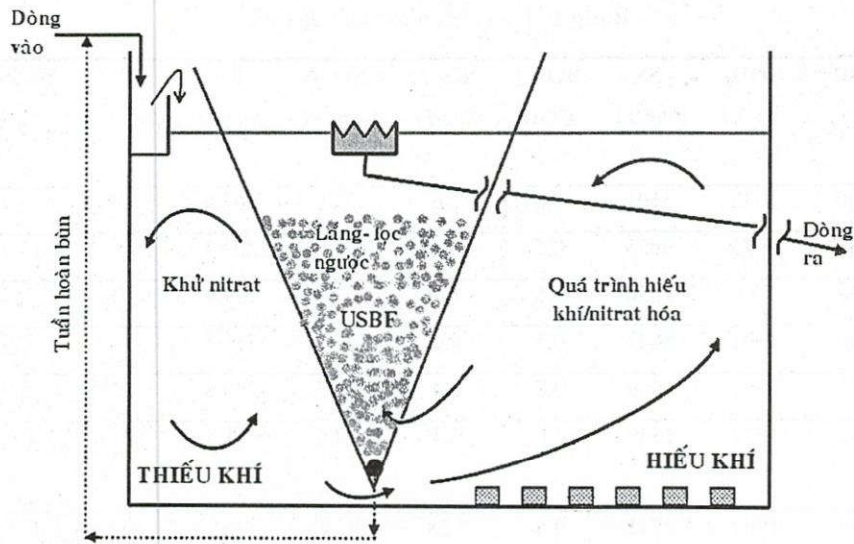
Chú thích:

Các chữ số chỉ kích thước các chiều của hệ thống (cm), (A): Mương thu nước đầu vào; (B): Ngăn thiếu khí; (C) : Ngăn hiếu khí; (D): Ngăn USBF; (E): Các thanh sục khí; (G): Ống thu bùn; I, II, III: Các điểm lấy mẫu ngăn thiếu khí, hiếu khí và sau quá trình xử lý; IV: vị trí tuần hoàn bùn.

Cấu tạo của mô hình: Mô hình thí nghiệm được làm từ vật liệu là nhựa tấm (Hình 1), có kích thước $100 \times 22 \times 40$ (Dài \times rộng \times cao, đơn vị tính cm), bao gồm 3 module chính: ngăn thiếu khí (*Anoxic*), ngăn hiếu khí (*Aerobic*) và ngăn lọc dòng ngược bùn sinh học (*USBF*). Một mương chảy tràn để thu nước đầu vào nhằm hạn chế tác động của dòng vào đối với ngăn thiếu khí và tăng hiệu quả xáo trộn giữa dòng nước thải đầu vào và bùn tuần hoàn. Các thiết bị cần thiết bao gồm: 1 máy bơm định lượng bơm nước thải đầu vào, 1 máy bơm bùn và 1 máy thổi khí, mương chảy tràn, ống thu nước đầu ra, ống thu bùn, bộ phận sục khí...

Nguyên tắc hoạt động của mô hình (Hình 2): Mô hình được thiết kế nhằm kết hợp các quá trình loại bỏ carbon (COD, BOD), quá trình nitrate hoá/khử nitrate và quá trình loại bỏ dinh dưỡng (N và P). Nước thải chăn nuôi được loại bỏ chất rắn, sau đó, được bơm vào mương chảy tràn thu nước đầu vào cùng trộn lẫn với dòng tuần hoàn bùn. Hỗn hợp nước thải và bùn hoạt tính đầu tiên chảy vào ngăn thiếu

khí. Ngăn này có vai trò như là ngăn chọn lọc thiếu khí (*Anoxic selector*) thực hiện hai cơ chế chọn lọc động học (*Kinetic selection*) và chọn lọc trao đổi chất (*Metabolism selection*) để làm tăng cường hoạt động của vi sinh vật tạo bông nhằm tăng cường hoạt tính của bông bùn và kìm hãm sự phát triển của các vi sinh vật hình sợi gây vón bùn và nổi bọt. Quá trình loại bỏ C, khử nitrate và loại bỏ P chủ yếu diễn ra trong ngăn này. Sau đó, nước thải chảy qua ngăn hiếu khí nhờ rãnh thông dưới đáy ngăn USBF. Ở đây oxy được cung cấp nhờ các ống cung cấp khí qua một máy bơm khí có thể hiệu chỉnh cường độ cấp khí. Nước thải sau ngăn hiếu khí chảy vào ngăn USBF có cấu trúc hình phễu và di chuyển từ dưới lên, ngược chiều với dòng bùn lắng xuống theo phương thẳng đứng. Đây chính là công đoạn thể hiện ưu điểm của hệ thống do kết hợp cả lọc và xử lý sinh học của chính khối bùn hoạt tính. Phần nước trong đã được xử lý phía trên chảy tràn vào mương thu nước đầu ra. Một phần hỗn hợp nước thải và bùn trong ngăn này được tuần hoàn trở lại ngăn thiếu khí.



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của mô hình

2.2.2. Nước thải chăn nuôi

Mẫu nước thải chăn nuôi được lấy tại Trại chăn nuôi heo của một doanh nghiệp chăn nuôi tư nhân ở Đường Lê Đức Thọ, Quận Vò Vấp, TP. Hồ Chí Minh. Nước thải lấy ở bể gom, tại thời điểm từ 8 – 9 giờ sáng, ngay sau khi rửa chuồng khoảng 15 – 30 phút. Nước thải là hỗn hợp bao gồm một phần phân rắn, nước tiểu và nước rửa chuồng và tắm heo. Mỗi lần lấy 250 lít trong các bình nhựa 30 lít, đủ số lượng cho cả đợt chạy mô hình thí nghiệm. Mẫu nước thải được bảo quản trong điều kiện thường ở phòng Thí nghiệm Phân tích Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên TP Hồ Chí Minh.

2.2.3. Theo dõi mô hình:

Quá trình nghiên cứu trải qua 2 giai đoạn: Giai đoạn thích nghi và giai đoạn khảo sát

chính. Bùn hoạt tính dùng cho giai đoạn chạy thích nghi ban đầu được lấy từ hệ thống xử lý nước thải Nhà máy sữa Trường Thọ, TP. Hồ Chí Minh.

Giai đoạn khảo sát chính bao gồm:

- 1) Khảo sát hiệu quả xử lý (H) theo nồng độ bùn (X);
- 2) Khảo sát H theo nồng độ COD;
- 3) Khảo sát H theo thời gian lưu nước (HRT) và tải trọng (L);
- 4) Khảo sát H theo tuổi bùn (SRT).

Số liệu được xử lý bằng phần mềm SPSS.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả phân tích thành phần nước thải ban đầu

Bảng 1. Tính chất nước thải đầu vào

Mẫu	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	BOD ₅ / COD	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	Nt (mg/L)	P (mg/L)	BOD ₅ / Nt ¹	BOD ₅ /Pt ²
1	1600	1042	3101	0,6	1,6	12,9	167,4	1005	6,2	1,0
2	5687	2975	9635	0,5	0,0	65,0	202,4	386	14,7	7,7
3	1648	784	1350	0,5	8,7	53,5	137,9	1640	5,6	0,5
4	2000	1002	8647	0,5	0,0	30,7	311,1	616	3,2	1,6
5	2827	2032	1069	0,7	0,0	37,7	280,8	779	7,2	2,6
6	2462	1539	1549	0,6	3,4	52,6	317,8	2512	4,8	0,6
7	2704	1562	2711	0,6	2,28	42,1	236,2	1155	6,98	2,35

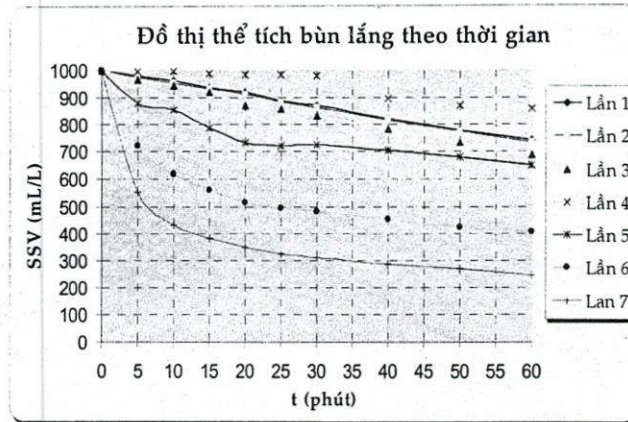
Từ kết quả ở Bảng 1 cho thấy nước thải chăn nuôi có thành phần ô nhiễm rất cao, các chỉ tiêu phân tích có giá trị vượt xa nhiều lần so với tiêu chuẩn xả thải ngay ở mức thấp nhất quy định cho nước thải chăn nuôi theo TCN 678-2006.

Tuy nhiên, mặc dù các mẫu nước thải chăn nuôi có thành phần các chất ô nhiễm cao nhưng chúng là loại nước thải giàu hữu cơ có nguồn gốc từ sinh khối động vật (biowastes) nên dễ bị phân hủy sinh học. Tỷ lệ BOD₅/COD, một chỉ tiêu quan trọng đánh giá khả năng xử lý sinh học, nằm trong khoảng 0,5 – 0,7. Chỉ số BOD₅/Nt trong khoảng 3,2-14,7, và BOD₅/Pt vào khoảng 0,5-7,7. Nước thải có thành phần như vậy rất phù hợp với việc sử dụng các tác nhân sinh học để xử lý và phù hợp với công nghệ xử lý bằng mô hình USBF của chúng tôi ở nghiên cứu này. Theo các nghiên cứu cho thấy chỉ số BOD₅/Nt > 5 thích hợp cho việc kết hợp các quá trình khử carbon, nitrate hóa và khử nitrate (Trương Thanh Cảnh & ctv, 2007;

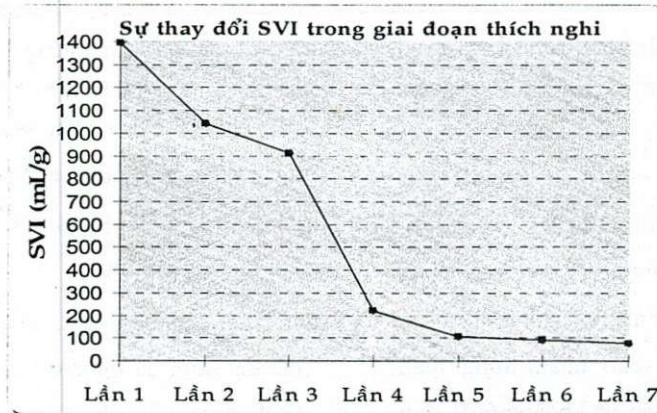
Ghi chú: ¹ Nt: Nito tổng, ² Pt: Phospho tổng Nguyễn Xuân Nguyên & Phạm Hồng Hải, 2003; Metcalf & Eddy, 2003).

3.2. Kết quả nghiên cứu sự thích nghi và đặc tính của bùn hoạt tính qua các chỉ số thể tích bùn (SVI)

Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng bùn hoạt tính lấy từ hệ thống xử lý nước thải nhà máy sữa Trường Thọ, TP. Hồ Chí Minh. Bùn hoạt tính khi mang về để vận hành mô hình có màu sắc thay đổi rõ rệt, sau 2 ngày thích nghi với nước thải chăn nuôi, bùn dần chuyển sang màu cà phê sữa. Quan sát đường cong lắng qua các lần đo chỉ số thể tích bùn SVI (*Sludge Volume Index*), nhận thấy lượng bùn lắng giảm đi rõ rệt theo thời gian và có dạng đặc trưng (Hình 3). Đồng thời SVI giảm nhanh xuống tới 77 ml/g. Điều này chứng tỏ bùn hoạt tính thích nghi rất nhanh với nước thải và mô hình, và nhờ sự kết hợp các quá trình trong hệ thống nên tính chất của bùn được cải thiện đáng kể.



Hình 3. Thể tích bùn lắng theo thời gian ở giai đoạn thích nghi và khi đã thích nghi

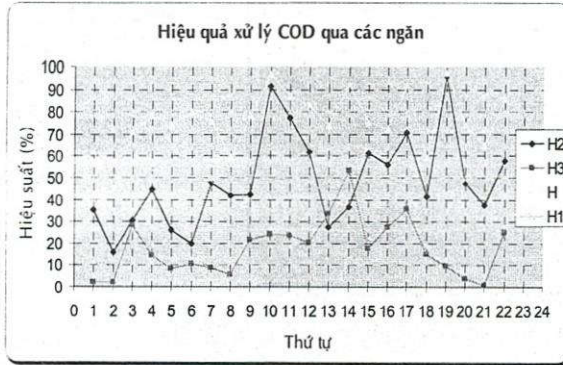


Hình 4. Sự thay đổi của SVI giảm dần về khoảng tối ưu 80-120 ml/g

Các thông số động học K , Y , K_d , K_s và μ_m : Kết quả tính toán các thông số động học nói trên cho thấy tốc độ sử dụng cơ chất riêng $K = 2,18 \text{ ngày}^{-1}$, nghĩa là 1 g bùn hoạt tính sẽ tiêu thụ 2,18 g COD trong một ngày. Hằng số bán tốc độ (hệ số Monod) $K_s = 238,73 \text{ mg/L}$ nghĩa là tại thời điểm tốc độ tăng trưởng bằng $\frac{1}{2}$ tốc độ cực đại thì nồng độ cơ chất (COD) bằng 238,73 mg/L. Hệ số năng suất sử dụng cơ chất cực đại $Y = 3,33 \text{ mg}$ bùn hoạt tính/mg COD, cứ tiêu thụ 1 mg COD thì có 3,33 mg bùn hoạt tính được sản sinh. Hệ số này rất cao chứng tỏ khả năng hấp thu cơ chất của bùn hoạt tính là rất lớn hay hoạt tính của bùn rất mạnh.

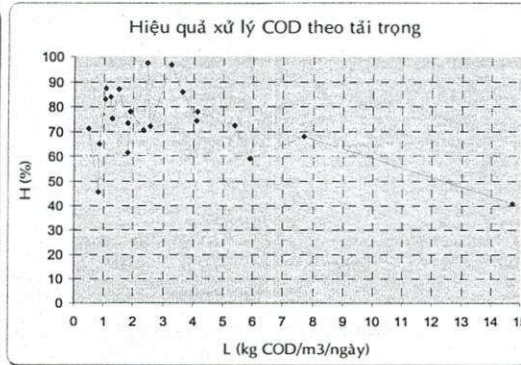
Hệ số tốc độ phân hủy nội bào $K_d = 0,078 \text{ ngày}^{-1}$ có nghĩa là: trong một ngày, cứ 1 g sinh khối được tạo ra thì 0,078 g bị mất đi để duy trì tế bào hay bị chết đi hay bị tiêu thụ bởi các vi sinh vật tiêu thụ bậc cao hơn. Hệ số này tương đối cao. Điều này được giải thích bằng tuổi của nồng độ bùn cao. Hơn nữa, phần sinh khối chết đi đóng vai trò rất quan trọng cho hệ thống USBF vì cung cấp nguồn carbon và năng lượng nội tại cho các VSV ở gần thiếu khí khi chúng được tuần hoàn trở lại. Tốc độ tăng trưởng riêng cực đại $\mu_{\max} = 7,91 \text{ ngày}^{-1}$. Như vậy, bùn ở đây có hoạt tính rất mạnh, vi khuẩn có tốc độ phát triển rất cao. Tất cả những đặc điểm trên

là mang tính đặc trưng và là cơ sở động học chứng minh vì sao mô hình USBF lại có hiệu quả xử lý cao.



3.3. Kết quả nghiên cứu hiệu quả xử lý của mô hình

3.3.1. Hiệu quả xử lý COD



Hình 5. Đồ thị hiệu quả xử lý COD qua các ngăn của bể phản ứng

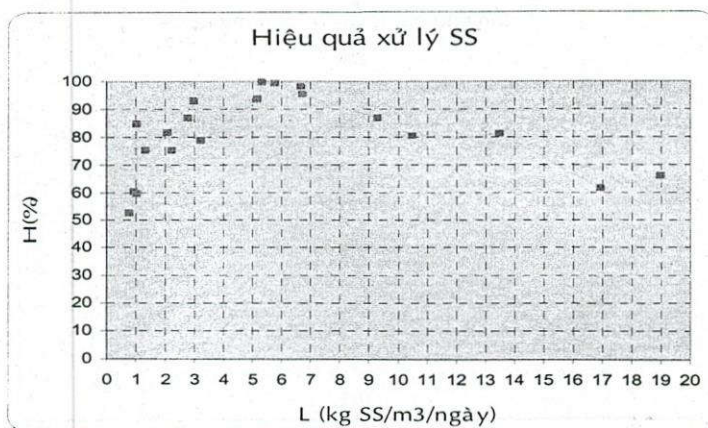
Từ kết quả trình bày ở Hình 5. cho thấy, hiệu quả xử lý COD ở ngăn thiếu khí trung bình vào khoảng 50%, biến thiên từ 24-75%. Như vậy hơn một nửa COD bị loại bỏ ở ngăn thiếu khí, làm giảm tải lượng COD đi vào ngăn hiếu khí tiếp theo. Ngăn hiếu khí là ngăn có hiệu quả xử lý COD cao nhất, trung bình 66,2% tính theo dòng vào và khoảng 60% tính theo dòng chuyển tiếp từ ngăn thiếu khí, cao nhất là 91,8%. Ngăn lọc sinh học USBF có hiệu quả loại bỏ COD thấp nhất. Nếu tính cho nước từ ngăn hiếu khí đến thì hiệu quả xử lý COD vào khoảng 30% hay tính cho dòng vào là khoảng 7,5%. Nguyên nhân sự giảm ở ngăn lọc là do phần lớn các chất hữu cơ dễ phân giải đã bị loại bỏ trong ngăn hiếu khí và thiếu khí, ở ngăn USBF chủ yếu là các dạng hữu cơ dạng khó phân hủy sinh học hơn. Do phần lớn COD được loại bỏ trong ngăn thiếu khí cho nên nhu

cầu oxy cho ngăn hiếu khí sẽ giảm hơn. Điều này chứng tỏ ưu điểm của việc kết hợp các ngăn phản ứng trong cùng một hệ thống. Khả năng xử lý COD tốt nhất ở khoảng tải trọng từ 1-4 kg COD/m³.ngày⁻¹

Xét toàn hệ thống, hiệu quả xử lý tối đa có thể đạt được là rất cao khoảng 97%. Nồng độ COD dòng ra có thể nằm giữa mức A và B của tiêu chuẩn loại A, TCN 678-2006. Đối với nước thải chăn nuôi, hiệu quả xử lý trên là rất cao và có một khả năng áp dụng trong thực tế lớn.

3.3.2. Hiệu quả xử lý SS

Hiệu quả xử lý SS (Hình 6) cho toàn bộ hệ thống tương đối cao, ở tải trọng trong khoảng từ 2-14 kg SS/m³.ngày⁻¹ có thể đạt tối đa 99,9%, trung bình vào khoảng 80%. Nồng độ SS nước đầu ra có thể đạt tiêu chuẩn A, TCN 678-2006.

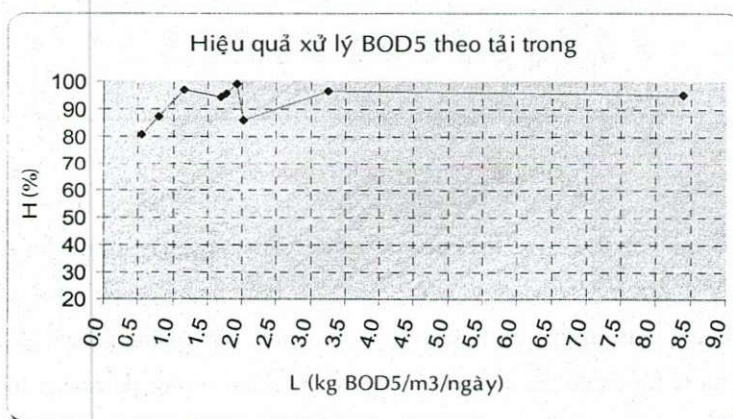


Hình 6. Hiệu quả xử lý SS theo tải trọng

3.3.3. Hiệu quả xử lý BOD₅

Hiệu quả xử lý BOD₅ của mô hình tương đối cao. Ở tải trọng 1,5-2 kg BOD₅/m³.ngày⁻¹ hiệu quả có thể đạt tới 99% (Hình 7). Trung

bình vào khoảng 94% và thấp nhất đạt 80%. Nồng độ BOD₅ của dòng ra có thể đạt tiêu chuẩn loại A, TCN 678-2006. Ngay cả khi ở tải trọng cao tới 8,5 kg BOD₅/m³ ngày⁻¹ hiệu quả xử lý vẫn khá cao, trên 90%.

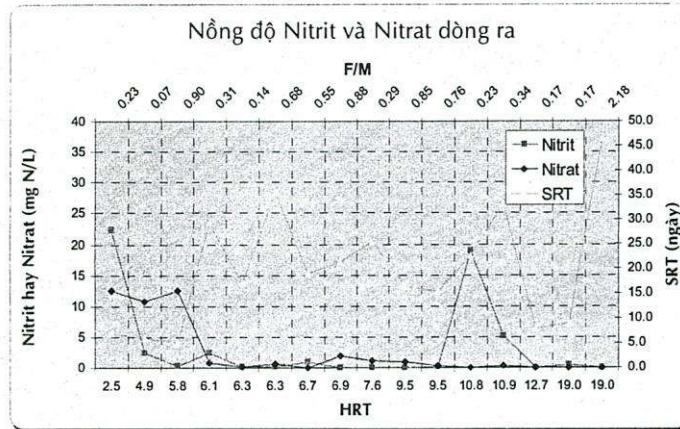


Hình 7. Hiệu quả xử lý BOD₅ theo tải trọng

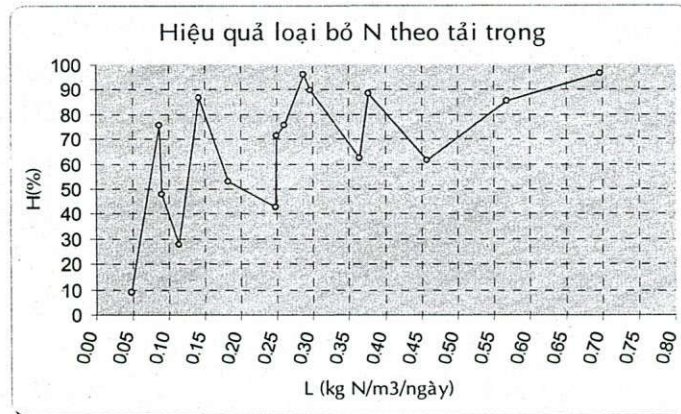
3.3.4. Hiệu quả quá trình loại bỏ N

Nồng độ nitrite và nitrate (Hình 8 & 9) ở dòng ra có thể đạt tiêu chuẩn loại A, TCN 678-

2006). Nồng độ nitrite và nitrate dòng ra đạt được rất thấp chứng tỏ quá trình nitrate hóa và khử nitrate diễn ra rất triệt để.



Hình 8. Nồng độ nitrit và nitrat có trong dòng ra

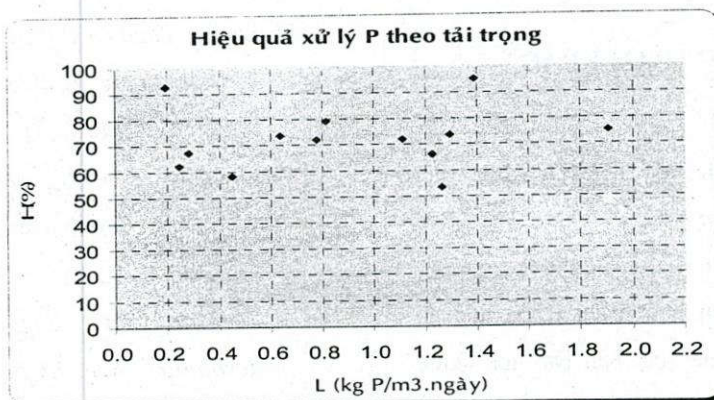


Hình 9. Hiệu quả xử lý N theo tải trọng

Ở tải trọng $0,28 \text{ kg N/m}^3 \cdot \text{ngày}^{-1}$ có thể cho hiệu quả xử lý cao nhất, khoảng 97%. Xét toàn bộ quá trình, hiệu quả quá trình loại bỏ N khá cao. Chất lượng dòng ra tối đa có thể đạt được tiêu chuẩn loại A, TCN 678-2006. Tuy nhiên, hiệu quả này còn tùy thuộc vào thời gian lưu nước, tải trọng và tuổi của bùn.

3.3.5. Hiệu quả quá trình loại bỏ P

Hiệu quả này tương đối cao, ở tải trọng $1,4 \text{ kg P/m}^3 \cdot \text{ngày}^{-1}$ hiệu quả xử lý có thể đạt khoảng 85%. Bình quân vào khoảng 80%. Tuy vậy, hàm lượng phosphor tổng số đầu ra vẫn chưa đạt tiêu chuẩn quy định loại A hoặc B. Có thể nước thải chăn nuôi có hàm lượng P quá cao nên cần phải có giải pháp bổ sung khác nếu muốn nước thải đầu ra đạt tiêu chuẩn A hoặc B.



Hình 10. Hiệu quả xử lý P theo tải trọng

4. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ NGHỊ

Qua quá trình nghiên cứu, chúng tôi rút ra một số kết luận và đề nghị như sau: Mô hình USBF rất thích hợp cho xử lý nước thải chăn nuôi. Bùn hoạt tính thích nghi rất nhanh với

đặc tính của nước thải và điều kiện vận hành của mô hình. Việc kết hợp 3 ngăn và kết hợp các quá trình xử lý tạo ra ưu điểm lớn trong việc nâng cao hiệu quả xử lý. Chất lượng nước đầu ra có thể đạt tiêu chuẩn nước loại B đến A TCN 678-2006.

TREATMENT OF OF PIGGERY WASTEWATER BY BIOPROCESS TECHNOLOGY - UPFLOW SLUDGE BLANKET FILTER (USBF)

Trương Thanh Canh

University of Sciences, VNU-HCM.

ABSTRACT: This paper describes a research to use an innovative combined biological process, upflow sludge blanket filter (USBF), that rapidly and economically remove BOD, nitrogen and phosphorus from piggery wastewater. The USBF design is a continuous flow system incorporating the aeration zone, clarifier and anoxic zone into a single tank. The research showed a result of 97%, 80%, 94%, 90% and 85% for COD, BOD₅, SS, nitrogen and phosphorus removal, respectively. This is concluded that USBF can be used as a simple and economic method to treat piggery wastewater.

Keywords: USBF, innovative combined biological process

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trương Thanh Cảnh, Trần Công Tấn, Nguyễn Quỳnh Nga, Nguyễn Khoa Việt Trường, *Nghiên cứu xử lý nước thải đô thị bằng công nghệ sinh học kết hợp lọc dòng ngược*, Tạp chí phát triển Khoa học và Công nghệ. Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia TP. HCM.số 9:65-71, (2007).
- [2]. Clark, S.F., T.A. Krumsick, P. Bishop, G.T. Daigger: and C. Linder, *Performance of Step- feed Activated Sludge Systems with Anoxic Selectors*, WEFTEC 2001 Conference Proceeding CD Rom, Water Environment Federation. Alexandria, VA, (2001).
- [3]. Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, *TCN 678-2006*, (2006).
- [4]. Trịnh Xuân Lai. *Tính toán thiết kế các công trình xử lý nước thải*, Nhà xuất bản Xây dựng Hà Nội, (2000).
- [5]. Leslie Grady, C.P., T. Glen & C.L. Henry., *Biological Wastewater Treatment*. Marcel Dekker, In., USA, (1999).
- [6]. Lawrence K.Wang, *Advanced Biological Wastewater Treatment Effective – Efficient – Economic – “State-of The-art, an Important Environmental Engineering Process Revolution State*, A report to the United Nations Industrial Development Organization, (1995).
- [7]. Metcalf & Eddy, Inc., *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, Third edition, revised by G.Tchobanoulous and F.L. Burton, USA, (2003).
- [8]. Nguyễn xuân Nguyên, *Lý thuyết và mô hình hóa quá trình xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học*, Nhà Xuất bản Khoa Học & Kỹ Thuật, (2005).
- [9]. Lương Đức Phẩm, *Công nghệ xử lý nước thải bằng biện pháp sinh học*, Nhà Xuất bản Giáo Dục, (2002).