

XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT BẰNG THIẾT BỊ LỌC SINH HỌC NHỎ GIỌT CẢI TIẾN VỚI GIÁ THỂ SINH HỌC KIỂU MỚI

DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT BY MODIFIED TRICKLING FILTER WITH ADVANCED BIO-CARRIER

Trần Minh Thảo, Phạm Phú Song Toàn, Phùng Minh Tùng, Phan Minh Thông

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật - Đại học Đà Nẵng
 tmthao@ute.udn.vn, ppsotoan@ute.udn.vn, pmtung@ute.udn.vn

Tóm tắt - Trong nghiên cứu này, nước thải sinh hoạt được xử lý bằng mô hình thiết bị lọc sinh học nhỏ giọt cải tiến. Hệ thống hoạt động với tải lượng hữu cơ 1,2 kg BOD/m³.ngày đêm. Giá thể sinh học được thả tự do và ngập hoàn toàn trong nước. Ba lượng giá thể sinh học được nghiên cứu với thể tích lần lượt chiếm 50, 75 và 100% thể tích của thiết bị. Thiết bị còn được cải tiến với giá thể tiên tiến dạng lưới, làm bằng vật liệu polyester và có bề mặt riêng lên đến 1400-1500 m²/m³. Kết quả cho thấy, hiệu quả xử lý tốt nhất với lượng giá thể chiếm 75% thể tích thiết bị. Với lượng giá thể này, hiệu quả xử lý ở các thời gian lưu nước khác nhau (2, 4, 6, 8 và 10 tiếng) cũng được nghiên cứu. Kết quả là hệ thống xử lý tốt BOD và dinh dưỡng (hiệu quả 90,7; 78,7 và 77,1% lần lượt đối với BOD, N và P). Quá trình xử lý xuất hiện 2 giai đoạn: thích nghi và ổn định.

Từ khóa - Thiết bị lọc nhỏ giọt; nước thải; giá thể sinh học; xử lý; dinh dưỡng; thời gian lưu.

1. Đặt vấn đề

Trước tình hình khó khăn về kinh tế và xu hướng tiết kiệm năng lượng trên thế giới, các công nghệ xử lý nước thải có chi phí đầu tư và vận hành thấp đang và sẽ là nhu cầu rất lớn cho các doanh nghiệp xả thải. Các công nghệ xử lý bằng phương pháp sinh học kỵ khí và hiếu khí phổ biến hiện nay, hoặc có chi phí đầu tư lớn, hoặc có chi phí vận hành cao, hoặc cả hai loại chi phí đều tốn kém. các phương pháp kỵ khí như UASB, ABR, ... đều là những công nghệ cải tiến. Tuy nhiên, chúng có một số nhược điểm như xuất hiện mùi hôi [1] và chi phí xây dựng cao. Trên thực tế, một bể sinh học kỵ khí thường yêu cầu một bể hiếu khí theo sau để nước đầu ra đạt chuẩn xả thải. Các công nghệ hiếu khí truyền thống, như bể hiếu khí bùn hoạt tính, MBBR, cũng bộc lộ nhiều hạn chế như chi phí cho thiết bị, vật tư và năng lượng vận hành lớn.

Lọc sinh học nhỏ giọt (TF) là một công nghệ hiếu khí với nhiều ưu điểm như vận hành ổn định, cấu tạo đơn giản, có thể hoạt động ở các tải lượng hữu cơ khác nhau một cách hiệu quả và đặc biệt là tiết kiệm năng lượng [2]. Trong thiết bị TF, lớp màng vi sinh hình thành trên giá thể sinh học tạo nên 2 vùng: hiếu khí - nằm trên bề mặt và thiếu khí - nằm ở lớp bên trong, giữa lớp hiếu khí và bề mặt giá thể sinh học [1]. Chính vì lý do này mà trong thiết bị TF cùng một lúc xảy ra hai quá trình: nitrat và khử nitrat hóa, xử lý N một cách hiệu quả. Tuy nhiên, thiết bị này cũng còn tồn tại một số nhược điểm cần khắc phục: dễ tích tụ sinh khối trong lớp giá thể sinh học, gây tình trạng tắc nghẽn và ảnh hưởng đến phản ứng sinh học hiếu khí, làm giảm hiệu quả xử lý, thường xuyên phải bảo trì hệ thống và dễ gây mùi nếu để vùng kỵ khí chiếm thể tích lớn trong thiết bị [2]. Về giá thể sinh học (GTSH), đây cũng là một nhược điểm của loại công nghệ này. Hiện nay có nhiều loại GTSH được áp

Abstract - In this study, domestic wastewater is treated by modified trickling filter model. The system is operated with organic loading of 1.2 kg BOD/m³/d. Bio-carrier is set free and totally submerged in wastewater. Different amounts of bio-carrier of 50, 75 and 100% of reactor volume are tested. The reactor is also upgraded with advanced bio-carrier having impressive special area of 1,400-1,500 m²/m³ made of polyester. The results reveal that highest BOD and nutrients removal efficiencies are obtained at bio-carrier quantity of 75% of the reactor volume. By operating system at this bio-carrier quantity, various hydraulic retention time (2, 4, 6, 8 and 10h) are experienced. Considerably effective BOD and nutrients removals of 90.7; 78.7 and 77.1%, respectively, have been shown. Two periods of treatment have been recorded: acclimatization and steady-state.

Key words - Trickling filter; wastewater; bio-carrier; treatment; nutrients; hydraulic retention time.

dụng và bán trên thị trường: dạng sợi, cầu, tổ ong, bánh xe, ... [3]. Tuy nhiên, các loại giá thể này có giá thành cao, qua thực tế sử dụng cho thấy không bền trong điều kiện nước thải và có bề mặt riêng thấp (220-500 m²/m³).

Một số nghiên cứu về TF đã được thực hiện. Tải lượng hoạt động của một TF thường được thiết kế trong khoảng 1-75 m³/m³.ngày đêm. Chiều cao bể phản ứng thông thường được chọn ở 1,8-2,4m [1]. Tuy nhiên, bể càng sâu thì hiện tượng tắc nghẽn càng dễ xảy ra, tồn áp tăng nhanh. Đây là hiện tượng gây nhiều khó khăn và tốn kém ở khâu vận hành hệ thống trong thực tế. Ngoài ra, tải lượng hữu cơ thường được không chế trong khoảng 0,07-3,2 kg BOD/m³.ngày đêm [1].

Một thiết bị lọc sinh học nhỏ giọt được cải tiến (upgraded Trickling Filter-uTF) để khắc phục các hạn chế của công nghệ này sẽ bổ sung thêm một sự lựa chọn nữa cho các công nghệ xử lý nước thải tiết kiệm năng lượng và có khả năng ứng dụng rộng rãi. Trong nghiên cứu này, thiết bị lọc nhỏ giọt tiên tiến xử lý nước thải điển hình của các khu công nghiệp (KCN) tại Đà Nẵng: KCN Hòa Khánh, KCN Liên Chiểu, KCN Hòa Cầm. Hiệu quả xử lý và thời gian thích nghi được đánh giá ở các lượng giá thể sinh học và thời gian lưu khác nhau.

2. Phương pháp nghiên cứu

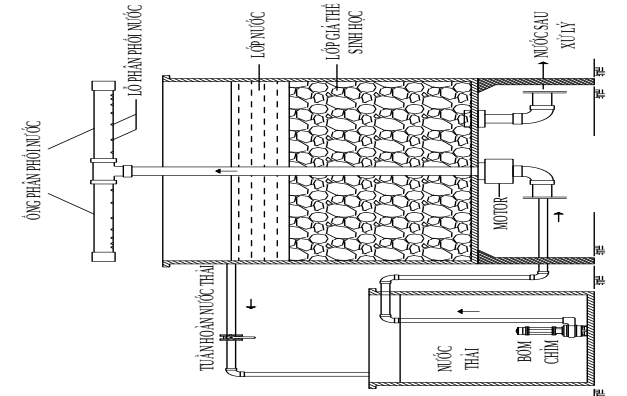
2.1. Mô hình thiết bị và quy trình thí nghiệm

Mô hình nguyên lý hoạt động của hệ thống được trình bày như Hình 1. Hệ thống gồm (1) thiết bị phản ứng hình trụ tròn có kích thước D x H = 580 x 450 mm. GTSH làm bằng vật liệu polyester (Hình 2) được cắt theo kích thước 70 x 70 mm. Để hạn chế hiện tượng tắc nghẽn, GTSH được thả vào trong hệ thống một cách tự do và ngập hoàn toàn trong nước. Giá thể này có giá thành chỉ bằng khoảng

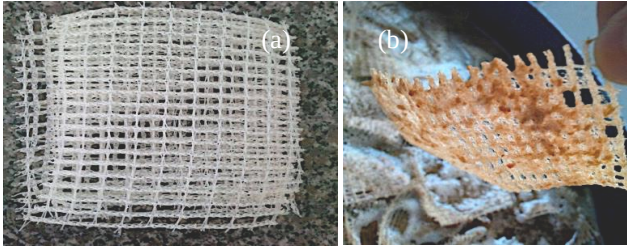
1/10 so với các chủng loại đang bán trên thị trường. Nước thải nhân tạo cấp cho hệ thống được pha theo công thức trong Bảng 1, với các thông số BOD = 390-410 mg/L, TN = 71,8-75,1 mg/L, TP = 15,1-17,4 mg/L và pH = 6,0-6,5.

Trong quá trình vận hành hệ thống, nước thải đầu vào và nước sau xử lý được phân tích hàm lượng BOD, TN và TP để đánh giá hiệu quả xử lý. Ngoài ra, để khảo sát điều kiện môi trường trong thiết bị, DO và pH được đo tại 3 vị trí khác nhau: sát mặt nước (cách mặt nước khoảng 50 mm), ½ chiều cao mực nước (cách mặt nước khoảng 150 mm) và đáy thiết bị (cách mặt nước khoảng 300 mm). Kết quả từ các giá trị DO sẽ làm cơ sở cho việc thiết kế chiều cao của bể để hạn chế quá trình phân hủy kỵ khí, tức là hạn chế sự hình thành các khí gây mùi hôi H₂S, mercaptan và NH₃.

Ba lượng giá thể: chiếm 100, 75 và 50% thể tích bể, lần lượt được thử nghiệm với thời gian lưu nước HRT = 10 tiếng. Sau khi xác định lượng giá thể tối ưu, HRT trong thiết bị lần lượt được thay đổi dần với các giá trị HRT = 8, 6, 4, 2 tiếng, để nghiên cứu sự thay đổi của hiệu quả xử lý theo thời gian lưu nước. Hệ thống cần hai ngày để thay đổi thời gian lưu, mỗi ngày rút ngắn 1 tiếng. Thời gian để hệ thống thích nghi giữa hai thời gian lưu là hai tuần.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của hệ thống uTF



Hình 2. Giá thể sinh học

(a) Nguyên trạng; (b) Sau khi hệ thống hoạt động ổn định

Bảng 1. Thành phần nước thải đi vào hệ thống xử lý

Thành phần	Nồng độ, mg/L
Ri đường	237
CH ₃ COONa	95,2
Peptone	52,5
Nước thịt cô đặc	32,2
MgSO ₄	37,5
FeSO ₄ .7H ₂ O	7,5

NH ₄ Cl	60,0
K ₂ HPO ₄	25,0

2.2. Phân tích mẫu

Để xác định hàm lượng sinh khối (MLSS) trong bể phản ứng, mẫu được lấy trong pha nước (lơ lửng) lẫn trên bề mặt GTSH (bám dính) tại 3 vị trí: cách mặt nước 50, 150 và 300 mm. Để thu sinh khối trên bề mặt giá thể, tại mỗi vị trí, lấy 5 miếng GTSH cho vào 1 L dung dịch chlorine 5%. Tiến hành sục khí dưới đáy trong 30 phút để đảm bảo toàn bộ sinh khối bong ra khỏi giá thể. Đo SS trong dung dịch chlorine 5% (SS₁₅). Đo khối lượng 15 miếng GTSH (m_{15GT}). Đo khối lượng toàn bộ GTSH trong bể (m_{GT} - đo lúc ban đầu khi chưa sử dụng). Từ đó xác định được lượng sinh khối trên GTSH trong toàn bể phản ứng (MLSS):

MLSS = (SS15 * mGT) / (m15GT * V)

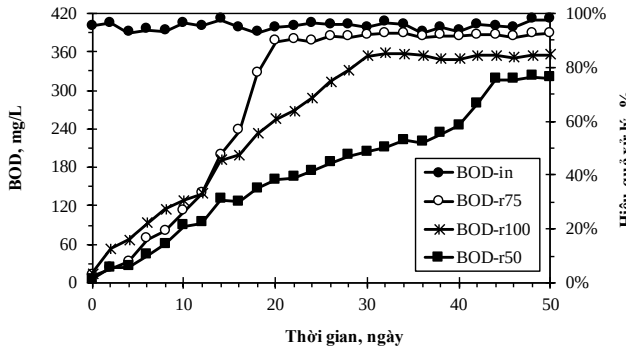
với: V là thể tích nước trong bể phản ứng (L);

Các thông số BOD, TN và TP được phân tích dựa trên các phương pháp được nêu trong [4]. Mẫu đầu vào, trong thiết bị (tại các chiều sâu khác nhau) và đầu ra cùng được lấy hai ngày một lần vào lúc 8:00-10:00 giờ sáng. Các mẫu sau khi lấy được phân tích ngay. Trung bình mỗi mẫu được lấy ba lần, tương ứng với ba lần phân tích để tính độ lệch chuẩn.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hoạt động của uTF với các lượng giá thể khác nhau

Trong phần này, hiệu quả xử lý BOD, N và P của thiết bị uTF-ri (khi thiết bị uTF có lượng giá thể sinh học chiếm i% thể tích choáng nước) lần lượt được đánh giá. Nhiệt độ dao động trong cả năm từ 24-35°C.



Hình 3. Hiệu quả xử lý BOD trong giai đoạn đầu BOD-in: Hàm lượng BOD trong nước thải đầu vào; BOD-ri: Hiệu quả xử lý BOD với lượng GTSH chiếm i% thể tích thiết bị.

Trong 20 ngày đầu, hiệu quả xử lý BOD (E_{BOD}) của uTF-r75 tăng dần gần như tuyến tính lên đến 89,7%. Sau đó, E_{BOD} ổn định và chỉ dao động trong khoảng hẹp 89,6-92,7%. Trường hợp uTF-r100, E_{BOD} ổn định sau 30 ngày vận hành. Khi ổn định, E_{BOD} = 84,2-85,2%. Đối với thiết bị uTF-r50, E_{BOD} tăng đến ngày 44 (Hình 3). Như vậy, thiết bị ổn định nhanh nhất trong trường hợp uTF-r75. Hiệu quả xử lý BOD khá cao: 89,6-92,7% so với thiết bị lọc nhỏ giọt truyền thống vận hành với tải lượng hữu cơ tương đương (L_{BOD}=1,2 kg/m³.ngày đêm): 40-65% [5].

Hiệu quả xử lý BOD được ghi nhận trong một số nghiên cứu: từ 80-90% [1] với tải lượng hữu cơ 0,07-0,22 kg/m³/d; 85% COD khi xử lý nước thải nhà máy chế biến sữa [6]. Theo báo cáo của Cục Bảo vệ Môi trường Mỹ [2], hiệu quả xử lý BOD của TF có thể đạt đến 80-90% với tải lượng hữu cơ khoảng 0,4 kg/m³/d. Hiệu quả xử lý của uTF cao có thể được giải thích do toàn bộ GTSH của uTF ngập hoàn toàn trong nước nên thời gian lưu nước lâu hơn thiết bị truyền thống. Do thời gian lưu nước lâu hơn nên DO ở các tầng dưới vẫn đảm bảo ở mức thích hợp cho quá trình denitrate hóa xảy ra.

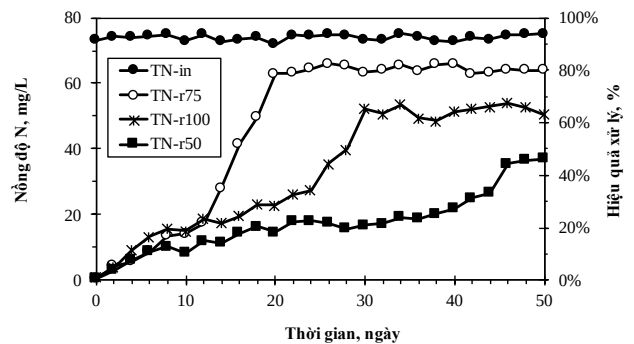
Trong Hình 6, kết quả đo DO cho thấy càng sâu, hàm lượng DO càng giảm nhanh chóng. DO tại các độ sâu 50, 150 và 300 mm trong các trường hợp uTF-r50, -r75 và -r100 lần lượt như sau: [5,8; 3,9; 2,3 mg/L], [5,7; 3,1; 1,2 mg/L] và [4,1; 1,9; 0,4 mg/L]. Điều này được giải thích do nhiều nguyên nhân: càng sâu, áp suất riêng phần các chất khí càng lớn, các vi sinh vật sử dụng oxy cho các hoạt động trao đổi chất và oxy hóa các chất hữu cơ. Như vậy, theo chiều sâu, các môi trường thiếu khí và thậm chí kỵ khí có thể xuất hiện. Từ đó, có thể xảy ra các phản ứng sinh học thiếu khí (khử N) và kỵ khí (sinh các khí H₂S, mercaptan, NH₃/NH₄⁺). Mục tiêu chính của thiết bị này là xử lý chất hữu cơ và N, nên các điều kiện hiếu khí và thiếu khí cần được duy trì và tránh điều kiện kỵ khí.

Hàm lượng NH₄⁺ của nước đầu ra trong các trường hợp uTF-r50, -r75 và -r100 lần lượt là 3,3; 6,9; và 10,2 mg/L (Hình 7). Như vậy, lượng GTSH càng tăng thì lượng NH₄⁺ đầu ra càng nhiều, nghĩa là vùng kỵ khí và phản ứng sinh học kỵ khí chiếm nhiều hơn các vùng và phản ứng sinh học khác. Ngoài ra, nồng độ ion NO₃⁻ của nước đầu ra trong các trường hợp uTF-r50, -r75 và -r100 lần lượt là 12,6, 3,9 và 5,3 mg/L (Hình 7). Như vậy, phản ứng sinh học hiếu khí (quá trình nitrata hóa) xảy ra nhiều nhất trong trường hợp uTF-r50. Các trường hợp còn lại, do các phản ứng sinh học kỵ khí và thiếu khí (denitrate hóa) sản xuất ra nhiều NH₄⁺ hơn hoặc NO₃⁻ bị khử thành N₂ nên hàm lượng NO₃⁻ trong nước đầu ra giảm. Có thể thấy hàm lượng NO₃⁻ trong nước đầu ra, trường hợp uTF-r75 thấp hơn trường hợp -r100.

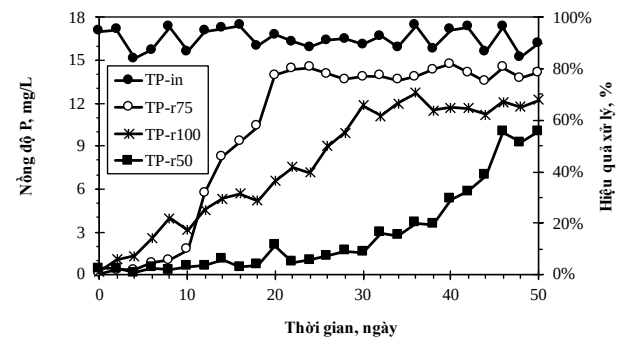
Trong Hình 4, hiệu quả xử lý N tăng dần đến 78,7% sau 20 ngày trong trường hợp uTF-r75. Hiệu quả xử lý N tăng dần đến 65,2% sau 30 ngày trong trường hợp uTF-r100. Hiệu quả xử lý N tăng dần đến 44,4% sau 46 ngày trong trường hợp uTF-r50. Sau các khoảng thời gian trên, hiệu quả xử lý N trong tất cả các trường hợp đều đạt ổn định. Như vậy, trong trường hợp uTF-r75, việc xử lý N đạt trạng thái ổn định nhanh nhất và hiệu quả xử lý cao nhất (78,7%). Kết quả này tương đương với hiệu quả xử lý N đạt được trong nghiên cứu của [7] (65,46-86,59%), sử dụng sỏi và đá làm GTSH xử lý nước thải nhà máy sản xuất bia. Tuy nhiên, trong nghiên cứu [7], TN trong nước thải đầu vào là không cao, chỉ mức TN = 36,9 mg/L. Với kết quả hàm lượng NO₃⁻ trong nước đầu ra thấp nhất và hiệu quả xử lý N cao nhất, có thể thấy rằng, quá trình denitrate hóa diễn ra nhiều nhất trong trường hợp uTF-r75.

Với lượng GTSH chiếm 75%, hàm lượng DO trong vùng từ giữa đến đáy bể phản ứng là 1,2-3,1 mg/L (Hình 6). Hàm lượng NO₃⁻ tại giữa bể trong các trường hợp

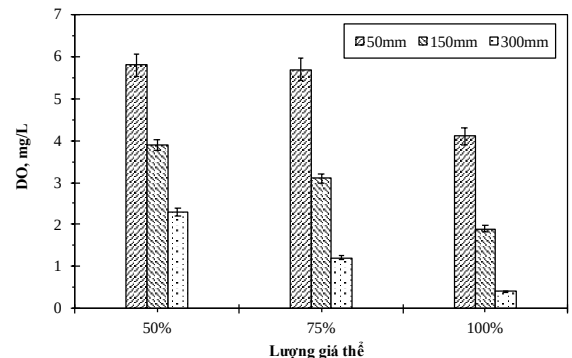
uTF-r50, -r75 và -r100, tương ứng là 62,1, 60,4 và 35,8 mg/L (Hình 8). Trong khi đó, hàm lượng NO₃⁻ của nước đầu ra trong các trường hợp trên, lần lượt là 12,6, 3,9 và 5,3 mg/L. Hiệu quả của quá trình denitrate hóa, nếu tính từ giữa bể trong các trường hợp trên, lần lượt là 79,7, 93,5 và 85,2%. Có thể thấy rằng khi lượng GTSH chiếm 75% thể tích ngập nước sẽ cho điều kiện DO = 1,2-3,1 mg/L, đây là điều kiện thuận lợi nhất để hình thành các vùng thiếu khí bên trong lớp màng sinh học (biofilm). Trong nghiên cứu về thiết bị lọc sinh học nhỏ giọt với giá thể polyurethane foam xử lý nước thải sinh hoạt [8], kết quả cũng cho thấy rằng hiệu quả xử lý TN đạt cao hơn 70,6% khi DO cao hơn 1,0 mg/L. Ngoài ra, số lượng VSV thực hiện quá trình denitrat hóa chiếm đa số trong cộng đồng so với các VSV khác cũng được xác định tại môi trường có DO = 2,5 mg/L [9].



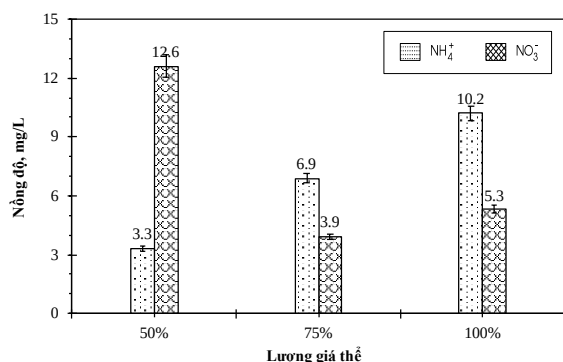
Hình 4. Hiệu quả xử lý N trong giai đoạn đầu
TN-in: Hàm lượng TN nước thải đầu vào; TN-ri: Hiệu quả xử lý N với lượng GTSH chiếm i% thể tích thiết bị



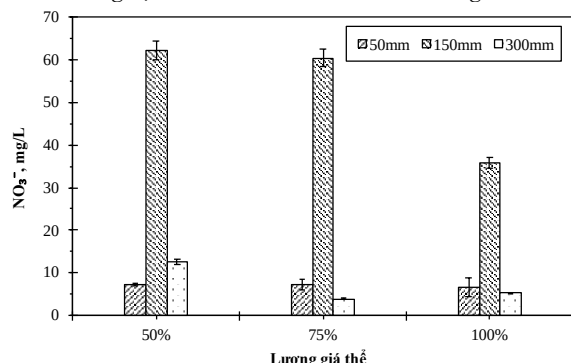
Hình 5. Hiệu quả xử lý P trong giai đoạn đầu
TP-in: Hàm lượng TP nước thải đầu vào; TP-ri: Hiệu quả xử lý P với lượng GTSH chiếm i% thể tích thiết bị



Hình 6. Hàm lượng DO trong các trường hợp GTSH chiếm 50, 75 và 100% thể tích chống nước của thiết bị ở các chiều sâu khác nhau



Hình 7. Nồng độ các ion amonium và nitrate trong nước đầu ra



Hình 8. Nồng độ nitrate tại các vị trí trong bể phản ứng

Hiệu quả xử lý P cũng có xu hướng tương tự với trường hợp xử lý N. Trong Hình 5, hiệu quả xử lý P trong trường hợp uTF-r75 tăng dần đến 77,4% sau 20 ngày. Hiệu quả xử lý P trong trường hợp uTF-r100 tăng dần đến 65,8% sau 30 ngày. Hiệu quả xử lý P trong trường hợp uTF-r50 tăng dần đến 55,5% sau 46 ngày. Như vậy, quá trình xử lý P cũng nhanh chóng ổn định và hiệu quả hơn trong trường hợp uTF-r75, so với các trường hợp khác. Kết quả này cao hơn so với với hiệu quả xử lý P trong nghiên cứu của [7] (56,66%). Tuy nhiên, hàm lượng TP của nước thải đầu vào trong nghiên cứu [7] cao (30,74 mg/L).

Như vậy, hiệu quả xử lý BOD, TN và TP của uTF trong các trường hợp -r75, -r100 và -r50 đạt trạng thái ổn định, lần lượt sau 20, 30 và 46 ngày. Hiệu quả xử lý các hợp chất N và P cũng tỷ lệ với hiệu quả xử lý các hợp chất hữu cơ. Thời gian thích nghi trong nghiên cứu [7] là 4 tuần, tại nhiệt độ 22°C, tương đương với thời gian thích nghi trong nghiên cứu này. Một số thiết bị TF có thời gian thích nghi ngắn hơn với 10-23 ngày [6], 15 ngày [7] bằng cách cấy vi sinh bằng bùn hoạt tính từ bể sinh học hiếu khí truyền thống. Thời gian thích nghi nhanh hay chậm tùy thuộc vào mật độ VSV trong bể phản ứng [1, 6]. Một khi mật độ VSV tăng, hiệu quả xử lý BOD cũng tăng. Trong môi trường với các cộng đồng các chủng loại VSV khác nhau, mật độ VSV tăng khi các chủng loại này có quan hệ cộng sinh. Trong bể TF, hai chủng VSV sống cùng nhau, thực hiện hai quá trình song song: nitrat và denitrat hóa, các VSV hiếu khí cung cấp nguồn nitrat cho các VSV thiếu khí. Nếu điều kiện môi trường sống thuận lợi cho cả 2 chủng loại thì mật độ VSV và hiệu quả xử lý cao. Phân tích hàm lượng sinh khối trong 3 trường hợp uTF-r100, -r75 và -r50 cho kết quả như trong Bảng 2.

Bảng 2. Hàm lượng sinh khối trong các trường hợp lượng GTSH khác nhau

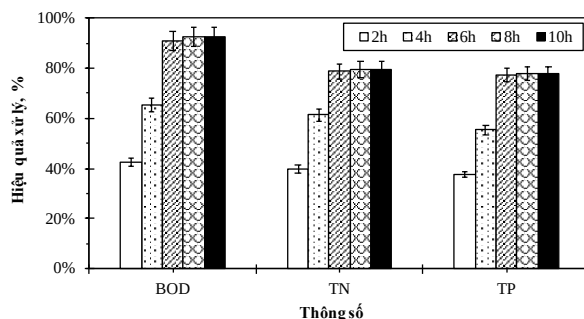
Trường hợp	Sinh khối, mg/L	
	Lơ lửng	Bám dính
uTF-r100	230 ± 6	754 ± 12
uTF-r75	314 ± 4	916 ± 16
uTF-r50	208 ± 8	682 ± 10

Trường hợp uTF-r75, sinh khối trong 2 pha lơ lửng và bám dính lần lượt là 314 và 916 mg/L. Còn trong các trường hợp uTF-r100 và -r50, lượng sinh khối lơ lửng là 208-230 mg/L và bám dính là 682-754 mg/L. Sinh khối trong trường hợp uTF-r75 luôn cao nhất cả trong cả 2 pha. Điều này chứng tỏ mật độ VSV trong trường hợp uTF-r75 cao nhất, giải thích cho hiệu quả xử lý cao nhất so với 2 trường hợp còn lại.

Về cảm quan, trường hợp uTF-r100 cho mùi thối xung quanh hệ thống rất rõ. Tuy nhiên, hai trường hợp còn lại gần như không có mùi.

3.2. Hoạt động của uTF trong các điều kiện HRT khác nhau

Hiệu quả xử lý chất hữu cơ (BOD) đạt 92,7; 92,4; 90,7; 65,2; và 42,5% khi uTF hoạt động với các thời gian lưu lần lượt là 10, 8, 6, 4 và 2 tiếng. Hiệu quả xử lý N đạt 79,7; 79,5; 78,7; 61,3; và 39,8% tương ứng khi uTF làm việc với các thời gian lưu giảm dần từ 10 đến 2 tiếng. Hiệu quả xử lý P đạt 78,0; 77,6; 77,1; 55,3; và 37,6% tương ứng khi uTF làm việc với các thời gian lưu giảm dần (Hình 9). Với các thời gian lưu từ 6-10h, hiệu quả xử lý BOD, N và P tương đương nhau. Tuy nhiên, khi thời gian lưu thấp hơn (4 tiếng), hiệu quả xử lý giảm xuống đáng kể. Như vậy, với thời gian lưu ngắn hơn 6 tiếng, VSV chưa đủ thời gian phân hủy hết các hợp chất hữu cơ và dinh dưỡng.



Hình 9. Hiệu quả xử lý của hệ thống uTF tại các thời gian lưu nước khác nhau

4. Kết luận

Với nghiên cứu thiết bị lọc sinh học nhỏ giọt cải tiến so với thiết bị truyền thống, hiệu quả xử lý được cải thiện. Một vài chế độ vận hành được thử nghiệm đã làm sáng tỏ một số vấn đề như sau:

- Khi giá thể sinh học chiếm 75% thể tích ngập nước, quá trình denitrat hóa xảy ra nhiều nhất và hiệu quả xử lý tốt nhất. Hiệu quả xử lý BOD đạt 89,6-92,7%, xử lý TN đạt 78,8-82,5%, xử lý TP đạt 77,2-81,9% với thời gian lưu nước là 10h;

- Mức độ DO trong pha nước ở 1,2-3,1 mg/L, tạo môi trường thiếu khí trong lớp màng vi sinh bám trên GTSH;

- Khi lượng GTSH chiếm 75% thì DO nằm trong khoảng 1,2-3,1 mg/L, tạo môi trường thiếu khí trong lớp màng vi sinh bám trên GTSH và thời gian thích nghi là ngắn nhất với 20 ngày;

- Thời gian lưu nước 6 tiếng được xem là tối ưu nhất trong việc xử lý các hợp chất hữu cơ và dinh dưỡng;

- Việc bố trí nước ngập 50 mm so với mức GTSH làm tăng thời gian lưu nước và tiếp xúc nước-biofilm. Ngoài ra, trong suốt quá trình hoạt động, không có hiện tượng tắc nghẽn cục bộ và các đường ống thoát. Nước ngập giúp cặn lơ lửng mềm và có kích thước nhỏ, giảm thiểu vấn đề tắc nghẽn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] G. Tchobanoglous, F.L. Burton, H.D. Stensel, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, McGraw Hill, 2013.
- [2] US EPA, *Wastewater technology fact sheet trickling filter*, in: O.o. Water (Ed.), Washington, D.C., 2000.
- [3] Vinahand, <http://vinahands.com/cat.php?id=1>
- [4] APHA, *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th ed., American Public Health Association (APHA), Washington DC, USA, 1999.
- [5] C.P. LLC, *Environmental Engineers' Handbook*, in: I. Liu (Ed.), CRC Press LLC, Princeton, New Jersey, US, 1999.
- [6] T. Shahriari, M. Shokouhi, Assessment of Bio-Trickling Filter Startup for Treatment of Industrial Wastewater, *International Journal of Environmental Research*, 9, 2015, 769-776.
- [7] H.H. Lemji, H. Eckstädt, Performance of a trickling filter for nitrogen and phosphorous removal with synthetic brewery wastewater in trickling filter biofilm, *International Journal of Applied Microbiology and Biotechnology Research*, 2, 2014, 30-42.
- [8] C. Tan, F. Ma, A. Li, S. Qiu, J. Li, *Evaluating the Effect of Dissolved Oxygen on Simultaneous Nitrification and Denitrification in Polyurethane Foam Contact Oxidation Reactors*, *Water Environment Research*, 85, 2013, 195-202.
- [9] H. Lu, K. Chandran, D. Stensel, *Microbial ecology of denitrification in biological wastewater treatment*, *Water Research*, 64, 2014, 237-254.

(BBT nhận bài: 03/10/2018, hoàn tất thủ tục phản biện: 23/10/2018)