

Đánh giá khả năng hình thành bùn hạt hiếu khí trên mô hình công nghệ SBR trong phòng thí nghiệm

Phạm Văn Doanh^{1*}, Nguyễn Bình Minh², Trần Thị Việt Nga²

¹Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

²Trường Đại học Xây dựng

Ngày nhận bài 30/9/2021; ngày chuyển phản biện 2/10/2021; ngày nhận phản biện 1/11/2021; ngày chấp nhận đăng 5/11/2021

Tóm tắt:

Nuôi cấy và sử dụng bùn hạt hiếu khí trên mô hình công nghệ bể phản ứng theo mẻ (SBR) trên thế giới bắt đầu từ những năm 1970 và được nghiên cứu sâu trong những năm gần đây với các chất nền dùng để nuôi cấy như: glucose, acetate, ethanol, mật mía, đường, tinh bột, phenol, axit phtalic, chloroanilines, rượu tert-butyl và nước thải tổng hợp khác. Nghiên cứu này trình bày kết quả quá trình hình thành và phát triển của bùn hạt hiếu khí trong điều kiện phòng thí nghiệm với chất nền là acetate, bùn hoạt tính dùng để nuôi cấy được lấy từ Trạm xử lý nước thải (XLNT) Yên Sở (Hà Nội) có MLSS 900-1200 mg/l. Nghiên cứu thực hiện trên 2 SBR giống nhau làm bằng nhựa acrylic trong suốt, có đường kính ống 0,110 m, chiều cao 1 m, chiều cao chứa nước là 0,8 m, thể tích làm việc của mỗi bể là 2,5 l, đặt tên lần lượt cho 2 mô hình là A và B. Hai SBR cùng làm việc với 6 chu kỳ trong 1 ngày, thời gian 1 chu kỳ là 4 giờ, trong 1 chu kỳ gồm 4 pha: nạp nước 1-2 phút, sục khí 180 phút, lắng 20-30 phút và xả 10-15 phút. Nước đầu vào cho mô hình A là nước thải nhân tạo có tải trọng hữu cơ (OLR) thấp (1,0-1,2 kg COD/m³.ngày). Nước đầu vào cho mô hình B là nước thải nhân tạo có OLR cao (2,7-3,0 kg COD/m³.ngày), thời gian thí nghiệm là 120 ngày. Kết quả cho thấy, sự hình thành bùn hạt tại mô hình A rất khó khăn. Ngược lại, tại mô hình B, bùn hạt được hình thành và phát triển ổn định sau 30-45 ngày thí nghiệm.

Từ khóa: bùn hạt hiếu khí, nuôi cấy, SBR.

Chỉ số phân loại: 2.7

Đặt vấn đề

Nuôi cấy bùn hạt hiếu khí trên mô hình công nghệ SBR trên thế giới bắt đầu từ những năm 1970 [1-3] và được nghiên cứu sâu trong những năm sau đó với các chất nền dùng để nuôi cấy như: glucose, acetate, ethanol, mật mía, đường, tinh bột, phenol, axit phtalic, chloroanilines, rượu tert-butyl, và nước thải tổng hợp khác. Các nghiên cứu cho thấy, bùn hạt hiếu khí có thể ứng dụng rộng rãi với các chất nền và các loại nước thải khác nhau. So với bùn hoạt tính thông thường, bùn hạt hiếu khí có cơ cấu tốt, khả năng duy trì sinh khối cao và có thể xử lý các hợp chất độc hại trong nước thải [4, 5]. Bùn hạt hiếu khí không chỉ có tác dụng loại bỏ tốt các bon mà còn có khả năng loại bỏ nitơ và photpho, vì vậy bùn hạt hiếu khí được ứng dụng để xử lý nước thải sinh hoạt, nhà máy chế biến thực phẩm, chăn nuôi... Cấu trúc của bùn hạt hiếu khí là tập hợp các nhóm vi khuẩn khác nhau cần thiết cho quá trình chuyển hóa các hợp chất hữu cơ, thành phần của bùn hạt hiếu khí phụ thuộc vào loại cơ chất (chất nền). Bùn hạt hiếu khí có những ưu điểm sau: mật độ vi sinh vật cao và hiệu quả xử lý nước thải cao trong quá trình hình thành bùn hạt hiếu khí, chịu được OLR cao, kích thước hạt bùn lớn nên có khả năng lắng nhanh, ít bị rửa trôi, chịu được sốc tải, giảm thể tích công trình. Tuy nhiên, bùn hạt hiếu khí cũng có một số nhược điểm như: khó kiểm soát

trạng thái và kích thước của hạt bùn, các hạt bùn thường không ổn định, dễ bị phá vỡ khi có sự thay đổi môi trường.

Tại Việt Nam, đã có một số đề tài nghiên cứu về bùn hạt hiếu khí với quy mô và tính chất khác nhau như: nghiên cứu sự ảnh hưởng của lưu lượng sục khí, nghiên cứu tạo bùn hạt hiếu khí có giá thể [1, 2]... Trong nội dung bài báo, nhóm tác giả nghiên cứu khả năng hình thành bùn hạt hiếu khí trên 2 mô hình công nghệ SBR giống nhau vận hành với chất nền là acetate ở các mức độ OLR khác nhau, bùn hoạt tính dùng để nuôi cấy được lấy từ Trạm XLNT Yên Sở (Hà Nội) có MLSS 900-1200 mg/l. Mô hình A vận hành với nước thải nhân tạo có OLR thấp (1,0-1,2 kg COD/m³.ngày). Mô hình B vận hành với nước thải nhân tạo có OLR cao (2,7-3,0 kg COD/m³.ngày).

Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Phương pháp xây dựng mô hình thí nghiệm

Nghiên cứu được thực hiện trên 2 mô hình bể SBR hình trụ (hình 1) làm bằng nhựa acrylic trong suốt, có đường kính ống 0,11 m, cao 1 m, trong đó chiều cao chứa nước là 0,8 m, thể tích làm việc của bể là 2,5 l. Bể SBR làm việc với 6 chu kỳ/ngày, thời gian 1 chu kỳ là 4 giờ, trong 1 chu kỳ có 4 pha: nạp nước 1-2 phút, sục khí 180 phút, lắng 20-30 phút

*Tác giả liên hệ: Email: doanhhkt@gmail.com

Forming aerobic granulation in SBR technology at the laboratory

Van Doanh Pham^{1*}, Binh Minh Nguyen²,
Thi Viet Nga Tran²

¹Hanoi Architectural University

²National University of Civil Engineering

Received 30 September 2021; accepted 5 November 2021

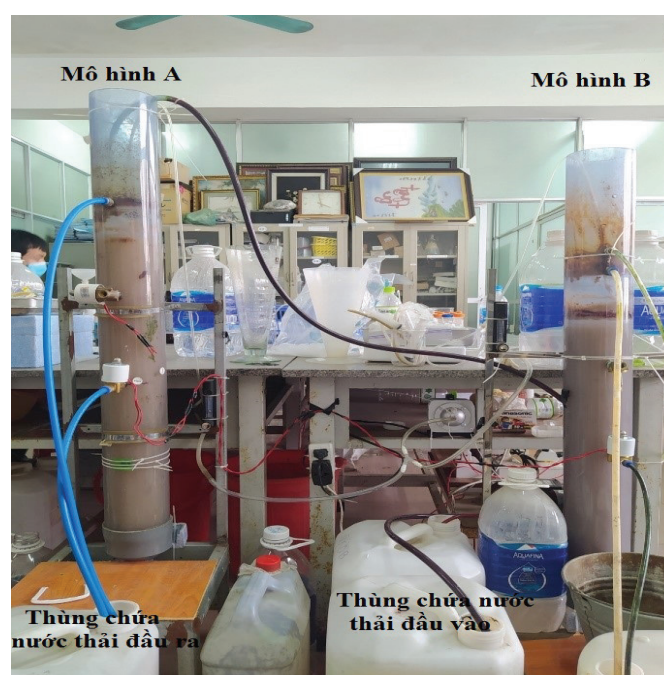
Abstract:

Transplanting and application of aerobic granulation in SBR technology have been developed since 1970. In recent years, this technology has been extensively researched with different substances such as glucose, acetate, ethanol, molasses, sugar, starch, phenol, phthalic acid, chloroanilines, tert-butyl alcohol, and synthetic wastewater. This article describes the process of formation and development of aerobic granulation with acetate at the laboratory in Vietnam. Activated sludge for the study was obtained from Yen So (Hanoi) wastewater treatment plant with MLSS 900-1200 mg/l. The research was carried out on two reactors of the same SBR technology with 0.110 m in diameter and 1 m in height, water level height 0.8 m, working volume of 2.5 l with respective names of A and B. The reactors were sequentially operated 6 cycles/day, each cycle was divided into 4 periods, lasting 4 hours: 1-2 mins of influent filling, 180 mins of aeration, 20-30 mins of settling, and 10-15 mins of effluent. The input wastewater for model A was wastewater with low strength has OLR from 1.0-1.2 kg COD/m³.day. The input wastewater for model B was wastewater with high strength has OLR from 2.7-3.0 kg COD/m³.day, time for research was 120 days. The result showed that the formation and development of granular sludge in model A were very difficult. Meanwhile, granular sludge was formed and developed after 30-45 days of experimentation in model B.

Keywords: aerobic granulation, sequencing batch reactor, transplanting.

Classification number: 2.7

và xả 10-15 phút. Không khí được đưa vào SBR bằng máy sục khí với bộ khuếch tán khí bằng đá bọt được đặt ở đáy bể, lưu lượng sục khí tăng dần từ 1,5 đến 4,5 l/phút trong thời gian làm thí nghiệm, trên đường ống dẫn khí lắp đặt bộ van đo lưu lượng sục khí luôn đảm bảo DO 2-4 mg/l. Nhiệt độ thí nghiệm là nhiệt độ phòng (dao động trong khoảng 27-33°C). Van xả nước được đặt cách đáy bể 0,4 m để thể tích xả khoảng 50% lượng nước sau một chu kỳ hoạt động. Các thông số pH, DO được kiểm tra hàng ngày bằng máy đo cầm tay. Toàn bộ các thiết bị như: bơm cấp nước, máy thổi khí, van xả nước... được điều khiển tự động bởi bộ PLC đã được lập trình sẵn về thời gian và điều khiển các pha hoạt động của SBR theo yêu cầu thí nghiệm.



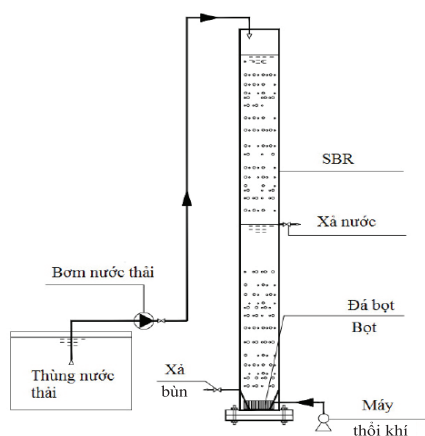
Hình 1. Hình ảnh mô hình thí nghiệm.

Vận hành mô hình thí nghiệm

Sau quá trình lắp ráp và dựng mô hình, nhóm nghiên cứu thực hiện vận hành thử nghiệm mô hình bằng nước sạch để kiểm tra các thiết bị như ở hình 2: máy bơm, máy thổi khí, van điện xả nước, độ kín, khít của mô hình, đặc biệt là ở các mối nối. Sau quá trình kiểm tra, vận hành thử, tiến hành khởi động mô hình thí nghiệm qua các bước sau:

- Đưa vào 2 bể phản ứng của mô hình A và B 2,5 l bùn hoạt tính lấy từ Trạm XLNT Yên Sở để làm nguồn bùn vi sinh vật cho mô hình có MLSS 900-1200 mg/l.

- Khởi động mô hình và để chạy tự động bằng chương trình đã được cài đặt trước trong bộ điều khiển PLC. Duy trì lưu lượng khí cung cấp theo tính toán, sử dụng máy thổi khí lưu lượng cố định, kiểm soát bằng lưu lượng kế. Tiến hành kiểm tra các thiết bị, van khoá hàng ngày, lấy mẫu định kỳ theo kế hoạch (bảng 1).



Hình 2. Sơ đồ mô hình bể SBR sử dụng trong nghiên cứu.

Bảng 1. Chế độ vận hành bể SBR.

Tên mô hình	OLR COD (kg COD/m ³ .ngày)	Nồng độ oxy DO (mg/l)	Nhiệt độ (°C)	Độ pH	Thời gian 1 chu kỳ (phút)			
					Nạp nước	Sục khí	Lắng	Xả
A	1,0-1,2	2,0-4,0	25-35	6-8	1-2	180	20-30	10-15
B	2,7-3,0	2,0-4,0	25-35	6-8	1-2	180	20-30	10-15

Pha nước thải nhân tạo

Nước thải nhân tạo được chuẩn bị bằng cách hòa tan khối lượng đã xác định các hóa chất có độ tinh khiết 99% xuất xứ Trung Quốc vào nước máy lấy tại vòi của phòng thí nghiệm. Nước máy sử dụng để pha hoá chất được loại bỏ Cloramin hàm lượng dưới 0,1 mg/l để đảm bảo không làm ảnh hưởng đến hệ vi sinh vật trong SBR. Đặc điểm, thành phần nước thải tổng hợp được trình bày ở bảng 2 và 3.

Bảng 2. Thành phần các chất nền và vi chất trong nước thải nhân tạo cho mô hình A.

TT	Công thức hóa học các hợp chất pha COD	Tên hóa chất	Nồng độ (g/l)
1	C ₂ H ₃ O ₂ Na.3H ₂ O	Sodium acetate trihydrate	0,847352
2	MgSO ₄ .7H ₂ O	Magnesium sunfate heptahydrate	0,176
3	KCl	Potassium chloride	0,07
4	NH ₄ Cl	Ammonium chloride	0,212
5	K ₂ HPO ₄	Potassium phosphate dibasic	0,0368
6	KH ₂ PO ₄	Potassium dihydrogen phosphate	0,022

Bảng 3. Thành phần các chất nền và vi chất trong nước thải nhân tạo cho mô hình B.

TT	Công thức hóa học các hợp chất pha COD	Tên hóa chất	Nồng độ (g/l)
1	C ₂ H ₃ O ₂ Na.3H ₂ O	Sodium acetate trihydrate	2,1184
2	NH ₄ Cl	Ammonium chloride	0,212
3	KH ₂ PO ₄	Potassium dihydrogen phosphate	0,0352

Phân tích kết quả thí nghiệm

Các thông số được phân tích trong quá trình nghiên cứu bao gồm: COD, NH₄⁺, pH, DO. Các phương pháp phân tích thông số được thực hiện theo Tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) và được trình bày ở bảng 4.

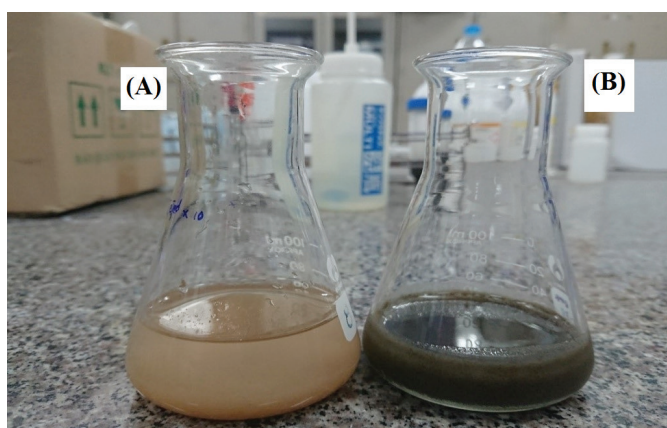
Bảng 4. Phương pháp phân tích các thông số thí nghiệm.

Tên chỉ số phân tích	Đơn vị đo	Phương pháp phân tích	Tần suất phân tích
COD	mg/l	Phương pháp Dicromat, TCVN 6491:1999	5 ngày 1 lần phân tích
NH ₄ ⁺	mg/l	Phương pháp trắc quang - Phương pháp phenat, theo chỉ dẫn của thiết bị Method 10031 - Hach	5 ngày 1 lần phân tích
pH	-	Đo bằng sensor, máy pH cầm tay WTW 340i, Đức	Đo hàng ngày
DO	mg/l	Đo bằng sensor, Máy đo DO cầm tay, Oron, Mỹ	Đo hàng ngày
Nhiệt độ		Nhiệt kế thông thường	Đo hàng ngày

Kết quả và bàn luận

Sự hình thành bùn hạt hiếu khí tại mô hình A

Sau 120 ngày nuôi cấy bùn hạt hiếu khí trong phòng thí nghiệm với nước thải nhân tạo có OLR thấp (1,0-1,2 kg COD/m³.ngày), không có bất kỳ dấu hiệu nào của sự hình thành bùn hạt được ghi nhận ở mô hình A. Khả năng xử lý của bùn hoạt tính ổn định và lắng tốt, nhưng vẫn mang những đặc trưng của bông bùn hoạt tính thông thường, màu sắc của bùn có thay đổi so với bùn hoạt tính lấy về từ Trạm XLNT Yên Sở tại thời điểm ban đầu, màu chuyển từ xám sang nâu như hình 3. Kết quả này chứng tỏ với OLR thấp khó hình thành bùn hạt hiếu khí.



Hình 3. So sánh hình ảnh bùn hoạt tính từ mô hình (A) sau 120 ngày nuôi cấy và bùn hoạt tính từ Trạm XLNT Yên Sở (B).

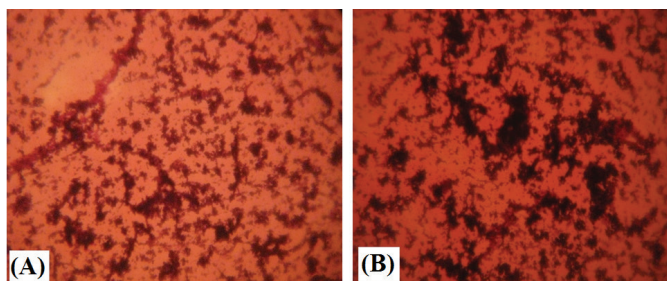
Sự hình thành bùn hạt hiếu khí tại mô hình B

Thời gian của quá trình hình thành bùn hạt hiếu khí diễn ra trong khoảng thời gian 4-6 tuần. Quá trình này diễn ra từ từ, tuy nhiên có thể chia ra làm 5 giai đoạn lớn như sau:

Giai đoạn 1: sau 7 ngày đầu tiên có thể nhận thấy sự thay

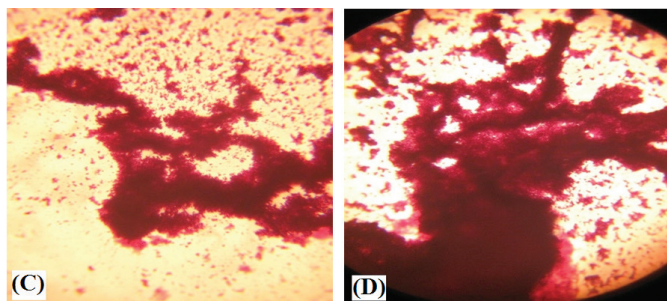
đổi bằng mắt thường (hình 4). Bông bùn hoạt tính chuyển dần thành các mầm bùn cấu trúc lớn hơn, có nhiều mầm bùn dạng que hơn, và các mầm bùn có xu thế kết thành từng đám, có nhiều dịch nhầy xung quanh các mầm bùn. Tại thời điểm này bông bùn vẫn chiếm ưu thế.

Trong giai đoạn này quá trình loại bùn diễn ra mạnh mẽ, một lượng đáng kể bùn có khả năng lắng kém bị rửa trôi cùng với nước thải đầu ra. Bùn vẫn duy trì màu đen như khi lấy về từ Trạm XLNT. Kết quả loại bỏ 60-64% COD, 20-25% $\text{NH}_4^+\text{-N}$.



Hình 4. Hình ảnh hình thành bùn hạt chụp kính hiển vi giai đoạn 1 (sau 7 ngày).

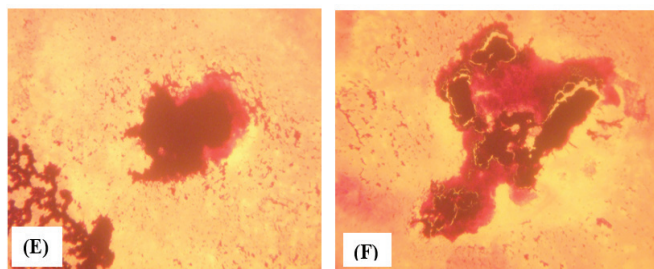
Giai đoạn 2: sau 14 ngày vận hành, có thể quan sát được quá trình hình thành và sự chiếm ưu thế của các cụm bông bùn, các mầm hạt bùn dạng vệt dài, kích thước bùn bắt đầu có sự gia tăng nhanh chóng. Quan sát dưới kính hiển vi điện tử cho thấy, các vi sinh vật bắt đầu có dấu hiệu tụ lại thành từng cụm nhỏ, chúng tạo thành từ vệt có kích thước bất kỳ, chưa có đường biên rõ ràng, đường biên có nhiều tua, sợi nhỏ. Bùn trong SBR có khả năng lắng tốt hơn giai đoạn 1, hiện tượng bùn bị rửa trôi theo nước thải khi xả còn rất ít. Bông bùn chuyển dần sang màu vàng cát. Hiệu quả xử lý tăng dần và $\text{NH}_4^+\text{-N}$ tăng dần, tương ứng trên 65-70% COD và 35-40% $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (hình 5).



Hình 5. Hình ảnh hình thành bùn hạt giai đoạn 2 (sau 14 ngày).

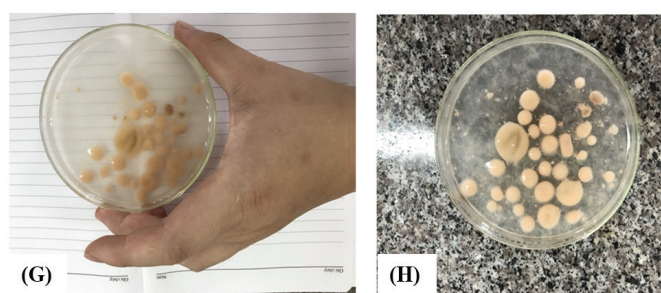
Giai đoạn 3: sau 21 ngày nuôi cấy, những hạt bùn nhỏ bắt đầu xuất hiện nhưng không có hình dạng và kích thước cố định, quan sát bằng kính hiển vi cho thấy đường biên rõ ràng đang dần hình thành, không còn có viền sợi bao xung quanh. Tuy nhiên, khả năng lắng bắt đầu suy giảm, lượng cặn lơ lửng trong nước thải đầu ra có sự gia tăng rõ rệt (hình

6). Sau 28 ngày vận hành, hạt bùn tiếp tục phát triển và cấu trúc không có sự thay đổi, kích thước, số lượng hạt bùn trong SBR có sự gia tăng rõ rệt. Hạt bùn đã có thể quan sát và nhận biết rõ ràng bằng mắt thường. Hiệu quả xử lý tăng dần và $\text{NH}_4^+\text{-N}$ tăng dần, tương ứng trên 70-78% COD và 55-60% $\text{NH}_4^+\text{-N}$.



Hình 6. Hình ảnh hình thành bùn hạt giai đoạn 3 (sau 21-28 ngày).

Giai đoạn 4: sau 5 tuần vận hành, bùn hạt hiếu khí hình thành từ nguồn bùn hoạt tính đã rõ ràng hơn. Kích thước hạt bùn lớn (3-4 mm), cấu trúc hạt bùn ổn định, tuy nhiên độ rỗng trong hạt lớn nên dễ bị giãn nở kích thước khi được lấy ra ngoài quan sát (hình 7). Ở giai đoạn này có sự phát triển mạnh của vi khuẩn dạng sợi bên ngoài và hạt bùn mềm. Có thể quan sát hạt bùn trong SBR bằng mắt thường, tuy nhiên khả năng lắng vẫn còn nhiều hạn chế, kết quả loại bỏ trên 90% COD, trên 80% $\text{NH}_4^+\text{-N}$. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trên thế giới [4, 6, 7]. Nghiên cứu cho thấy, bùn hạt hiếu khí hình thành có kích thước phổ biến là 3-5 mm với sự phát triển mạnh của vi khuẩn dạng sợi. Hạt bùn có dạng hình tròn, bề mặt nhẵn, màu vàng-nâu, khả năng lắng tốt (trên 80% bùn hạt có vận tốc lắng dao động 30-40 m/h).



Hình 7. Hình ảnh hình thành bùn hạt giai đoạn 4 (sau 5 tuần).

Giai đoạn 5: sau 6 tuần vận hành, bùn hạt hiếu khí có cấu trúc gọn hơn, có sự phát triển mạnh của vi khuẩn dạng sợi bên ngoài, cấu trúc bền chắc khó bị vỡ. Có thể quan sát hạt bùn trong SBR bằng mắt thường hoặc lấy ra thí nghiệm, khả năng lắng tốt (tỷ lệ trên 85% bùn hạt có vận tốc lắng dao động 30-40 m/h). Hạt bùn có dạng hình tròn, bề mặt hạt nhẵn, màu hạt bùn vàng-nâu. Kết quả loại bỏ trên 91-92% COD, trên 80-82% $\text{NH}_4^+\text{-N}$.

Kết luận

Nồng độ chất nền là yếu tố quyết định đến sự hình thành và phát triển của bùn hạt hiếu khí. Nếu $OLR < 2,0$ kg COD/m³.ngày sẽ rất khó nuôi thành công bùn hạt hiếu khí. Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả phù hợp với nhiều nghiên cứu tương tự trên thế giới.

Nuôi cấy bùn hạt hiếu khí với $OLR > 2,5$ kg COD/m³.ngày có thể thành công. Điều này đã được nhóm nghiên cứu chứng minh với thí nghiệm nước thải có OLR từ 2,7 đến 3,0 kg COD/m³.ngày. Bùn hạt hiếu khí hình thành sau 4-5 tuần thí nghiệm và phát triển ổn định ở các tuần sau đó.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] N. Hải và cs (2015), “Nghiên cứu tạo bùn hạt hiếu khí trên bề phản ứng theo mẻ luân phiên”, *Tạp chí Khoa học, Trường Đại học An Giang*, **8(4)**, tr.79-88.

[2] Trần Quang Lộc và cs (2015), “Sự hình thành và phát triển của bùn hạt hiếu khí ở các lưu lượng sục khí khác nhau trên bể SBR”, *Tạp chí Khoa học, Trường Đại học Cần Thơ*, **37**, tr.33-41.

[3] S. Mace, J. Alvarez (2002), “Utilization of SBR technology for wastewater treatment: an overview”, *Indian Engineering Chemical Research Journal*, **41**, pp.5539-5553.

[4] G. Bellaa, et al. (2014), “Aerobic granular sludge for Leachate treatment”, *Chemical Engineering Transactions*, **38**, pp.493-498.

[5] B. Moy, et al. (2007), “COD removal and nitrification of low-strength domestic wastewater in aerobic granular sludge sequencing batch reactors”, *Enzyme and Microbial Technology*, **1**, pp.23-28.

[6] J. Zhu, et al. (2013), “Effect of extended idle conditions on structure and activity of granular activated sludge”, **37(9)**, pp.2013-2018.

[7] B. Ni, et al. (2010), “Granulation of activated sludge in a pilot-scale sequencing batch reactor for the treatment of low-strength municipal wastewater”, *Water Research*, **43(3)**, pp.751-761.