

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

Nguyễn Xuân Lan

NGHIÊN CỨU NÂNG CAO HIỆU QUẢ XỬ LÝ SINH
HỌC CỦA CÔNG NGHỆ SBR ỨNG DỤNG Bùn HẠT
ĐỊNH HƯỚNG TÁI SỬ DỤNG NƯỚC THẢI ĐÔ THỊ

Chuyên ngành: Kỹ thuật Môi trường

Mã số: 9520320.01

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Hà Nội - 2026

Công trình được hoàn thành tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên
- ĐHQGHN

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS.TS Đặng Thị Thanh Huyền

Người hướng dẫn khoa học 2: GS.TS Nguyễn Mạnh Khải

Phản biện 1: **GS.TS. Trịnh Văn Tuyên**

Viện Khoa học công nghệ Năng lượng và Môi trường,
Viện HLKH&CNVN

Phản biện 2: **PGS.TS. Nguyễn Thị An Hằng**

Trường Đại học Việt Nhật, ĐHQGHN

Phản biện 3: **PGS.TS. Đỗ Khắc Uẩn**

Trường Hóa và Khoa học sự sống, ĐHBKHN

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ họp
tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQGHN

vào hồi giờ ngày tháng năm 2026

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam;
- Trung tâm Thư viện và Tri thức số, Đại học Quốc gia Hà Nội

MỞ ĐẦU

1. Đặt vấn đề

Tính đến cuối năm 2024, cả nước có 90 nhà máy xử lý nước thải với tổng công suất thiết kế là 3,0 triệu m³/ngày. Tuy nhiên, nhiều nhà máy chưa hoạt động hết công suất do thiếu kết nối đồng bộ với mạng lưới thu gom, nên tổng công suất vận hành thực tế chỉ hơn 1,5 triệu m³/ngày, nghĩa là xử lý được gần 18% tổng lượng nước thải phát sinh, tương đương 27% tổng lượng nước thải được thu gom.

Trong số các công nghệ xử lý nước thải được áp dụng tại Việt Nam, công nghệ bể phản ứng sinh học theo mẻ (Sequencing Batch Reactor - SBR) sử dụng bùn hoạt tính truyền thống đã khẳng định được vị thế quan trọng nhờ khả năng loại bỏ đồng thời các chất ô nhiễm hữu cơ (COD) và các chất dinh dưỡng (N, P) với diện tích xây dựng nhỏ gọn. Tỷ lệ sử dụng công nghệ SBR hiện đang chiếm tỉ trọng áp đảo, hơn 40% trong số các nhà máy điển hình tại các tỉnh thành trọng điểm được xây dựng từ sau năm 2010 tới nay. SBR là công nghệ bể phản ứng sinh học vận hành theo chu kỳ, xử lý nước thải bằng sinh khối bùn hoạt tính truyền thống, đặc trưng bởi quy trình nạp - sục khí - lắng - xả diễn ra tuần tự theo thời gian chỉ trong một bể phản ứng.

Với mong muốn cung cấp thêm cơ sở khoa học để nâng cao hiệu quả của công nghệ SBR trong xử lý và tái sử dụng nước thải đô thị thông qua các giải pháp phát triển sinh khối dạng hạt, đặc biệt ở Việt Nam, nghiên cứu sinh đã lựa chọn đề tài **“Nghiên cứu nâng cao hiệu quả xử lý sinh học của công nghệ SBR ứng dụng bùn hạt định hướng tái sử dụng nước thải đô thị”**. Kết quả của đề tài sẽ góp phần hoàn chỉnh cơ sở lý thuyết và thực nghiệm về nghiên cứu công nghệ kỹ thuật môi trường tiên tiến để nâng cao hiệu suất xử lý và tái sử dụng nước thải đô thị phù hợp với đặc trưng riêng về nguồn thải, quản lý nước thải đô thị và thu hồi tài nguyên ở Việt Nam.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu chung: Nghiên cứu nâng cao hiệu quả của công nghệ SBR qua các giải pháp phát triển sinh khối vi sinh thành dạng hạt để xử lý đồng thời các chất ô nhiễm hữu cơ (COD) và các chất dinh dưỡng (N, P) trong nước thải đô thị đặc thù ở Việt Nam định hướng tái sử dụng.

Mục tiêu cụ thể: (i) Nghiên cứu phát triển sinh khối vi sinh dạng hạt từ bùn giống lưu trữ và phụ gia than hoạt tính sinh học với cơ chất từ nước thải giả định trong hệ SBR nhằm rút ngắn giai đoạn khởi động, tăng hiệu quả xử lý nước thải với các điều kiện vận hành khác nhau, đảm bảo định hướng tái sử dụng nước sau xử lý; (ii) Nghiên cứu thử nghiệm hạt PVA gel tự tạo làm vật liệu mang để phát triển sinh khối vi sinh dính bám với bùn hoạt tính và nước thải thực trong hệ SBR nhằm giảm áp lực vận hành cho giai đoạn khởi động; (iii) Đánh giá khả năng tái hoạt hóa bùn hạt sau thời gian dài trữ lạnh sử dụng hệ SBR và nước thải giả định nhằm định hướng thu hồi bùn hạt dư làm bùn giống.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: (i) Hệ thống thiết bị thí nghiệm mô phỏng công nghệ SBR (gọi tắt là hệ SBR); (ii) Nguồn bùn giống và vật liệu để phát triển sinh khối vi sinh dạng hạt làm tác nhân xử lý sinh học trong công nghệ SBR; (iii) Nước thải làm môi trường để sinh khối vi sinh dạng hạt trao đổi chất đồng thời thực hiện các quá trình chuyển hóa sinh học xử lý các chất ô nhiễm trong nước thải.

Phạm vi nghiên cứu: (i) theo không gian: Các nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện ở quy mô Phòng thí nghiệm, tại Khoa Môi trường, trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội; (ii) theo thời gian: Do bị gián đoạn bởi đại dịch Covid-19 những năm 2021, 2022, tổng thời gian thực nghiệm là khoảng 20 tháng (từ 2022-2024)

4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

Ý nghĩa khoa học: Các kết quả nghiên cứu của đề tài sẽ đóng góp vào cơ sở lý thuyết về phương pháp xử lý nước thải sinh học bằng sinh khối dạng hạt trong công nghệ SBR để nâng cao hiệu quả xử lý nước thải đô thị so với công nghệ SBR truyền thống sử dụng sinh khối bùn hoạt tính sinh trưởng lơ lửng, thông qua việc thiết kế, lắp đặt các hệ SBR quy mô phòng thí nghiệm và thực nghiệm các chế độ vận hành khác nhau để phát triển các sinh khối dạng hạt khác nhau: (i) sinh khối dạng hạt do vi sinh vật tự kết tụ từ bùn giống lưu trữ với sự hỗ trợ của than trấu sinh học, tạo thành bùn hạt hiếu khí cải tiến với phụ gia than trấu; (ii) sinh khối dạng hạt do vi sinh vật phát triển dính bám cố định trên hạt chất mang PVA gel tự tạo; (iii) sinh khối bùn hạt hiếu khí được tái hoạt hóa từ bùn hạt giống lưu trữ lạnh trong thời gian dài.

Ý nghĩa thực tiễn:

- Các kết quả nghiên cứu khoa học có thể tham khảo để thiết kế và vận hành công nghệ SBR bằng sinh khối dạng hạt xử lý nước thải đô thị theo nguyên lý mở nối tiếp ở các quy mô lớn hơn như quy mô thí điểm (pilot) tại hiện trường hoặc quy mô thực tế (full-scale), góp phần rút ngắn thời gian nghiên cứu từ phòng thí nghiệm tới ứng dụng thực tế, đảm bảo nghiên cứu khoa học gắn liền với giải quyết các vấn đề thực tiễn, đáp ứng nhu cầu thị trường, phục vụ phát triển kinh tế - xã hội, tránh lãng phí nguồn lực và thúc đẩy đổi mới sáng tạo.

- Việc sử dụng than sinh học từ trấu, một phế phẩm nông nghiệp, làm phụ gia hỗ trợ quá trình phát triển bùn hạt hiếu khí, việc tạo hạt PVA gel làm chất mang để phát triển màng sinh học cố định, và việc tái hoạt hóa bùn hạt lưu trữ để chủ động nguồn bùn giống đã góp phần nâng cao khả năng làm chủ quá trình phát triển bùn hạt hiếu khí bằng công nghệ SBR để xử lý nước thải, kết hợp thu hồi tài nguyên, thúc đẩy kinh tế tuần hoàn.

- Công nghệ SBR cải tiến sử dụng sinh khối bùn hạt được đề xuất là bước xử lý bậc hai tin cậy trong các nhà máy xử lý nước thải đô thị tập trung để làm tiền đề tích hợp tiếp với các hệ thống xử lý bậc 3 nâng cao như lọc màng (ví dụ: các màng UF, RO), oxy hóa tiên tiến (ví dụ: khử trùng bằng UV, Ozon) nhằm tái sử dụng nước sau xử lý cho các hoạt động đô thị, sản xuất nông nghiệp, hoặc cho các mục đích khác như bổ cập nguồn nước. Đây là định hướng chiến lược để đảm bảo an ninh nguồn nước trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

5. Những đóng góp mới của luận án

- Làm sáng tỏ quá trình hình thành bùn hạt từ bông bùn non với sự hỗ trợ của than hoạt tính sinh học như vai trò tạo nhân hạt, bảo vệ vi sinh vật dưới áp lực chọn lọc thủy lực cao, kích thích khung khoáng hóa để tăng độ bền hạt, từ đó góp phần nâng cao hiệu quả của công nghệ SBR thông qua giảm thời gian lắng, giảm áp lực vận hành chọn lọc hạt ở giai đoạn khởi động, đảm bảo hiệu quả xử lý nước thải thích ứng với các điều kiện vận hành khác nhau mô phỏng đặc trưng riêng về chất lượng và quản lý nước thải đô thị tại Việt Nam.

- Thử nghiệm thành công hạt PVA gel tự chế tạo có cấu trúc xốp rỗng, độ bền và độ đàn hồi cao, khả năng lắng nhanh, sử dụng công thức PVA/NaNO₃, làm vật liệu mang để phát triển màng sinh học cố định thay vì vi sinh vật phải tự tạo hạt như bùn hạt hiếu khí, cho phép tách biệt áp lực chọn lọc thủy lực khỏi quá trình vận hành hệ SBR trong giai đoạn khởi động, từ đó góp phần tăng khả năng thích ứng, chuyển đổi các hệ thống SBR từ sử dụng bùn hoạt tính sinh trưởng lơ lửng truyền thống sang hệ vi sinh vật dính bám được cố định dạng hạt.

- Chứng minh được bùn hạt hiếu khí có thể lưu trữ lạnh trong nhiều năm và có khả năng phục hồi hoạt tính vi sinh vật để thực hiện chức năng xử lý nước thải khi được tái hoạt hóa bằng kỹ thuật vận hành hợp lý trong hệ SBR, từ đó định hướng khả năng quản lý và thu hồi bùn hạt dư trong các hệ thống xử lý nước thải sử dụng công nghệ SBR để

tuần hoàn làm bùn hạt giống cho các hệ SBR mới khởi động hoặc khi cần phục hồi hệ thống xử lý sinh học SBR sau sự cố.

6. Cấu trúc của luận án

Nội dung nghiên cứu của luận án được trình bày tại 5 phần chính:

- Mở đầu
- Chương 1. Tổng quan các vấn đề nghiên cứu
- Chương 2. Nội dung và phương pháp nghiên cứu
- Chương 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận
- Kết luận và khuyến nghị

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN CÁC VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1. Hiện trạng nước thải đô thị ở Việt Nam

Theo số liệu thống kê, tổng lượng nước thải đô thị phát sinh trên cả nước ước tính khoảng 8,6 triệu m³/ngày. Tỷ lệ nước thải được xử lý trên tổng lượng phát sinh chỉ là 16,9%. Hiện cả nước có khoảng 90 nhà máy xử lý nước thải đang hoạt động với tổng công suất thiết kế là 3,0 triệu m³/ngày, nhưng nhiều nhà máy chưa hoạt động hết công suất do thiếu sự kết nối đồng bộ từ mạng lưới thu gom (Nguyễn Việt Anh, 2024). SBR hiện đang là công nghệ phổ biến, chiếm hơn 40% trong số các nhà máy điển hình tại các tỉnh thành trọng điểm được xây dựng từ sau năm 2010 tới nay (ARCOWA, 2018)

Với các số liệu nước thải đầu vào của các nhà máy XLNT đang vận hành tại Việt Nam cho thấy nước thải đô thị Việt Nam có đặc thù BOD₅ thấp, BOD₅/TN thấp. Do đó, cần phải có các nghiên cứu đối với các quá trình sinh học trong xử lý nước thải để nâng cao khả năng thích ứng của công nghệ sinh học đối với đặc trưng riêng của nước thải đô thị ở Việt Nam.

Tái sử dụng nước thải là giải pháp khả thi để bổ cập cho nguồn nước cấp trong tình trạng khan hiếm và ô nhiễm nguồn nước ngày càng gia tăng, giảm áp lực cho việc cấp nước đô thị hiện nay.

1.2. Công nghệ xử lý sinh học theo mẻ nối tiếp (SBR) trong xử lý nước thải

Công nghệ sinh học theo mẻ nối tiếp (Sequencing Batch Reactor - SBR) được áp dụng khá phổ biến ở Việt Nam. Công nghệ này là một giải pháp linh hoạt và hiệu quả, đặc biệt phù hợp với các tải lượng nước thải dao động và yêu cầu xử lý chất dinh dưỡng cao. Hoạt động của SBR bao gồm một chuỗi các chu trình nạp-gạn, thường bao gồm các giai đoạn sau: nạp, phản ứng, lắng, và gạn rút nước.

Giải pháp thay thế bùn hoạt tính (AS) trong hệ SBR bằng bùn dạng hạt (AGS) để tăng mật độ sinh khối, cải thiện khả năng lắng, và tạo ra các lớp thiếu khí và hiếu khí bên trong hạt bùn, giúp thực hiện quá trình Nitrat hóa - Khử nitrat đồng thời (SND) hiệu quả hơn. Khi hiệu quả lắng tăng, thời gian lắng giảm, có thể giúp giảm kích thước công trình với cùng công suất xử lý nước thải.

1.3. Bùn hoạt tính dạng hạt trong hệ SBR

Bùn hạt hiếu khí (AGS) là một màng sinh học vi khuẩn tự kết tụ, có hiệu quả trong việc loại bỏ chất dinh dưỡng và chất ô nhiễm, thông qua sự phát triển của các lớp vi khuẩn dày đặc liên kết với nhau bằng các chất polyme ngoại bào (EPS). Tuy nhiên, thời gian khởi động dài và sự phân hủy hạt vẫn là những thách thức trong nhiều nghiên cứu hiện nay.

Việc sử dụng các chất phụ gia có thể thúc đẩy sản xuất EPS tăng cường, trung hòa điện tích trên bề mặt vi khuẩn, hoạt động như một tác nhân gây ra lỗi hoặc như một cầu nối để kết nối EPS và bề mặt tế bào. Trong các vật liệu hỗ trợ tạo hạt có tính bản địa, chi phí thấp và thân thiện với môi trường, than hoạt tính sinh học đã được định vị là một giải pháp bền vững và hiệu quả. Ngoài ra, sử dụng chất mang sinh học dạng hạt từ vật liệu PVA gel để cố định vi sinh vật có thể là giải pháp khác để duy trì sự ổn định của màng sinh học và điều kiện tối ưu cho vi sinh vật phát triển trong hệ SBR xử lý nước thải.

1.4. Đánh giá các hạn chế và đề xuất hướng nghiên cứu

Việc nâng cao hiệu quả xử lý của công nghệ SBR thông qua việc ứng dụng bùn hạt (AGS) đã được nghiên cứu và ứng dụng một phần trong thực tế, tuy nhiên vẫn còn một số hạn chế như sau:

- Thời gian khởi động kéo dài của hệ thống AGS, có thể làm chậm hiệu quả vận hành.

- Hình thái hạt không thể đoán trước, hạt bị phân hủy và mất ổn định lâu dài (Franca và ccs, 2018) trong các bể phản ứng thí điểm và quy mô thực tế.

- Hầu hết các nghiên cứu AGS được thực hiện trên các SBR quy mô phòng thí nghiệm và quy mô thí điểm trong các điều kiện vận hành được xác định rõ (Świątczak và ccs, 2017).



Hình 1.12. Sơ đồ tổng thể kế hoạch nghiên cứu

Việc phát triển sinh khối dạng hạt hoặc cố định vi sinh có thể là giải pháp tiềm năng nhưng chưa được đánh giá hệ thống tại điều kiện Việt Nam. Cần lưu ý rằng bể SBR chỉ là một khâu trong toàn bộ dây chuyền xử lý nhằm mục đích tái sử dụng. Khi hiệu quả xử lý sinh học của bể SBR tốt và ổn định thì khả năng xử lý của các khâu tiếp theo (xử lý nâng cao) nhằm mục đích tái sử dụng sẽ có độ tin cậy và hiệu quả hơn.

Hướng nghiên cứu mới sẽ nhằm mục đích nghiên cứu các hướng phát triển bùn hạt nhanh và hiệu quả, để duy trì hiệu suất xử lý tốt nhất các chất ô nhiễm trong nước thải. Giả thuyết nghiên cứu của luận án là: Các loại sinh khối dạng hạt được phát triển trong hệ bể SBR có hiệu quả xử lý các chất ô nhiễm hữu cơ dạng COD và dinh dưỡng dạng N, P trong nước thải đô thị cao hơn so với bùn hoạt tính truyền thống trong hệ SBR ở Việt Nam. Sơ đồ nghiên cứu tổng thể của luận án được trình bày ở Hình 1.12.

CHƯƠNG 2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nội dung nghiên cứu

2.1.1. Phát triển bùn hạt hiếu khí với phụ gia than sinh học trấu trong hệ AGS-SBR

Nội dung nghiên cứu này nhằm làm sáng tỏ quá trình phát triển bùn hạt từ bùn giống lưu trữ và phụ gia than trấu sinh học sử dụng cơ chất từ nước thải đô thị giả định trong giai đoạn khởi động hệ SBR và duy trì được sinh khối vi sinh dạng hạt khi có sự biến động về tải lượng nước thải, thực hiện trong hệ thí nghiệm SBR có mức độ tự động hóa tương đối hoàn chỉnh để kiểm soát vận hành và quan trắc các thông số môi trường, từ đây trong nghiên cứu này sẽ gọi là hệ AGS-SBR.

Thiết kế thí nghiệm thực hiện nội dung này gồm 2 giai đoạn:

- Nghiên cứu phát triển sinh khối bùn hạt hiếu khí (granulation) từ bùn giống lưu trữ với sự hỗ trợ tạo hạt của phụ gia than trâu sinh học trong giai đoạn khởi động hệ AGS-SBR (start-up);

- Nghiên cứu hiệu quả xử lý nước thải nâng cao (advanced stabilization) của sinh khối bùn hạt hiếu khí cải tiến với phụ gia than trâu sinh học trong hệ AGS-SBR dưới ảnh hưởng của biến động tải lượng chất ô nhiễm trong nước thải.

2.1.2. Thử nghiệm hạt PVA gel tự tạo làm chất mang sinh học trong hệ PVA-SBR

Nội dung nghiên cứu này đã thử nghiệm tự chế tạo hạt chất mang sinh học từ vật liệu PVA gel để phát triển màng vi sinh dính bám cố định xử lý nước thải trong hệ SBR tối giản về khả năng tự động hóa, từ đây trong nghiên cứu này sẽ gọi là hệ PVA-SBR, nhằm giảm áp lực chọn lọc thủy lực nghiêm ngặt ở giai đoạn khởi động hệ PVA-SBR. Công thức chế tạo hạt PVA gel ở nội dung này không cố định nguồn bùn giống nên cần vi sinh vật cấy giống lấy từ bùn hoạt tính nhà máy xử lý nước thải tập trung.

Thiết kế thí nghiệm thực hiện nội dung này gồm 2 giai đoạn:

- Nghiên cứu tự chế tạo hạt PVA gel theo 2 công thức khác nhau với hóa chất và vật liệu ở bên ngoài hệ PVA-SBR;

- Nghiên cứu thử nghiệm hạt chất mang PVA gel đã chế tạo thành công để phát triển màng sinh học dính bám cố định xử lý nước thải thực trong hệ PVA-SBR.

2.1.3. Tái hoạt hoá bùn hạt lưu trữ lạnh thời gian dài trong hệ AGS-SBR

Nội dung nghiên cứu này đã xác định một chế độ vận hành chuyên biệt cho hệ AGS-SBR để tái hoạt hóa bùn hạt lưu trữ lạnh thời gian dài với nước thải giả định, nhằm đánh giá khả năng thu hồi bùn hạt dư và lưu trữ làm bùn hạt giống. Do đó, thiết kế thí nghiệm thực hiện nội dung này tập trung vào kỹ thuật vận hành hợp lý để vừa phục hồi được

hoạt tính vi sinh vật, vừa chọn lọc được hạt bùn giúp làm chủ nguồn bùn hạt giống cho các hệ SBR khởi động mới hoặc các hệ SBR cần phục hồi sau sự cố.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp thực nghiệm

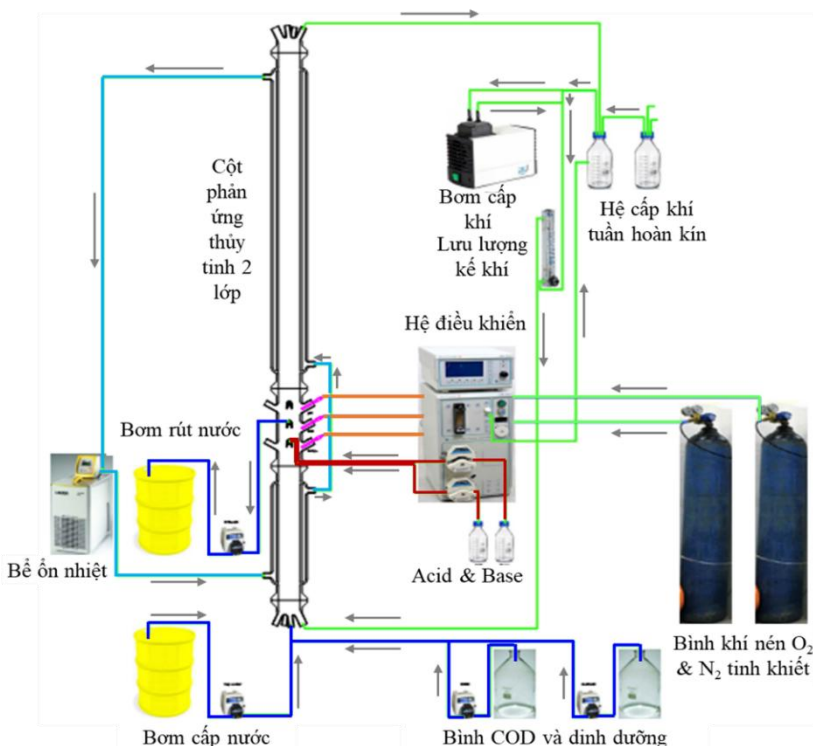
Bảng 2.1. Quy trình thực nghiệm (protocol) 5 bước cho nội dung 1

Bước	Nhiệm vụ	Công việc cụ thể
1	Chuẩn bị đối tượng và vật liệu nghiên cứu	Lắp đặt hệ AGS-SBR
		Chuẩn bị bùn giống lưu trữ
		Chuẩn bị than trâu sinh học
		Chuẩn bị nước thải giả định
2	Thiết lập các thông số đầu vào cho hệ AGS-SBR	Định dạng hệ AGS-SBR
		Tính toán các dòng vào cho hệ AGS-SBR
3	Vận hành hệ AGS-SBR giai đoạn 1	Vận hành theo chu kỳ hệ AGS-SBR
		Kiểm soát thông số môi trường
4	Vận hành hệ AGS-SBR giai đoạn 2	Vận hành theo chu kỳ hệ AGS-SBR
		Kiểm soát thông số môi trường
5	Phân tích, đánh giá	Hàm lượng, hình thái, cấu trúc của sinh khối
		Các đặc tính cơ lý của sinh khối
		Các đặc tính sinh học của sinh khối
		Các chỉ tiêu chất lượng nước

Việc phân định giai đoạn trong nội dung nghiên cứu này được xác định theo thời gian và mức độ phát triển bùn hạt hiếu khí với phụ gia than trâu sinh học:

- Giai đoạn 1: tính từ lúc bắt đầu vận hành hệ AGS-SBR đến khi bùn hạt trưởng thành và ổn định hiệu suất xử lý.

- Giai đoạn 2: thử nghiệm hiệu suất xử lý nâng cao của hệ AGS-SBR với bùn hạt trưởng thành khi thay đổi tải lượng chất ô nhiễm trong nước thải.



Hình 2.1. Sơ đồ công nghệ hệ xử lý nước thải AGS-SBR

Bảng 2.4. Quy trình thực nghiệm (protocol) 5 bước cho nội dung 2

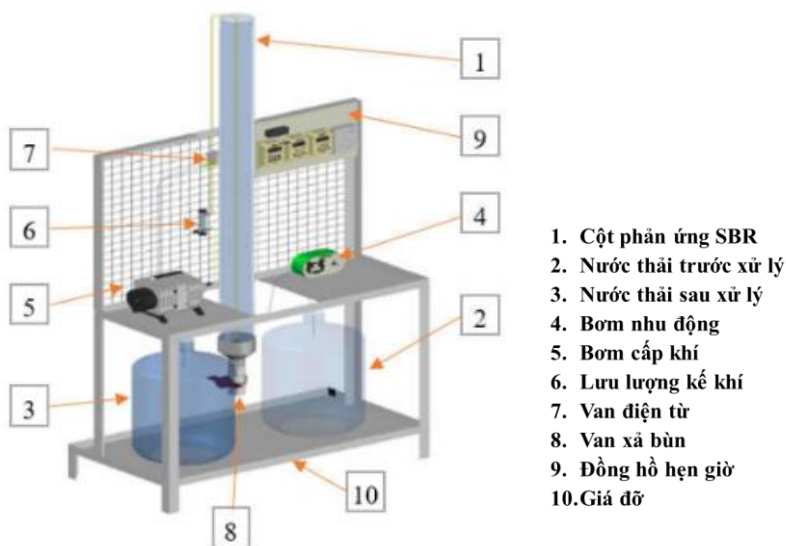
Bước	Nhiệm vụ	Công việc cụ thể
1	Chuẩn bị đối tượng và vật liệu nghiên cứu	Lắp đặt hệ PVA-SBR
		Chuẩn bị hóa chất và vật liệu chế tạo hạt PVA gel
		Chuẩn bị bùn hoạt tính từ trạm xử lý nước thải
		Chuẩn bị nước thải thật
2	Chế tạo hạt PVA gel	Chế tạo hạt PVA gel theo công thức 1
		Chế tạo hạt PVA gel theo công thức 2
3	Thiết lập các thông số đầu vào cho hệ PVA-SBR	Định dạng hệ PVA-SBR
		Tính toán các dòng vào cho hệ PVA-SBR
4		Vận hành theo chu kỳ hệ PVA-SBR

	Vận hành hệ PVA-SBR	Kiểm soát thông số môi trường
5	Phân tích, đánh giá	Các đặc điểm của hạt PVA gel
		Các đặc điểm của sinh khối
		Các chỉ tiêu chất lượng nước

Việc phân định giai đoạn trong nội dung nghiên cứu này được xác định theo công việc:

- Giai đoạn 1: Tự chế tạo hạt PVA gel theo 2 công thức vật liệu và hóa chất khác nhau ở bên ngoài hệ PVA-SBR.

- Giai đoạn 2: Thử nghiệm hạt chất mang PVA gel đã chế tạo thành công để phát triển màng sinh học dính bám cố định xử lý nước thải thực trong hệ PVA-SBR trong thời gian 5 tuần.



Hình 2.2. Sơ đồ công nghệ hệ xử lý nước thải PVA-SBR

Bảng 2.8. Quy trình thực nghiệm (protocol) 4 bước cho nội dung 3

Bước	Nhiệm vụ	Công việc cụ thể
1	Chuẩn bị đối tượng và vật liệu nghiên cứu	Lắp đặt hệ AGS-SBR
		Chuẩn bị bùn hạt giống lưu trữ lạnh thời gian dài
		Nước thải giả định

2	Thiết lập các thông số đầu vào cho hệ AGS-SBR	Định dạng hệ AGS-SBR
		Tính toán các dòng vào cho hệ AGS-SBR
3	Vận hành hệ AGS-SBR	Vận hành theo chu kỳ hệ AGS-SBR
		Kiểm soát thông số môi trường
4	Phân tích, đánh giá	Hàm lượng, hình thái, cấu trúc của sinh khối
		Các đặc tính cơ lý của sinh khối
		Các đặc tính sinh học của sinh khối
		Các chỉ tiêu chất lượng nước

2.2.2. Phương pháp đánh giá, phân tích

- Các thông số môi trường gồm pH, nhiệt độ, nồng độ oxy hòa tan trong nước (DO) được đo bằng cảm biến online theo thời gian thực cho hệ AGS-SBR

- Phát triển về khối lượng và khả năng lắng của bùn được đánh giá qua chỉ số nồng độ sinh khối MLSS và chỉ số thể tích bùn SVI

- Hình thái và cấu trúc bùn hạt được đánh giá qua kính hiển vi quang học (EMZ-5, Meiji Techno, Nhật Bản) và kính hiển vi điện tử quét kết hợp với quang phổ tán xạ tia X năng lượng (SEM-EDX) (TM4000Plus, Hitachi, Nhật Bản).

- Các đặc điểm cơ lý của bùn dạng hạt được đánh giá qua các chỉ số: vận tốc lắng đứng, khối lượng riêng, độ bền hạt, phân bố kích thước hạt.

- Hoạt tính sinh học đặc trưng của vi sinh vật được đánh giá thông qua tốc độ tiêu thụ oxy riêng (SOUR): $SOUR = OUR/MLVSS$, trong đó, MLVSS là nồng độ chất rắn lơ lửng bay hơi trong hỗn hợp bùn lỏng (g/L hoặc mg/L).

- Các mẫu bùn hạt được thu thập để phân tích siêu hệ gen (metagenomic) nhằm xác định được cộng đồng vi sinh vật ở các cấp độ ngành, chi và loài.

- Hiệu quả xử lý nước thải thể hiện qua khả năng loại bỏ các chất ô nhiễm hữu cơ (thể hiện qua chỉ tiêu COD), loại bỏ chất dinh dưỡng

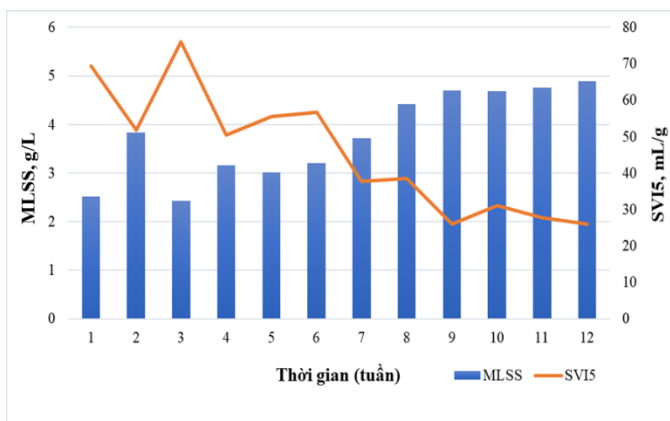
(thể hiện qua chỉ tiêu NH_4^+ , NO_3^- và PO_4^{3-}). Cụ thể, nghiên cứu này phân tích COD theo phương pháp APHA 5220 D (đối với sCOD thì cần phải lọc qua giấy lọc 0.45 μm trước khi phân tích). Ngoài ra, các mẫu nước phân tích NH_4^+ theo APHA 4500- NH_3 F, phân tích NO_3^- theo APHA 4500- NO_3^- B và phân tích PO_4^{3-} theo phương pháp APHA 4500-P E.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phát triển bùn hạt hiếu khí với phụ gia than sinh học trấu trong hệ AGS-SBR

3.1.1. Tăng trưởng sinh khối bùn hạt với phụ gia than trấu

Hình 3.1 cho thấy sự thay đổi nồng độ MLSS (cột xanh lam) và chỉ số SVI5 (đường màu cam) theo thời gian 12 tuần của giai đoạn vận hành SBR để nuôi tạo bùn hạt AGS với phụ gia than trấu.

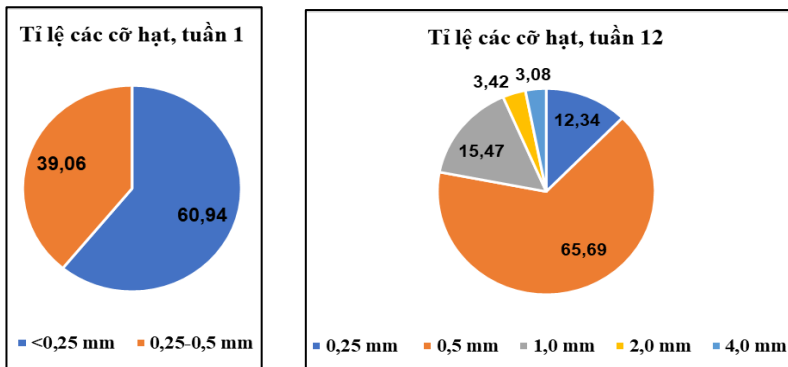


Hình 3.1. Các chỉ số MLSS và SVI5, giai đoạn 1

Nồng độ MLSS ban đầu khoảng 2,5 g/L và có xu hướng tăng dần trong suốt đợt vận hành. Điều này cho thấy khối lượng bùn trong bể đang tích lũy và phát triển. Nồng độ này đạt mức cao nhất là gần 5 g/L vào cuối đợt, chứng tỏ quần thể vi sinh vật đang sinh trưởng mạnh.

Chỉ số SVI ban đầu ở mức cao, khoảng 45 mL/g, sau đó tăng lên đỉnh điểm là gần 76 mL/g và sau đó giảm dần. SVI của một lớp hạt trưởng thành thường nằm trong khoảng từ 20 đến 40 mL/g.

Phân tích hình dưới đây cho thấy sự phát triển về kích thước bùn hạt uớt sau 12 tuần vận hành (Giai đoạn 1), từ bùn giống là 60,94% bùn dạng bông kích thước <0,25 mm và 39,06% bùn hạt non cỡ nhỏ nhất đã lọt qua sàng 0,5mm và được giữ lại trên sàng cỡ 0,25mm (Hình 3.4). Đây là 2 nhóm hạt bùn được phân loại theo phương pháp sàng uớt từ kết quả thí nghiệm tái hoạt hóa bùn hạt giống trữ lạnh. Sau 12 tuần, một lượng lớn các hạt đã phát triển lên kích thước 0,5 – 1 mm (chiếm 65,69%). Các hạt có kích thước 1 - 2 mm (chiếm 15,47%) và 2 - 4 mm (chiếm 3,42%) cũng đã xuất hiện. Thậm chí có một phần nhỏ (3,08%) các hạt có kích thước lên đến >4,0 mm.

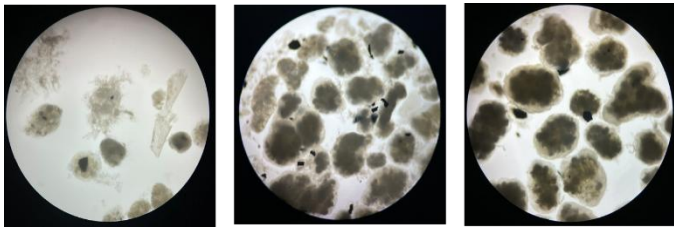


Hình 3.4. Biểu đồ phân bố kích thước hạt, giai đoạn 1

3.1.2. Đặc điểm hình thái, cấu trúc của bùn hạt với phụ gi than trấu

Quan sát dưới kính hiển vi quang học (độ phóng đại x4) đã cung cấp bằng chứng trực quan về quá trình hạt phát triển.

Giai đoạn 1 (ảnh bên trái ngoài cùng Hình 3.6), khi mới khởi động, cho thấy các bông bùn nhỏ, có hình dạng không đồng đều và lỏng lẻo. Giai đoạn 2 (ảnh ở giữa), sau khoảng 1 tuần, đánh dấu sự kết dính của các bông bùn thành các khối tròn trịa hơn, cho thấy sự khởi đầu của quá trình tự sinh polymer ngoại bào (EPS). Cuối cùng, Giai đoạn 3 (sau khoảng 5 tuần) là sự xuất hiện của các hạt bùn lớn, hình cầu, mật độ cao, và cấu trúc chặt chẽ hơn (ảnh ngoài cùng).



Hình 3.6. Hình ảnh phát triển hạt bùn qua kính hiển vi, x4

3.1.3. Một số tính chất cơ lý của hạt bùn với phụ gia than trâu

Bảng 3.2. Một số tính chất cơ lý của bùn hạt than trâu

Thông số		Giai đoạn 1		Giai đoạn 2		Bùn hoạt tính
		Tuần 8	Tuần 12	Tuần 4	Tuần 5	
Độ ẩm	%	95,18	93,26	93,47	90,49	97-99
Khối lượng riêng của mẫu bùn AGS (Density)	g/mL	1,155	1,176	1,137	1,181	1,02 - 1,03
Trọng lượng riêng của mẫu bùn AGS (Gravity)	-	1,158	1,179	1,141	1,185	1,02 - 1,03
Vận tốc lắng của hạt (cỡ hạt 1-2 mm)	m/h	25-38	58-67	29-36	33-39	4 - 10
Độ toàn vẹn của hạt	(%)	73,32	87,11	79,98	83,29	-

Nhìn chung các thông số trong bảng 3.2 cho thấy quá trình tạo hạt đã diễn ra thành công, và các đặc tính cơ lý được duy trì tốt trong điều kiện tải trọng đầu vào của nước thải có sự thay đổi đột ngột.

3.1.4. Hoạt tính sinh học của bùn hạt với phụ gia than trấu

Phân tích tốc độ tiêu thụ oxy (SOUR) cho thấy sinh khối AGS hoạt động mạnh. Trong cả Đợt 1 và Đợt 2, nồng độ DO trong bể phản ứng giảm rất nhanh ngay sau khi cấp nước/sục khí. Đồ thị OUR xác nhận rằng quần thể vi sinh vật trong AGS không chỉ đạt mật độ cao mà còn khỏe mạnh và có khả năng chuyển hóa nhanh chóng, phù hợp với yêu cầu của chu trình SBR lựa chọn.

3.1.5. Hiệu quả xử lý nước thải của hệ AGS-SBR theo sự phát triển của bùn hạt

Có thể thấy hiệu quả xử lý nước thải của hệ SBR khá tốt. Khi chạy sục tải ở đợt 2, Hiệu suất loại bỏ COD được duy trì ở mức cao và ổn định, dao động trong khoảng 80%-90%. Mặc dù tải lượng C/N thấp, khả năng hấp thụ carbon nhanh chóng của quần thể dị dưỡng đã được duy trì, chuyển hóa hiệu quả sCOD thành PHA dự trữ. Điều này được củng cố bởi mật độ sinh khối cao trong hạt bùn, một lợi thế cốt lõi của AGS so với bùn bông truyền thống.

3.2. Thử nghiệm hạt PVA gel tự tạo làm chất mang sinh học trong hệ PVA-SBR

3.2.1. Đặc điểm hạt PVA gel được chế tạo

Với sản phẩm theo công thức 1 (PVA/boric axit), hạt gel trong, mềm và nhớt hơn nhưng vẫn giữ được hình dạng tròn sau khi ngâm trong dung dịch định hình. Tuy nhiên, khi đưa các hạt gel PVA-boric axit vào bể sục khí thì các hạt gel có xu hướng tan ra, kết tụ lại thành một khối và lắng tập trung vào đáy bể. Một lượng bọt lớn trôi ra, kết tụ thành đám nổi trên mặt nước.

Với công thức 2 (PVA/ NaNO_3), hạt gel màu trắng đục, dạng hình cầu khá đồng đều, ấn vào thấy chắc và có độ đàn hồi như hạt cao su. Trong và sau khi thử độ bền gel bằng sục khí liên tục, các hạt không có dấu hiệu vỡ, phân rã hoặc kết tụ. Các hạt giữ được trạng thái lơ lửng khi sục khí và lắng nhanh khi dừng sục khí.

Bảng 3.5. Đặc điểm của hạt gel PVA/ NaNO_3

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
1	Màu sắc	-	Trắng đục
2	Hình dạng	-	Hình cầu
3	Kích thước	mm	4-5
4	Khối lượng hạt điển hình	mg/hạt	60
5	Độ lớn thủy lực	mm/s	41

Như vậy, có thể lý giải rằng lý do để các hạt dạng 1 có liên kết yếu, dễ bị phá vỡ và kết tụ, có thể là do không có các vi khuẩn bùn hoạt tính được cố định cùng. Nói cách khác, liên kết PVA/Boric axit phù hợp với việc tạo hạt có cố định bùn hoạt tính.

3.2.2. Thử nghiệm hạt PVA gel tự tạo làm chất mang sinh học

Quan sát các mảnh hạt gel dưới kính hiển vi quang học nhận thấy viền ngoài của hạt gel khá nét và liền mạch, phù hợp với bề mặt căng mọng của hạt gel khi quan sát bằng mắt, có thể là do liên kết canxi alginate đã tạo một màng liên kết chắc chắn cho bề mặt hạt gel, cùng với chuyển động tròn đều trong bể phản ứng dạng cột SBR làm hạn chế sự sinh sôi của các vi khuẩn dạng sợi, đảm bảo kết cấu đặc chắc và khả năng lắng của hạt PVA. Trong khi đó, một mảnh nhỏ ở lõi của hạt PVA khi quan sát dưới kính hiển vi đã thấy rõ hình ảnh vi khuẩn phát triển và di động trong cấu trúc xốp rỗng của mạng PVA gel.



(a)



(b)

Hình 3.24. Hạt PVA gel trắng (a), sau 5 tuần xử lý nước thải (b)

Hiệu quả xử lý nước giảm đối với chỉ tiêu COD và NH_4^+ tương ứng 74% và 71% nhưng gần như không thay đổi với hiệu quả xử lý TSS (69%) trong tuần thứ 2. Đó là do việc loại bỏ phần bùn hoạt tính được dùng để khởi động hệ SBR đã làm giảm đột ngột lượng vi sinh vật xử lý nước thải. Trong 3 tuần vận hành tiếp theo, hiệu quả xử lý nước thải tăng dần theo đặc trưng riêng của từng thông số. Đối với thông số TSS, hiệu quả xử lý tăng nhanh trong tuần thứ 3 lên 86%, sau đó tăng đều lên 87% và 88% ở các tuần thứ 4 và thứ 5. Kết hợp với quan sát hình thái hạt, có thể giải thích rằng, đây là khoảng thời gian các hạt rắn trong nước thải xâm nhập nhanh vào mạng lưới lỗ rỗng của lớp hạt PVA gel, góp phần làm cho các hạt PVA gel nặng hơn và trở nên căng mọng. Ở cuối tuần 5, giá trị nồng độ của các thông số chất lượng nước thải TSS, COD, và NH_4^+ đều đạt cột A của QCVN 14:2025/BTNMT.

3.3. Tái hoạt hóa bùn hạt lưu trữ lạnh thời gian dài trong hệ AGS-SBR

3.3.1. Đặc điểm quá trình tái hoạt hóa của bùn hạt giống trữ lạnh

Bảng 3.7. Đặc điểm của bùn hạt trước và sau lưu trữ

Đặc trưng	Đơn vị	Hạt tươi trước khi lưu trữ	Hạt lưu trữ sau 3 năm	Hạt được kích hoạt lại sau 57 ngày
Màu sắc và hình dạng	-	Màu nâu vàng, hình cầu và hình dạng bên ngoài trong suốt	Hình cầu, màu vàng nâu	Màu nâu vàng, hình cầu và hình dạng bên ngoài trong suốt
Đường kính lớn nhất	mm	6	6	4
Hệ số toàn vẹn	%	92.7	80.2	95.9
Trọng lượng riêng	g/cm ³	0.95	0.92	0.99
MLSS	g/l	5.78	5.17	11.58
VSS/TSS	%	85.12	72.24	78.07
SVI ₃₀	mL/g	68.32	70.32	46.73
Tốc độ lắng đọng	m/h	42.85	32.55	40.32

Bảng 3.7 trình bày một số tính chất vật lý của AGS trước khi lưu trữ, ngay sau khi lưu trữ trong 36 tháng và sau 2 tháng hoạt hóa lại. Các tính chất vật lý về tính toàn vẹn cấu trúc, trọng lượng riêng, khả năng lắng đọng và sinh khối của các hạt được lưu trữ đã giảm nhẹ so với trước khi lưu trữ. Sau gần 2 tháng hoạt hóa lại, hệ số toàn vẹn và trọng lượng riêng phục hồi thậm chí còn tốt hơn.

3.3.2. Hiệu quả xử lý nước thải của hệ AGS-SBR với bùn hạt giống trữ lạnh

Nồng độ COD, amoni và phosphate đầu vào ban đầu lần lượt là khoảng $450 \pm 0,5$ mg COD/L, $65 \pm 0,2$ mg NH_4^+ -N/L và $15 \pm 0,1$ mg PO_4^{3-} -P /L. Giai đoạn I, hiệu quả loại bỏ COD, NH_4^+ -N, PO_4^{3-} -P rất thấp, lần lượt là 18,2%, 7,69% và 0%. Kết quả này là do vi sinh vật không hoạt động trong thời gian lưu trữ và chưa được phục hồi khi bắt đầu quá trình hoạt hóa lại. Hiệu quả loại bỏ COD đạt hơn 79,7% sau 5 ngày đầu tiên vận hành mẻ với thời gian lắng 40 phút. Trước khi chuyển sang giai đoạn III, hiệu suất loại bỏ carbon và chất dinh dưỡng đạt 89,7% đối với COD, 75% và 47,1% đối với NH_4^+ -N và PO_4^{3-} -P. Khi thời gian lắng được giảm định kỳ từ 40 xuống 3 phút, lượng COD và Nito loại bỏ được giữ nguyên ở mức khoảng 90%–96%. Có thể kết luận sơ bộ rằng môi trường sục khí và gieo hạt là cần thiết trong quá trình tái hoạt hóa, cung cấp chất nền và điều kiện sống tốt cho các vi sinh vật hiếu khí.

3.4. Đánh giá chung về các dạng sinh khối đã nghiên cứu

- Bùn hạt tăng cường cấu trúc và chức năng với phụ gia than trâu (AGS-RHB) làm vật liệu hỗ trợ rút ngắn thời gian tạo hạt và cải thiện các đặc tính cơ lý (mật độ, độ bền) nhờ cơ chế vật lý tạo nhân và khoáng hóa.

- Vi sinh dính bám trên hạt PVA Gel (PVA): tạo ra một hệ thống vi sinh dính bám (Immobilized Biomass – IB) với thời gian lưu bùn dài, tách biệt động lực học sinh học khỏi áp lực thủy lực, bảo vệ vi

sinh vật khỏi sốc tải và loại bỏ hoàn toàn yêu cầu về áp lực chọn lọc thủy lực để giữ bùn.

Bảng 3.8. So sánh đặc tính của hai loại bùn hạt mới phát triển

Đặc tính	AGS-RHB	PVA
Khả năng lắng	vượt trội	vượt trội
Độ bền cơ học	cao	Tối đa
Khả năng xử lý	rất tốt	tốt
Ổn định sốc tải	rất tốt nhờ cấu trúc khoáng hóa RHB	rất tốt nhờ cấu trúc polymer
Lợi thế kinh tế	thu hồi bùn dư	lượng bùn dư ít

3.5. Định hướng tái sử dụng nước sau xử lý

Qua nghiên cứu luận án này, hệ SBR sử dụng bùn hạt có hiệu quả xử lý chất hữu cơ, chất dinh dưỡng cao (70-90%), tiết kiệm >50% sục khí và giảm sản xuất bùn, giúp giảm lượng khí thải carbon của các quy trình xử lý nước thải theo khái niệm tiết kiệm năng lượng và giảm phát thải. Do đó, công nghệ này có tiềm năng để xử lý nước thải đạt chất lượng tái sử dụng cho một số mục đích không ăn uống ở Việt Nam.

Bảng 3.12. Định hướng áp dụng các giải pháp công nghệ phục vụ mục đích tái sử dụng khác nhau

Mục đích tái sử dụng	Yêu cầu về chất lượng nước	Đề xuất dây chuyền công nghệ	Nguồn TLTK
Tưới công viên, rửa đường, chữa cháy	$BOD \leq 50$, $TSS \leq 100$, Fecal ≤ 200	XL sơ bộ $\rightarrow$ AGS-SBR $\rightarrow$ Khử trùng (Clo/UV)	TCVN 6773:2000 & Metcalf & Eddy (2014)
Nông nghiệp (Rau ăn sống)	$BOD \leq 10$, Trứng giun sán ≤ 1	XL sơ bộ $\rightarrow$ AGS-SBR $\rightarrow$ Lọc màng (UF) $\rightarrow$ Khử trùng (Clo/UV)	WHO (2006) - Guidelines for wastewater use

Mục đích tái sử dụng	Yêu cầu về chất lượng nước	Đề xuất dây chuyền công nghệ	Nguồn TLTK
Tái sử dụng đô thị (Dội toilet)	$BOD \leq 10$, Độ đục ≤ 2 , Fecal ~ 0	XL sơ bộ $\rightarrow$ AGS-SBR $\rightarrow$ Lọc cát $\rightarrow$ Lọc UF $\rightarrow$ Khử trùng UV	<i>US EPA (2012) - Guidelines for Water Reuse</i>
Công nghiệp / Cấp nước gián tiếp	$BOD \leq 5$, Nitơ ≤ 1 , TSS $\leq 0,5$	XL sơ bộ $\rightarrow$ AGS-SBR $\rightarrow$ Lọc màng UF $\rightarrow$ Lọc màng RO $\rightarrow$ Khử trùng UV	<i>Singapore PUB (2022) - NEWater Standard</i>

Tóm lại, tái sử dụng nước thải sau xử lý không còn là lựa chọn mà là một định hướng chiến lược bắt buộc để đảm bảo an ninh nguồn nước tại Việt Nam trong bối cảnh BĐKH. Việc sử dụng công nghệ SBR kết hợp bùn hạt sẽ giúp quá trình xử lý bậc 2 nước thải sinh hoạt có hiệu quả cao và ổn định, nâng cao độ tin cậy và độ bền của các công trình xử lý bậc 3 phía sau.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận:

Luận án đã nghiên cứu về các giải pháp phát triển bùn hạt khác nhau có thể sử dụng trong bể SBR để xử lý nước thải đô thị. Giải pháp thứ nhất là nuôi tạo bùn hạt với phụ gia than trấu với tỉ lệ ban đầu là 2:1 (khối lượng bùn giống : khối lượng than trấu), trong đó các hạt bùn hiếu khí với sự phân bố rải rác các hạt than trong kết cấu và hình thái được hình thành ngay từ ngày thứ năm vận hành hệ SBR. Kích thước hạt bùn than trấu có thể lên đến 4-5 mm. Tốc độ lắng do đó tăng khoảng 5 lần so với bùn hoạt tính thông thường. Điều này cho phép giảm diện tích công trình bể lắng trong nhà máy xử lý. Giải pháp thứ hai là tạo hạt giá thể PVA gel theo công thức trong đó dung dịch gồm

50g PVA và 10g $\text{NaC}_6\text{H}_7\text{O}_6$ hòa vào 0.5L nước, sau đó nhỏ vào dung dịch (NaNO_3 và CaCl_2) để tạo hạt. Kết quả cho các hạt giá thể PVA gel có màu trắng, hình tròn đều, kết cấu gel, dẻo, chắc. Sau 5 tuần vận hành với 10% hạt PVA theo thể tích làm việc, các hạt PVA gel không nứt vỡ, lắng tốt, với lượng sinh khối bám dính lên hạt là 0.4gTSS/g hạt, độ lớn thủy lực của hạt là 56 mm/s.

Đối với bùn hạt bùn được nuôi tạo với phụ gia than trâu, hiệu quả loại bỏ chất hữu cơ và chất dinh dưỡng được duy trì ổn định ở mức 97,8%, 100% và 35% đối với COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ khi xử lý nước thải sinh hoạt đô thị điển hình với hàm lượng chất ô nhiễm đầu vào COD: 370 ± 20 mg/L, $\text{NH}_4^+\text{-N}$: $25 \pm 0,2$ mg/L, Nito dao động trong khoảng 35-40 mg/L. Hiệu quả xử lý nước thải của hệ SBR sử dụng hạt bùn PVA gel được đánh giá theo các chỉ tiêu TSS, COD, NH_4^+ là khá cao, lần lượt là 88%, 90%, 92%.

Luận án cũng đã cho thấy bùn hạt có thể lưu trữ trong thời gian dài. Thời gian tái hoạt hóa thường mất khoảng 2 tuần trong hệ SBR. Quá trình vận hành đòi hỏi giảm dần áp lực lựa chọn thủy lực (thời gian lắng từ 40 phút giảm xuống 3 phút) để từ từ phục hồi hoạt tính. Sau khi tái hoạt hóa, hiệu quả xử lý các cơ chất trong nước thải giả định có xu hướng tăng theo thời gian, với giá trị trung bình đạt 86% với COD, 83% với NH_4^+ và 86,7% với PO_4^{3-} .

Kiến nghị:

Các nghiên cứu trong tương lai sẽ bao gồm thử nghiệm với nước thải thực tế để chứng minh khả năng áp dụng AGS trong công nghệ SBR trong điều kiện Việt Nam.

Thử nghiệm AGS trong công nghệ SBR ở nhiều kịch bản vận hành khác nhau để tối ưu hóa khả năng xử lý đồng thời C, N, P trong hệ thống.

Thử nghiệm các phương pháp phân tích các đặc tính đặc trưng của bùn hạt và các phương pháp phân tích hiện đại để đồng bộ dữ liệu với các nghiên cứu quốc tế về bùn hạt như phân tích thành phần EPS trong bùn hạt, tính kỵ nước, phân tích sự hiện diện của vi sinh vật trong bùn hạt bằng kính hiển vi huỳnh quang với đầu dò lai ghép tại chỗ (FISH), realtime qPCR.

Thực hiện nghiên cứu sâu định lượng EPS (Extracellular Polymeric Substances) và Polymer Dự trữ Nội bào (PHA/Glycogen) trong pha kỵ khí và hiếu khí đối với các loại bùn hạt để chứng minh về động học hóa sinh trực tiếp liên quan đến các vi khuẩn *Deffluviococcus* (GAO) và PAOs trong việc sử dụng VFA, cũng như đánh giá sự ảnh hưởng của nhiệt độ đối với sự phát triển các vi khuẩn GAO/PAO trong các quá trình xử lý nước thải sinh hoạt.

Cần thực hiện các phân tích sinh học phân tử định kỳ trong quá trình vận hành hệ AGS-SBR thay vì chỉ phân tích nội dung này với mẫu bùn hạt lấy ở cuối thí nghiệm để theo dõi sự dịch chuyển của các gen chức năng trong quá trình hạt đang hình thành, từ đó đưa ra các can thiệp vận hành kịp thời.

Nghiên cứu tối ưu hóa chế độ vận hành để thúc đẩy hiệu quả xử lý photpho, như thực hiện pha "kỵ khí" (Anaerobic feeding) với nồng độ carbon hữu cơ cao và thời gian lưu đủ dài (ít nhất 60 phút) ở nhiệt độ thấp ($<20^{\circ}\text{C}$) để ưu tiên sự phát triển của các vi sinh vật tích lũy photpho PAOs.

Biến tính bề mặt than trấu RHB bằng cách tẩm phủ các hạt than trấu với các oxide sắt hoặc nhôm (Fe_2O_3 , Al_2O_3) để tạo ra các vị trí kết tủa photphat hóa học ngay tại lõi hạt bùn, bù đắp cho sự thiếu hụt của quá trình EBPR sinh học

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. **Nguyen Xuan Lan**, Nguyen Manh Khai, Dang Thi Thanh Huyen (2022), **Aerobic granular sludge (AGS) technology under tropical climate conditions – A review**, Vietnam Journal of Science and Technology 60 (5B), 170-183, <https://doi.org/10.15625/2525-2518/17414>
2. **Lan Xuan Nguyen**, Khai Manh Nguyen, Huyen Thi Thanh Dang (2023), **Evaluation of the Recovery of Stored Granules to Promote Practical Wastewater Treatment by Aerobic Granular Sludge Process**, Journal of Water and Environment Technology Vol.21, No.6: 297–308, <https://doi.org/10.2965/jwet.23-079>
3. **Nguyen Xuan Lan**, Dang Thi Thanh Huyen, Pham Thi Thuy, Nguyen Manh Khai (2024), **Improvement of biofilm activities in sequencing batch reactor via polyvinyl alcohol (PVA) granules addition**, Journal of Science and Technology in Civil Engineering, HUCE, 18 (4): 54–68, [https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18\(4\)-05](https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18(4)-05)
4. **Nguyen Xuan Lan**, Bui Thi Thanh Thuy (2021), **Research on Fabrication of the Lab-Scale Sequencing Batch Reactor System for Wastewater Treatment Experiment**, Journal of Science on Natural Resources and Environment, No. 39: 12/2021