

NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH XỬ LÝ AMONI TRONG NƯỚC THẢI CHẾ BIẾN THỦY SẢN THEO NGUYÊN LÝ FEAMMOX

STUDY ON AMMONIUM TREATMENT IN SEAFOOD WASTE BY FEAMMOX PROCESS

Trần Thị Tâm¹, Trương Trọng Danh¹,
Bùi Thị Ngọc², Lê Phương Chung^{1*}

Viện Công nghệ Sinh học và Môi trường, Trường Đại học Nha Trang
Học viên Cao học, Viện Công nghệ Sinh học và Môi trường, Trường Đại học Nha Trang
^{*}Tác giả liên hệ: Lê Phương Chung (Email: chunglp@ntu.edu.vn)

Ngày nhận bài: 17/05/2023; Ngày phản biện thông qua: 19/06/2023; Ngày duyệt đăng: 22/06/2023

TÓM TẮT

Việc loại bỏ amoni trong nước thải đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ môi trường, trong đó nước thải từ các nhà máy chế biến thủy sản là một trong những vấn đề được các nhà quản lý môi trường quan tâm hiện nay. Theo phương pháp truyền thống, amoni thường được xử lý bằng biện pháp sinh học sử dụng hệ vi sinh vật hiếu khí theo con đường nitrate hóa/khử nitrate hoặc hệ vi sinh vật kỵ khí theo con đường nitrate hóa bán phần/ANAMMOX. Nghiên cứu này thử nghiệm một nguyên lý mới sử dụng hệ bùn vi sinh vật kỵ khí là Feammox đối với nước thải chế biến thủy sản. Với mô hình feammox thử nghiệm có thể tích 40 L được thực hiện trong 14 ngày, nước thải chế biến đưa vào mô hình có hàm lượng COD khoảng 800 ÷ 1200 mg/L, amoni là 90 ÷ 110 mg/L. Kết quả theo dõi cho thấy pH duy trì trong khoảng 6,5 ÷ 7,7, điện thế oxy hóa khử dao động trong khoảng -25 ÷ 55 mV, hàm lượng amoni bị loại bỏ đạt trên 90%, đáp ứng các yêu cầu xả thải hiện hành. Kết quả nghiên cứu mở bước đầu cho thấy tiềm năng ứng dụng nguyên lý feammox trong xử lý nước thải chế biến thủy sản hiện nay.

Từ khóa: Xử lý amoni trong nước thải, nước thải chế biến thủy sản, feammox

ABSTRACT

The removal of ammonium in wastewater plays an important role in environmental protection, and wastewater from seafood processing plants is one of the issues of concern to environmental managers today. According to the traditional method, ammonium is usually treated by biological means using aerobic microorganisms according to the nitrification/denitrification pathway or anaerobic microorganisms following the partial nitrification/ANAMMOX pathway. This study uses wastewater from the processing of seafood to test a novel idea using an anaerobic microbial sludge system called Feammox. The processing wastewater added to the experimental 40 L Feammox model has an ammonium content of 90 ÷ 110 mg/L and a COD content of roughly 800 ÷ 1200 mg/L. According to the monitoring data, the pH is kept between 6.5 ÷ 7.7, the redox potential fluctuates between -25 and 55 mV, the ammonium content is removed above 90%, all of which are within the required ranges. The initial results of the open research show the potential application of the feammox principle in the treatment of seafood processing wastewater today.

Key words: Ammonium treatment in wastewater, seafood processing wastewater, feammox

ĐẶT VẤN ĐỀ

Phú dưỡng là một quá trình phức tạp không chỉ xảy ra đối với vùng nước ngọt mà còn cả nước ven biển nơi có sự phát triển quá mức của thực vật phù du làm ảnh hưởng đến các hệ sinh thái dưới nước, đe dọa đến các loài động vật và sức khỏe của con người (Zhidkova et al., 2020). Hàm lượng amoni cao trong nước chính là chất dinh dưỡng kích thích sự phát triển của tảo, gây thiếu hụt oxy hòa tan (DO) trong nước,

ảnh hưởng nghiêm trọng đến sự phát triển của các loài thủy sinh (Jetten et al., 1998). Vì vậy, nghiên cứu nâng cao hiệu quả xử lý amoni trong nước thải luôn là vấn đề cần được các nhà môi trường quan tâm.

Ngành chế biến thủy sản (CBTS) là một trong những ngành tiềm năng của phát triển kinh tế biển trong giai đoạn hiện nay. Tuy nhiên, đi đôi với sự gia tăng sản lượng các sản phẩm chế biến là việc phát sinh nước thải có nồng độ

ô nhiễm hữu cơ cao, đáng chú ý là COD dao động trong khoảng 1000 ÷ 1200 mg/L, BOD₅ vào khoảng 600 ÷ 950 mg/L, hàm lượng nitơ từ 70 ÷ 110 mg /L (Lâm Minh Triết, 2006). Mặc dù vậy, với đặc trưng các thành phần ô nhiễm trên, nước thải CBTS thuận lợi cho quá trình xử lý bằng phương pháp sinh học.

Quá trình oxy hóa amoni (NH₄⁺) là mắt xích quan trọng trong chu trình nitơ, quyết định đến việc hình thành các dạng nitơ (NO₂⁻, NO₃⁻, N₂O) trong môi trường (Yao et al., 2020; Huang et al., 2018). Nitrate hóa (nitrification) là quá trình chính để loại bỏ NH₄⁺ trong quá trình xử lý nước thải giàu hợp chất nitơ. Và



Tuy nhiên quy trình anammox đòi hỏi phải kiểm soát chặt chẽ quá trình nitrate hóa ban đầu để hình thành NO₂⁻. Mặt khác vi khuẩn anammox có tốc độ sinh trưởng chậm nên để duy trì nồng độ sinh khối cao trong hệ thống cần thời gian lưu bùn dài, do đó việc ứng dụng quy trình xử lý theo nguyên lý anammox vẫn còn hạn chế (Jetten et al., 1998).

Nguyên lý Feammox (Anaerobic ammonium oxidation coupled to Fe(III) reduction) được hiểu là quá trình oxy hóa NH₄⁺ kết hợp với chất



So với các phương pháp xử lý amoni (NH₄⁺) bằng con đường nitrate hóa/khử nitrate thì nguyên lý feammox được xem là phương pháp tiết kiệm năng lượng và hiệu quả về chi phí xử lý nước thải giàu nitơ (Zhu et al., 2021; Tan et al., 2022).

Cho đến nay ở Việt Nam việc ứng dụng nguyên lý feammox vào xử lý nước thải giàu hợp chất dinh dưỡng còn hạn chế. Một số yếu tố môi trường như nhiệt độ, pH, Fe(III) oxit, nguồn cacbon... có ảnh hưởng đáng kể đến quá trình xử lý feammox (Tan et al., 2022). Do đó nghiên cứu thử nghiệm quá trình xử lý amoni trong nước thải CBTS theo nguyên lý feammox sẽ bổ sung thêm một giải pháp loại bỏ được amoni trong nước thải đáp ứng yêu cầu xả thải, góp phần bảo vệ môi trường.

cho đến nay các công nghệ xử lý nước thải có hàm lượng dinh dưỡng cao chủ yếu dựa vào quá trình nitrate hóa/khử nitrate, tuy nhiên hiệu quả xử lý không cao, đồng thời cần tiêu thụ một lượng carbon hữu cơ từ bên ngoài (Khin & Annachhatre, 2004).

Năm 1995, một phản ứng chuyển hóa nitơ mới được biết đến, phản ứng oxy hóa kỵ khí amoni (Anaerobic Ammonium Oxidation, viết tắt là anammox), trong đó amoni được oxy hóa bởi nitrite trong điều kiện kỵ khí, không cần cung cấp chất hữu cơ để tạo thành nitơ phân tử (phản ứng 1) (Strous et al., 1998) the sequencing batch reactor (SBR).

nhận điện tử Fe³⁺ trong điều kiện kỵ khí. Đây là quá trình loại bỏ NH₄⁺ được phát hiện từ việc phân tích quá trình chuyển hóa các hợp chất nitơ của mẫu đất ngập nước ven sông trong một nghiên cứu ở New Jersey (Clément et al., 2005; Zhu et al., 2021; Tan et al., 2022). Quá trình Feammox có thể tạo ra các sản phẩm khác nhau như khí N₂ (phản ứng 2), NO₂⁻ (phản ứng 3), hoặc NO₃⁻ (phản ứng 4) tùy thuộc vào điều kiện môi trường, đặc biệt là pH (Tan et al., 2022; Zhu et al., 2021; Yang et al., 2020).

II. ĐỐI TƯỢNG, VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là nước thải chế biến thủy sản có hàm lượng các hợp chất hữu cơ cao của Công ty Cổ phần chế biến thủy sản Thành Tiến, thành phố Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa. Thử nghiệm xử lý loại bỏ amoni (NH₄⁺) trong nước thải này bằng hệ vi sinh vật kỵ khí feammox bằng mô hình kỵ khí quy mô thí nghiệm 40L (Hình 1).

2. Vật liệu nghiên cứu

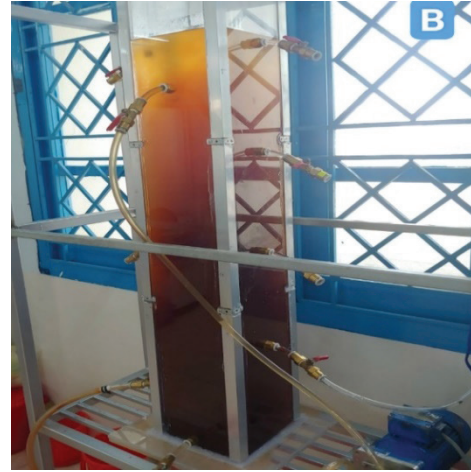
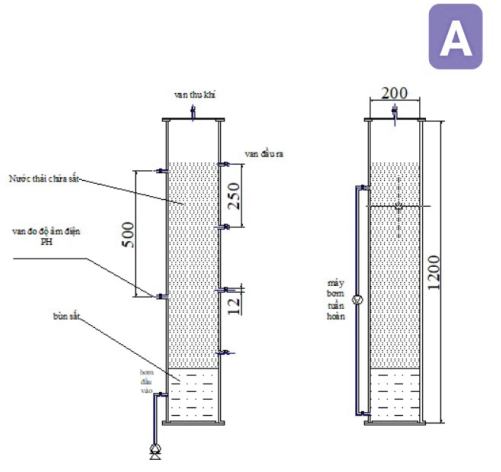
Mô hình nghiên cứu

Hệ thống xử lý có quy mô phòng thí nghiệm được thiết kế dạng hộp chữ nhật đứng, làm bằng các tấm nhựa mica, dày 6 mm, có kích thước như sau:

Chiều cao là 1,2m diện tích đáy là 40cm², tổng thể tích làm việc của mô hình là 40L, đảm bảo kín khí.

Độc thân mô hình được bố trí các van lấy mẫu theo chiều từ trên xuống. Đồng thời, mô

hình cũng được thiết kế hệ thống bơm tuần hoàn mẫu từ đáy lên trên (cách đáy 5 cm và cách mặt thoáng 5 cm). Mặt trên mô hình được bố trí van thu mẫu khí nhằm xác định sản phẩm chuyển hóa có thể có của quá trình (Hình 1).



Hình 1. Mô hình xử lý kỵ khí amoni theo nguyên lý feammox trước (A) và sau khi cho nước thải vào (B).

Hệ bùn kỵ khí sử dụng trong nghiên cứu

Bùn feammox trong nghiên cứu này được sử dụng từ mô hình feammox kỵ khí tại Phòng Sinh thái Vi sinh vật, Viện Vi sinh vật và Công nghệ sinh học, Đại học Quốc gia Hà Nội. Đây là hệ bùn đã được nhóm nghiên cứu của PGS. TS. Đinh Thúy Hằng phát triển thành công.

Quá trình làm giàu hệ bùn được thực hiện trong 30 ngày và tiến hành như sau: bổ sung 4 L nước cất vào 1 kg bùn khô, khuấy bằng khuấy từ trong khoảng 5 phút cho bùn tan hoàn toàn rồi bổ sung thêm 35 L nước thải nhân tạo

trước khi bơm vào mô hình. Để hoạt hóa quá trình feammox diễn ra, ion Fe³⁺ dưới dạng hợp chất Fe(OH)₃ được chuẩn bị theo như mô tả trong nghiên cứu của Le và cộng sự rồi được bổ sung vào mô hình với hàm lượng 1,68 g/L, tương đương 30 mM (Le et al., 2021). Thành phần nước thải nhân tạo được mô tả theo Bảng 1. Sau khi cung cấp nước thải vào mô hình, tiến hành sục khí argon với tốc độ 10 mL/giây trong 5 phút nhằm tạo điều kiện kỵ khí cho mô hình. Kết quả làm giàu vi sinh vật feammox trong mô hình được đánh giá thông qua biến đổi của

Bảng 1. Thành phần môi trường nước thải nhân tạo [Ratering, 1999]

STT	Thành phần	Hàm lượng (mg/L)
1	NaCl	1000
2	MgCl ₂ .6H ₂ O	400
3	CaCl ₂ .2H ₂ O	150
4	KCl	500
5	KH ₂ PO ₄	200
6	Na ₂ SO ₄	4000
7	MgSO ₄ .7H ₂ O	250
8	NH ₄ Cl	100
9	CH ₃ COOH	200
10	H ₂ O cất	1 L

hàm lượng NH_4^+ .

Đồng thời với mẫu bùn được hoạt hóa trong mô hình, một mẫu bùn tương tự được chuẩn bị nhưng không bổ sung nước thải nhân tạo để làm mẫu đối chứng.

3. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Vận hành xử lý nước thải trong mô hình Feammox

Nước thải được bơm vào thùng chứa với tỉ lệ: 28 L nước thải, 10 L bùn feammox đã hoạt hóa và 2 L bùn Fe^{3+} với hàm lượng 1,68 g/L, tương đương 30 mM.

Sau đó bơm hỗn hợp nước thải vào mô hình với lưu lượng 4 L/phút. Khi bơm nước đạt ¼ chiều cao của mô hình, thì bắt đầu mở van sục

khí argon để loại bỏ khí oxy trong nước. Bơm đủ 40 L nước thải, đóng van sục khí argon và bắt đầu bật bơm tuần hoàn với lưu lượng 2 L/phút.

Các nghiên cứu được thực hiện với tổng thời gian là 70 ngày ở nhiệt độ phòng $28 \div 30$ °C. Trong quá trình nghiên cứu, các mẫu nước từ mô hình được sử dụng để phân tích các chỉ tiêu pH, Redox, COD, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- và từ đó đánh giá hiệu quả xử lý.

2.2. Phương pháp lấy mẫu và phân tích mẫu

Các mẫu nước thải được phân tích tại các Phòng thí nghiệm của Viện Công nghệ Sinh học và Môi trường, Trường Đại học Nha Trang. Các chỉ tiêu phân tích và phương pháp phân tích được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Các chỉ tiêu phân tích và phương pháp phân tích

Chỉ tiêu	Phương pháp phân tích
pH	Đo trực tiếp theo TCVN 6492:2011 (ISO 10523:2008)
COD	Đun hồi lưu kín - trắc quang theo TCVN 6491:1999
NH_4^+	Phương pháp chuẩn DIN 38406-5, dùng thuốc thử Na-nitroprusside
NO_3^-	Đun và so màu theo TCVN 4562 - 1988
NO_2^-	Phương pháp trắc quang theo Standard methods, 1999 (SMEWW- 4500- B)
Fe^{2+}	Phương pháp chuẩn DIN 38406 E1-1 (1983) sử dụng thuốc thử O-phenanthroline

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

Các thí nghiệm đo đạc, phân tích trong nghiên cứu được thực hiện lặp lại 3 lần. Kết quả phân tích được lưu trữ, xử lý tính toán và biểu diễn đồ thị bằng phần mềm MS Excel 2010.

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

1. Kết quả phân tích các chỉ tiêu trong

nước thải CBTS trước xử lý

Kết quả phân tích một số chỉ tiêu trong nước thải đầu vào được thể hiện ở Bảng 3. Theo kết quả cho thấy giá trị pH của nước thải trước xử lý duy trì trong khoảng trung tính, rất phù hợp với đa số các quá trình xử lý nước thải bằng biện pháp sinh học, trong đó có xử lý theo nguyên lý feammox (Le et al., 2021).

Bảng 3: Một số thành phần trong nước thải CBTS trước xử lý

Chỉ tiêu	Đơn vị	Nồng độ
pH		6,5 – 7,7
COD	mg/L	800 - 1200
NH_4^+	mg/L	90 – 110
NO_3^-	mg/L	0
NO_2^-	mg/L	0
Fe	mg/L	0

Đối với chỉ tiêu COD, với hàm lượng COD trong nước thải ban đầu là $800 \div 1200$ mg/L có thể thấy đây là hàm lượng tương đối cao so với các nghiên cứu trước đối với nước thải CBTS (Lâm Minh Triết, 2006), điều này cho thấy

thành phần ô nhiễm hữu cơ trong nước thải khá lớn. Nguyên nhân thành phần COD của nước thải sử dụng trong nghiên cứu này cao có thể là do nước thải được lấy từ quá trình rửa cá của nhà máy sơ chế cá nguyên liệu, ở đây không

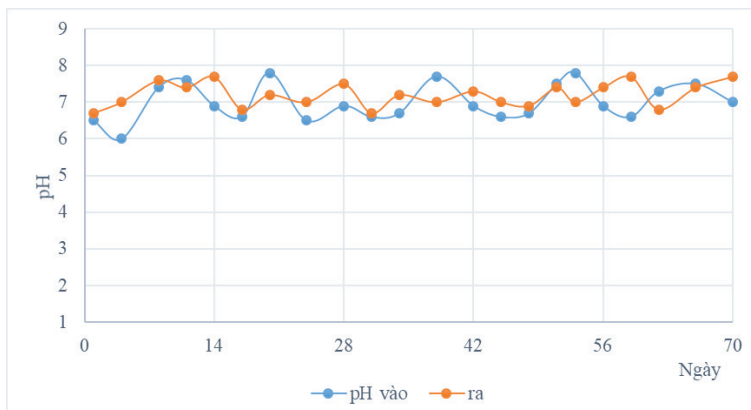
qua giai đoạn filler như các nhà máy khác. Hàm lượng amoni ban đầu trong mẫu nước thải nghiên cứu ở mức trung bình, phù hợp với đa số các biện pháp xử lý sinh học và tương đương với các công bố trước đây về nước thải CBTS (Lê Văn Cát, 2007).

2. Theo dõi pH nước thải trong quá trình xử lý

Điều kiện môi trường pH có ảnh hưởng lớn đến quá trình xử lý amoni theo nguyên lý feammox. Một số nghiên cứu trước đây đã chứng minh chủng vi khuẩn feammox hoạt động tốt ở điều kiện pH từ 4 đến 8,4 giúp loại amoni trong nước thải (Zhu et al., 2021; Sawayama, 2006; W. H. Yang et al., 2012). Tuy nhiên, điều kiện acid (pH < 5,5) chỉ thực hiện trong môi trường không có carbon hữu cơ, amoni được oxy hóa thành nitrite và việc

loại bỏ này trong thực tế sẽ bị hạn chế theo các phương pháp truyền thống (W. H. Yang et al., 2012; S. Huang & Jaffé, 2015) using 16S rRNA gene PCR-denaturing gradient gel electrophoresis, 454 pyrosequencing, and real-time quantitative PCR analysis. We be Acidimicrobiaceae bacterium A6. Trong thực tế nước thải đồng thời có hàm lượng carbon hữu cơ và amoni cao là phổ biến. Do đó, việc loại bỏ amoni theo nguyên lý feammox ở pH trung tính sẽ phù hợp với đặc tính hóa học của nhiều loại nước thải (Le et al., 2021).

Trong nghiên cứu này, việc theo dõi pH nhằm đánh giá khả năng hình thành các nhóm sản phẩm khác nhau trong quá trình feammox xử lý amoni. Nghiên cứu được thực hiện trong mô hình với thời gian theo dõi là 70 ngày, kết quả được trình bày trong Hình 2.



Hình 2. Sự thay đổi pH của nước thải trong mô hình.

Kết quả phân tích pH của nước thải đầu vào và đầu ra khá ổn định trong 70 ngày khảo sát, dao động trong khoảng từ 6,5 ÷ 7,7, đây là điều kiện pH thuận lợi giúp xử lý triệt để amoni theo nguyên lý feammox hình thành sản phẩm là khí nitơ hoàn trả lại khí quyển, khép lại vòng tuần hoàn nitơ.

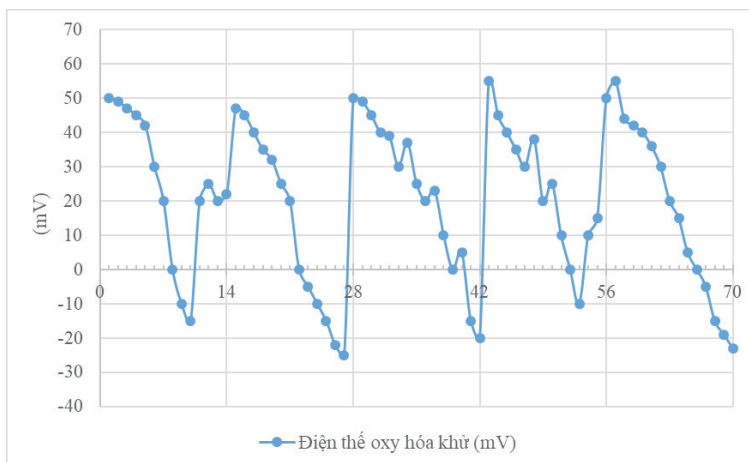
3. Thế oxy hóa khử trong quá trình xử lý

Điện thế oxy hóa khử (Oxidation Reduction Potential, ORP) là yếu tố có ảnh hưởng trực tiếp đến các quá trình chuyển hóa sinh học trong mô hình. Yếu tố này cũng thể hiện mức độ kỵ khí của môi trường, cho phép các quá trình khử kỵ khí diễn ra, trong đó có các phản ứng feammox với sự tham gia của ion Fe^{3+} và Fe^{2+} , ảnh hưởng đến quá trình xử lý amoni

(Tremblay et al., 1998).

Điện thế oxy hóa khử của dung dịch trong mô hình được xác định bằng máy đo ORP HI5221-02 ở Phòng thí nghiệm Viện Công nghệ sinh học và Môi trường, với thang đo ± 2000 mV. Chỉ số (mV) hiển thị trên Vol kế là độ chênh lệch điện thế trong dung dịch hay chính là điện thế oxy hóa khử của dịch môi trường.

Kết quả theo dõi trong 14 ngày của các chu kỳ thử nghiệm cho thấy thế oxy hóa khử của dung dịch xử lý dao động trong khoảng -25 ÷ 55 mV. Trong đó, những ngày đầu khi nước thải được bơm vào mô hình, do còn có một lượng oxy hòa tan nên giá trị điện thế tăng cao dao động từ 35 ÷ 55 mV. Sau 5 ngày tiếp theo, điện thế oxy hóa khử giảm xuống và thay đổi, dao



Hình 3. Điện thế oxy hóa khử trong suốt quá trình xử lý.

động trong khoảng 30 mV đến -25 mV. So sánh sự thay đổi ORP của môi trường với kết quả xử lý loại bỏ amoni (Hình 4) cho thấy sự liên quan khá rõ rệt. Trong các chu kỳ thử nghiệm, khi thế oxy hóa khử của dung dịch trong khoảng 20 mV đến -25 mV thì hiệu quả loại NH_4^+ là tốt nhất. Ngược lại, nếu sự biến động điện thế oxy hóa khử trong dung dịch vượt quá 20 mV thì sẽ làm giảm hiệu quả xử lý NH_4^+ . Điều này khá tương đồng với các nghiên cứu trên đối tượng nước thải tổng hợp trước đây, khi hiệu quả xử lý amoni được cho là tốt nhất trong khoảng từ -50 ÷ 50 mV (Le et al., 2021).

4. Theo dõi hàm lượng NO_2^- , NO_3^- trong quá trình xử lý amoni

Việc tạo các sản phẩm nitrate và nitrite trong quá trình xử lý amoni tùy thuộc nhiều yếu tố, trong đó có thể có cả sự có mặt của hệ vi sinh vật nitrate hóa, khử nitrate và thậm chí là ảnh hưởng của pH.

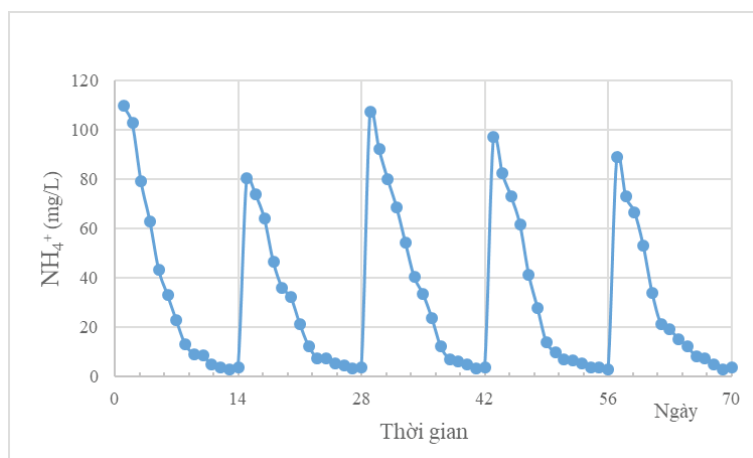
Trong 70 ngày theo dõi, kết quả phân tích các mẫu nước thải trong mô hình không phát hiện các hợp chất NO_2^- , NO_3^- . Điều này có thể do pH trong nước thải trong quá trình xử lý được duy trì ở mức 6,5 ÷ 7,7, làm cho hướng hình thành sản phẩm quá trình xử lý amoni ưu tiên hơn cho việc tạo thành khí nitơ. Các nghiên cứu trước đây cho thấy, trong các phản ứng feammox, phản ứng oxy hóa NH_4^+ thành N_2 diễn ra ở môi trường có pH trung tính và kiềm, trong khi đó hai phản ứng tạo ra NO_2^- , NO_3^- chỉ xảy ra ở điều kiện pH thấp (Zhu et al.,

2021; Yao et al., 2020; Tan et al., 2022). Hoặc có thể, một lượng nhỏ các hợp chất nitrate và nitrite được hình thành, nhưng lại tiếp tục biến đổi thành các sản phẩm khác bởi sự chuyển hóa của hệ vi sinh vật có trong bùn vi sinh (Le et al., 2021).

5. Hiệu quả loại bỏ NH_4^+ trong quá trình xử lý

Loại bỏ amoni là mục tiêu được quan tâm nhất trong nghiên cứu này, qua đó đánh giá hoạt tính của vi khuẩn feammox trong quá trình xử lý. Với nồng độ amoni trong nước thải đầu vào dao động từ 80 ÷ 120 mg/L, tiến hành khảo sát giá trị NH_4^+ qua 5 chu kỳ, với thời gian xử lý 14 ngày/chu kỳ. Kết quả thể hiện ở Hình 4 cho thấy chỉ sau 2 ngày xử lý thì đã có khoảng 30% NH_4^+ bị loại, sau 6 ngày thì đã có tỷ lệ amoni bị loại bỏ là 60%. Khi thời gian xử lý thực hiện từ ngày 10 đến ngày thứ 14 thì hiệu quả loại NH_4^+ đạt mức từ 85 ÷ 90%. Kết quả này duy trì ổn định trong suốt 5 chu kỳ vận hành mô hình (Hình 4).

Các nghiên cứu về việc loại bỏ amoni trong nước thải bằng biện pháp sinh học cho thấy, nếu sử dụng hệ vi sinh vật hiếu khí loại bỏ amoni theo con đường nitrate hóa/khử nitrate thì chỉ hiệu quả khi thực hiện xử lý amoni trong nước thải có hàm lượng cao, thường là > 50 mg/L. Khi hàm lượng amoni giảm, hiệu quả xử lý bằng hệ vi sinh vật hiếu khí cũng giảm theo và thậm chí là không triệt để loại bỏ hoàn toàn amoni (Lê Văn Cát, 2007). Với biện pháp sử



Hình 4. Kết quả loại bỏ NH₄⁺ trong quá trình xử lý.

dụng hệ vi sinh vật kỵ khí, việc loại bỏ hoàn toàn amoni là có thể thực hiện được, ví dụ mô hình xử lý theo mẻ luân phiên CANON-SBR (Son et al., 2019) the synthetic wastewater containing 139.9 mg/l as NH₄⁺-N was fed into the reactor, and (ii). Nghiên cứu này góp phần chứng minh tiềm năng ứng dụng khả năng loại bỏ hiệu quả amoni trong nước thải chế biến thủy sản theo nguyên lý sử dụng hệ vi sinh vật kỵ khí trong điều kiện có bổ sung ion sắt Fe²⁺.

IV. KẾT LUẬN

Các nghiên cứu trước đây liên quan đến feammox thường chủ yếu thực hiện trên nước thải tổng hợp nhân tạo, đây là nghiên cứu đầu tiên trên đối tượng nước thải chế biến thủy sản. Theo đó, với hàm lượng COD đầu vào khoảng 800 ÷ 1200 mg/L, amoni là 90 ÷ 110 mg/L, pH duy trì trong khoảng 6,5 ÷ 7,7 ở điện thế oxy hóa khử -25 ÷ 55 mV, quá trình xử lý amoni theo

nguyên lý feammox trong mô hình thí nghiệm đã loại bỏ khoảng ≥ 90% amoni ban đầu. Các mẫu nước thải sau xử lý đều ≤ 10 mg/L, đạt tiêu chuẩn nước thải sau xử lý được phép xả thải vào thủy vực được sử dụng làm nguồn nước cho mục đích sinh hoạt theo TCVN 7648:2007 và QCVN 11-MT:2015/BTNMT.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm nghiên cứu xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ, định hướng và góp ý của PGS.TS. Đinh Thúy Hằng (Viện Vi sinh vật và Công nghệ sinh học, Đại học Quốc gia Hà Nội) trong suốt quá trình thực hiện thí nghiệm. Xin cảm ơn Bộ Giáo dục và Đào tạo đã tài trợ kinh phí cho nghiên cứu thông qua đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ cấp Bộ mã số B2021-TSN-04. Nhóm nghiên cứu cũng xin cảm ơn tài trợ nghiên cứu từ Tổ chức Nước và Môi trường Kurita (KWEF).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Clément, J. C., Shrestha, J., Ehrenfeld, J. G., & Jaffé, P. R. (2005). Ammonium oxidation coupled to dissimilatory reduction of iron under anaerobic conditions in wetland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(12), 2323–2328. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.03.027>
- Huang, J., Kankanamge, N. R., Chow, C., Welsh, D. T., Li, T., & Teasdale, P. R. (2018). Removing ammonium from water and wastewater using cost-effective adsorbents: A review. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 63, 174–197. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.09.009>
- Huang, S., & Jaffé, P. R. (2015). Characterization of incubation experiments and development of an enrichment culture capable of ammonium oxidation under iron-reducing conditions. *Biogeosciences*, 12(3), 769–779. <https://doi.org/10.5194/bg-12-769-2015>
- Jetten, M. S. M., Strous, M., Van De Pas-Schoonen, K. T., Schalk, J., Van Dongen, U. G. J. M., Van De

- Graaf, A. A., Logemann, S., Muyzer, G., Van Loosdrecht, M. C. M., & Kuenen, J. G. (1998). The anaerobic oxidation of ammonium. *FEMS Microbiology Reviews*, 22(5), 421–437. [https://doi.org/10.1016/S0168-6445\(98\)00023-0](https://doi.org/10.1016/S0168-6445(98)00023-0)
5. Khin, T., & Annachhatre, A. P. (2004). Novel microbial nitrogen removal processes. *Biotechnology Advances*, 22(7), 519–532. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2004.04.003>
 6. Lâm Minh Triết. (2006). *Xử Lý Nước Thải Đô Thị Và Công Nghiệp Tính Toán Thiết Kế Công Trình*, NXB. Đại Học Quốc Gia.
 7. Le, C. P., Nguyen, H. T., Nguyen, T. D., Nguyen, Q. H. M., Pham, H. T., & Dinh, H. T. (2021). Ammonium and organic carbon co-removal under feammox-coupled-with-heterotrophy condition as an efficient approach for nitrogen treatment. *Scientific Reports*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80057-y>
 8. Lê Văn Cát. (2007). *Xử lý nước thải giàu hợp chất Nitơ và Photpho* (p. 605), NXB. Khoa học tự nhiên và công nghệ, Hà Nội.
 9. Sawayama, S. (2006). Possibility of anoxic ferric ammonium oxidation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101(1), 70–72. <https://doi.org/10.1263/jbb.101.70>
 10. Son, L. T., Dan, N. P., Nhat, P. T., Tam, L. T. M., Sang, T. T. N., & Thanh, L. Q. Do. (2019). Application of CANON-SBR process for ammonium removal from old municipal old landfill leachate. *Science & Technology Development Journal - Science of The Earth & Environment*, 3(1), 46–55. <https://doi.org/10.32508/stdjsee.v3i1.477>
 11. Strous, M., Heijnen, J. J., Kuenen, J. G., & Jetten, M. S. M. (1998). The sequencing batch reactor as a powerful tool for the study of slowly growing anaerobic ammonium-oxidizing microorganisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 50(5), 589–596. <https://doi.org/10.1007/s002530051340>
 12. Tan, X., Xie, G. J., Nie, W. B., Xing, D. F., Liu, B. F., Ding, J., & Ren, N. Q. (2022). Fe(III)-mediated anaerobic ammonium oxidation: A novel microbial nitrogen cycle pathway and potential applications. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(16), 2962–2994. <https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1903788>
 13. Tremblay, C. V., Beaubien, A., Charles, P., & Nicell, J. A. (1998). Control of biological iron removal from drinking water using oxidation-reduction potential. *Water Science and Technology*, 38(6 pt 5), 121–128. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(98\)00573-3](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(98)00573-3)
 14. Yang, W. H., Weber, K. A., & Silver, W. L. (2012). Nitrogen loss from soil through anaerobic ammonium oxidation coupled to iron reduction. *Nature Geoscience*, 5(8), 538–541. <https://doi.org/10.1038/ngeo1530>
 15. Yang, Y., Xiao, C., Lu, J., & Zhang, Y. (2020). Fe(III)/Fe(II) forwarding a new anammox-like process to remove high-concentration ammonium using nitrate as terminal electron acceptor. *Water Research*, 172(Iii), 115528. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115528>
 16. Yao, Z., Wang, C., Song, N., Wang, C., & Jiang, H. (2020). Oxidation of ammonium in aerobic wastewater by anoxic ferric iron-dependent ammonium oxidation (Feammox) in a biofilm reactor. *DESALINATION AND WATER TREATMENT*, 173(3), 197–206. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.24822>
 17. Zhidkova, A. Y., Podberesnij, V. V., Zarubina, R. V., & Kononova, O. A. (2020). The effect of eutrophication on human health on the example of the Gulf of Taganrog of the Sea of Azov. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 548(5). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/5/052053>
 18. Zhu, J., Li, T., Liao, C., Li, N., & Wang, X. (2021). A promising destiny for Feammox: From biogeochemical ammonium oxidation to wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 790, 148038. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148038>