

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ KHỬ NITRATE CỦA VI KHUẨN *BACILLUS LICHENIFORMIS* CỐ ĐỊNH TRÊN GIÁ THỂ

EVALUATION OF NITRATE REMOVAL EFFICIENCY BY IMMOBILIZED *BACILLUS LICHENIFORMIS* ON CARRIERS

Phạm Minh Tuấn¹,
Trần Đức Thảo^{1,*}, Lê Thùy Linh¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2025.291>

TÓM TẮT

Việc loại bỏ nitơ ra khỏi nước thải có độ mặn cao của nuôi trồng thủy sản với quá trình khử nitrate đang là vấn đề được quan tâm, đặc biệt là trong tình hình công tác quản lý nguồn nước chưa được hiệu quả như hiện nay. Nghiên cứu này tập trung đánh giá các yếu tố ảnh hưởng (thời gian lưu nước (HRT), độ mặn và tỷ lệ C/N) đến hiệu quả khử nitrate của vi khuẩn *Bacillus licheniformis* trong bể phản ứng sinh học giá thể lơ lửng biochip. Kết quả cho thấy: ở HRT = 4h hiệu suất khử nitrate đạt 94,2% sau 24h, khi tăng nồng độ muối thì hiệu quả khử nitrate giảm, ở nồng độ muối 20‰ hiệu suất khử nitrate đạt 75,5% sau 24h, tỷ lệ C/N = 6 hiệu quả khử nitrate đạt 90,6% sau 24h.

Từ khóa: Nuôi trồng thủy sản; khử nitrate; *Bacillus licheniformis*; độ mặn.

ABSTRACT

Nitrogen removal from high-salinity aquacultural wastewater applying denitrification process has attracted considerable attention, particularly under the current circumstances of ineffective water resource management. This study focuses on evaluating the factors influencing the nitrate removal efficiency of *Bacillus licheniformis* in a suspended carrier biochip bioreactor, including hydraulic retention time (HRT), salinity, and the carbon-to-nitrogen (C/N) ratio. The results showed that at an HRT of 4 hours, nitrate removal efficiency reached 94.2% after 24 hours. However, as salt concentration increased, the efficiency decreased; at a salinity of 20‰, nitrate removal efficiency was 75.5% after 24 hours. At a C/N ratio of 6, nitrate removal efficiency reached 90.6% after 24 hours.

Keywords: Aquaculture; denitrification; *Bacillus licheniformis*; salinity.

¹Khoa Sinh học và Môi trường, Trường Đại học Công Thương TP. Hồ Chí Minh

*Email: thaotd@huit.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/4/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 27/5/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/7/2025

1. GIỚI THIỆU

Nuôi trồng thủy sản là một lĩnh vực sản xuất quan trọng của Việt Nam với kim ngạch xuất khẩu hàng năm

hàng tỷ USD [1]. Trong quá trình nuôi trồng thủy sản, môi trường nước ao dần trở nên ô nhiễm với các thành phần chính là các chất hữu cơ, các hợp chất chứa nitơ và photpho. Các hợp chất chứa nitơ chủ yếu là các amino acid, ammonia, nitrite hoặc nitrate được hình thành từ quá trình phân hủy thức ăn dư thừa, phân mà vật nuôi thải ra, tế bào tảo, vi sinh vật, xác phiêu sinh động, thực vật [2]. Nước ao nuôi được cung cấp đầy đủ oxy và có thời gian lưu trong hệ thống nuôi tương đối thì nitrate sẽ là dạng tồn tại chủ yếu [3]. Tuy nhiên, nếu nước có hàm lượng nitrate cao được tái sử dụng (như trong hệ thống nuôi tuần hoàn nước) hoặc được thải ra nguồn tiếp nhận bên ngoài thì có khả năng gây phú dưỡng hóa nguồn nước. Vì vậy người ta cần thực hiện quá trình khử nitrate để chuyển lượng nitrate trong nước thành khí nitơ trước khi tái sử dụng hoặc đưa ra nguồn tiếp nhận.

Quá trình khử nitrate sinh học diễn ra trong tự nhiên thông thường trong điều kiện không có oxy (thiếu khí). Vi sinh vật khử nitrate sử dụng nguồn năng lượng là các hợp chất vô cơ hoặc hữu cơ, nitrate đóng vai trò là chất nhận điện tử cuối cùng. *Bacillus* là giống vi khuẩn có quá trình trao đổi chất khá đa dạng. Thông thường chúng sử dụng quá trình hô hấp hiếu khí sử dụng nguồn năng lượng là các hợp chất hữu cơ và oxy là chất nhận điện tử. Tuy nhiên trong những môi trường khác, chẳng hạn bể khử nitrate của hệ thống xử lý nước thải, chúng có thể thực hiện quá trình hô hấp kỵ khí với chất hữu cơ và nitrate lần lượt là nguồn năng lượng và nhận điện tử. Cách thức trao đổi chất như vậy có thể được ứng dụng để khử nitrate cho nước đầu ra của hệ thống nuôi trồng thủy sản, trong đó quá trình khử nitrate được hỗ trợ bằng cách cố định *Bacillus* trên giá thể để gia tăng số lượng vi sinh vật tham gia vào quá trình.

Trong nghiên cứu này chúng tôi khảo sát quá trình khử nitrate sử dụng bể phản ứng với vi sinh vật cố định

trên giá thể và xác định ảnh hưởng của các yếu tố thời gian lưu nước, độ muối, tỉ lệ C/N ảnh hưởng như thế nào đến hiệu quả xử lý của hệ thống.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Vật liệu

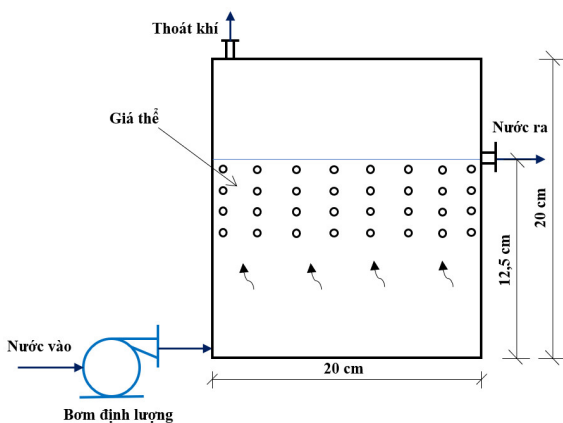
Chủng vi khuẩn khử nitrate được dùng để cố định lên giá thể thuộc loài *Bacillus licheniformis*, được cung cấp bởi Công ty Cổ phần CNSH Tiên Phong, lô 23 đường Tân Tạo, KCN Tân Tạo, Q. Bình Tân, TP. HCM.

Giá thể sử dụng trong hệ thống sinh học là *Biochip Hel-X* có sẵn trên thị trường với diện tích bề mặt khoảng $4.000\text{m}^2/\text{m}^3$.

Nước thải tổng hợp có thành phần: NaNO_3 0,29g/L; CH_3COONa 0,094g/L (COD 100mg/L); MgCl_2 1,5g/L; MgSO_4 1,5g/L; KCl 0,2g/L; CaCl_2 0,36g/L, hàm lượng NaCl thay đổi theo thí nghiệm.

2.2. Mô hình thực nghiệm

Hệ thống bể sinh học có hình vuông làm bằng nhựa PVC rộng 20cm và cao 20cm cho tổng thể tích bể phản ứng là 5L (hình 1). Bổ sung 0,8 kg giá thể ($1,2\text{g}/\text{cm}^3$, $4.000\text{m}^2/\text{m}^3$). Nguồn cacbon và nitơ cung cấp cho bể phản ứng là acid acetic và nitrate [4]. Nước thải được bơm vào bể theo chiều từ dưới lên với lưu lượng ổn định và điều chỉnh được bằng cách sử dụng máy bơm định lượng. Nước thải đi qua lớp giá thể, mẫu nước thải được lấy tại điểm lấy mẫu, mẫu lấy được đem đi phân tích nồng độ nitrate.



Hình 1. Mô hình hệ thống bể sinh học

Tăng sinh vi sinh vật trong 60mL môi trường Nutrient Broth, sau 24h cho dịch tăng sinh vào bể sinh học cùng giá thể, để ổn định trong 24 - 36h nhằm giúp vi khuẩn bám vào giá thể, tạo thành màng biofilm.

Chạy khởi động hệ thống với nồng độ đầu vào $56,61\text{mg N-NO}_3^-/\text{L}$, độ muối: 10‰, thông số COD 100mg/L, tốc độ dòng vào 20mL/phút, thời gian lưu 4h,

hoạt động ở nhiệt độ phòng và được đặt trong điều kiện yếm khí. Tiến hành cho nước muối vào bể (khoảng 5L) để bể ổn định 24h sau đó mới tiến hành thí nghiệm. Theo dõi nồng độ nitrate trong 24h, nồng độ nitrate đầu ra giảm so với nồng độ đầu vào được xác định giai đoạn chạy khởi động đã kết thúc.

2.3. Bố trí thí nghiệm

2.3.1. Thí nghiệm 1: Khảo sát chạy khởi động bể sinh học

Hệ thống bể sinh học được vận hành 24/24h với nồng độ đầu vào $56,61\text{mg N-NO}_3^-/\text{L}$, độ muối: 10‰, COD = 100mg/L, tốc độ dòng vào 20mL/phút, thời gian lưu là 4h hoạt động ở nhiệt độ phòng và duy trì điều kiện yếm khí trong bể.

Hiệu quả xử lý nitrate được xác định dựa trên tỷ lệ giảm nitrate của nước thải trong bể sinh học. Thí nghiệm được theo dõi trong 2 ngày. Mẫu được lấy mỗi giờ trong vòng 30h để xác định hàm lượng nitrate.

2.3.2. Thí nghiệm 2: Khảo sát ảnh hưởng của thời gian lưu nước (HRT), độ muối và tỷ lệ C/N

Hệ thống bể sinh học được vận hành 24/24h với nồng độ đầu vào $56,61\text{mg N-NO}_3^-/\text{L}$, độ muối: 10‰, COD = 100mg/L, tốc độ dòng vào 20mL/phút, hoạt động ở nhiệt độ phòng và duy trì điều kiện yếm khí trong bể.

Hiệu suất của xử lý nitrate được xác định dựa trên các yếu tố khảo sát: thời gian lưu nước: 2h, 3h và 4h [6, 8]; nồng độ muối: 0‰, 20‰, 30‰ tương ứng lượng NaCl lần lượt là 0g; 0,1g; 0,15g [11, 12]; tỷ lệ C/N: 3, 6, 10 [13, 14]. Mẫu được lấy mỗi giờ trong vòng 30 h để xác định hàm lượng nitrate.

2.4. Phương pháp phân tích

2.4.1. Phân tích mẫu và tính kết quả

Nồng độ Nitrate được xác định theo phương pháp Brucine (APHA 4500- $\text{NO}_3^- \text{C}$).

Hàm lượng muối NaCl (m_{NaCl}) được tính theo công thức (1):

$$m_{\text{NaCl}} (\text{g}) = \text{Độ muối (\%)} \times \text{Thể tích nước (L)} \quad (1)$$

Hiệu suất khử Nitrate (η) được tính theo công thức (2):

$$\eta (\%) = \frac{\text{Nồng độ vào} - \text{Nồng độ ra}}{\text{Nồng độ vào}} \times 100\% \quad (2)$$

2.4.2. Phương pháp xử lý số liệu

Thí nghiệm được bố trí theo kiểu hoàn toàn ngẫu nhiên 3 lần lặp lại và xử lý thống kê bằng Microsoft Excel.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả chạy khởi động bể sinh học

Kết quả chạy khởi động bể sinh học được thể hiện ở bảng 1. Kết quả cho thấy nồng độ nitrate giảm mạnh dần

theo thời gian khảo sát. Trong thời gian đầu, nồng độ nitrate giảm còn $15,95 \pm 0,14\text{mg/L}$ sau 1h (hiệu suất đạt 71,4%), sau đó duy trì sự ổn định không tăng nhiều, sau 2h nồng độ còn $14,87 \pm 0,52\text{mg/L}$ (hiệu suất đạt 73,3%). Điều này là do sự thích nghi của các vi sinh vật trong màng sinh học đối với đặc tính của chất ảnh hưởng cần được xử lý và các yếu tố môi trường nên khả năng khử nitrate thấp. Trong thời gian thích nghi, màng sinh học tăng dần khả năng loại bỏ nitơ do sự gia tăng vi khuẩn trong màng sinh học, chủ yếu là vi khuẩn khử nitrate [5].

Bảng 1. Nồng độ nitrate theo thời gian khi chạy khởi động bể sinh học

Thời gian (h)	Nồng độ nitrate (mg/L)	Hiệu suất xử lý (%)
0	$55,72 \pm 0,43$	-
1	$15,95 \pm 0,14$	71,4
2	$14,87 \pm 0,52$	73,3
3	$8,70 \pm 1,50$	84,4
4	$7,62 \pm 0,20$	86,3
5	$6,77 \pm 1,25$	87,9
24	$5,45 \pm 1,14$	90,2
25	$4,98 \pm 0,40$	91,1
26	$4,10 \pm 1,07$	92,6
27	$3,64 \pm 0,76$	93,5

Sau 3h hiệu suất xử lý nitrate tăng mạnh, nồng độ nitrate còn lại $8,70 \pm 1,50\text{mg/L}$ (hiệu suất 84,4%), sau 24h nitrate giảm xuống còn $5,45 \pm 1,14\text{mg/L}$ (hiệu suất đạt 90,2%) và sau đó duy trì ổn định do lúc này vi sinh đã thích nghi với môi trường nên tốc độ xử lý tăng nhanh và ổn định [5].

3.2. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của thời gian lưu nước đến khả năng khử nitrate

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của thời gian lưu nước đến khả năng khử nitrate được thể hiện ở bảng 2 và hình 2.

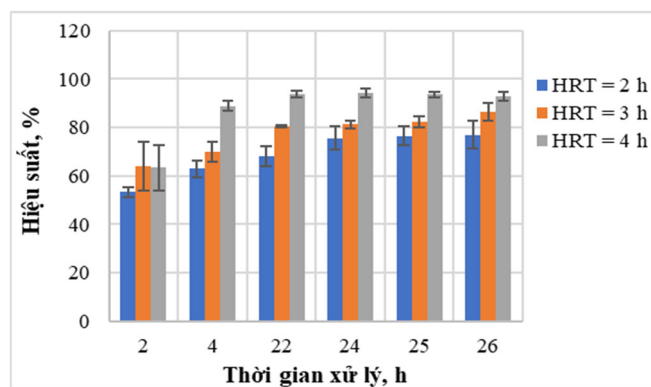
Bảng 2. Biến đổi nitrate theo thời gian lưu nước

Thời gian (h)	Nồng độ nitrate (mg/L)		
	HRT = 2h	HRT = 3h	HRT = 4h
0	$54,26 \pm 1,71$	$55,20 \pm 0,56$	$53,89 \pm 1,71$
2	$25,35 \pm 0,87$	$19,88 \pm 5,31$	$19,68 \pm 4,49$
4	$20,10 \pm 1,76$	$16,67 \pm 2,44$	$6,06 \pm 1,28$
22	$17,40 \pm 2,69$	$10,77 \pm 0,17$	$3,30 \pm 0,70$
24	$13,27 \pm 2,99$	$10,34 \pm 0,81$	$3,12 \pm 0,79$
25	$12,74 \pm 2,46$	$9,71 \pm 1,18$	$3,43 \pm 0,56$
26	$12,45 \pm 3,22$	$7,46 \pm 2,13$	$3,81 \pm 0,84$

Kết quả cho thấy nồng độ nitrate giảm theo thời gian. Ở 2h đầu nồng độ nitrate giảm mạnh ở các HRT. Tuy nhiên

sau 4h xử lý thì ở HRT = 4h nồng độ nitrate giảm mạnh, hiệu suất khử nitrate đạt 88,8 % trong khi ở HRT = 2h và 3h chỉ đạt hiệu suất lần lượt là 63% và 69,8%. Xu hướng khử nitrate ở HRT = 4h tăng dần và ổn định theo thời gian. Sau 24 h xử lý ở HRT = 4 h hiệu suất đạt 94,2%, trong khi ở HRT = 2h chỉ đạt 76% và HRT = 3h đạt 81,3% (hình 2).

Điều này chứng tỏ HRT ảnh hưởng đến hiệu quả khử nitrate. Khi tăng HRT thì hiệu quả khử Nitrate tăng là do khi thời gian lưu dài sẽ tăng thời gian tiếp xúc giữa vi sinh vật và nước thải qua đó giúp tăng hiệu quả khử nitrate trong bể. Kết quả này phù hợp với kết quả của Ahnen và cộng sự đã công bố khi tiến hành khảo sát ảnh hưởng của các tỷ lệ C/N khác nhau và thời gian lưu thủy lực đối với quá trình khử nitrat trong nước thải của hệ thống nuôi trồng thủy sản tuần hoàn, nhiễm mặn cho kết quả tỷ lệ loại bỏ nitrat tăng một cách nhất quán khi giảm HRT trong các HRT được thử nghiệm 3, 5, 7 và 10h [6].



Hình 2. Hiệu suất khử nitrate ở các HRT

Nghiên cứu cũng cho thấy ở HRT = 4h, hiệu quả khử nitrate cao nhất. Kết quả này có sự khác biệt với kết quả của Qinghong Wang và cộng sự đã công bố khi chỉ ra rằng hiệu quả loại bỏ nitơ tối đa ở HRT = 8 giờ khi sử dụng sợi chỉ làm vật liệu mang với nguồn cacbon là metanol và thể tích bể là 30L [7]. Kết quả cũng khác biệt với nghiên cứu của Zao Chen và cộng sự đã công bố khi nghiên cứu ảnh hưởng của HRT đến bể phản ứng khử nitrate pha rắn trong hệ thống nuôi trồng thủy sản tuần hoàn với HRT tối ưu để khử nitrate là 2h [8]. Điều này có thể do khác biệt về chủng vi sinh vật, giá thể sử dụng trong hệ thống so với các nghiên cứu trên.

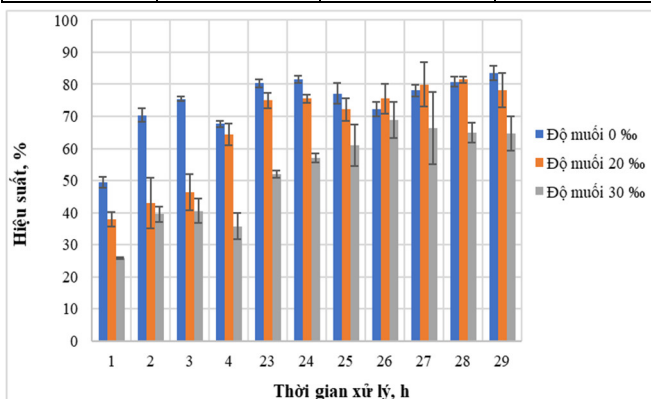
3.3. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của nồng độ muối đến khả năng khử nitrate

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của nồng độ muối đến khả năng khử nitrate được thể hiện ở bảng 3 và hình 3. Kết quả cho thấy ở nồng độ muối 0‰, 20‰ và 30‰ vi sinh vật khử nitrate với hiệu suất sau 24h lần lượt là 81,5%; 75,5%; 57,0%. Ở nồng độ muối 0% hiệu quả khử nitrate

cho kết quả tốt nhất (hình 3). Như vậy, nồng độ muối có ảnh hưởng đến khả năng của vi sinh vật khử nitrate của vi sinh vật. Hiệu quả oxy hóa của vi sinh vật giảm dần khi gia tăng nồng độ muối trong nước. Khi độ mặn tăng thì hiệu suất khử nitrate giảm, với độ mặn cao vi sinh vật cần thời gian lâu hơn để thích nghi với môi trường.

Bảng 3. Biến đổi nitrate theo nồng độ muối

Thời gian (h)	Nồng độ nitrate (mg/L)		
	Độ muối 0‰	Độ muối 20‰	Độ muối 30‰
0	55,16 ± 1,90	55,44 ± 2,26	55,53 ± 0,74
1	27,84 ± 0,59	34,37 ± 1,02	41,19 ± 0,70
2	16,30 ± 0,62	31,52 ± 3,14	33,55 ± 0,90
3	13,53 ± 0,79	29,77 ± 4,17	32,99 ± 1,69
4	17,83 ± 0,53	19,77 ± 2,48	35,67 ± 2,77
22	10,86 ± 0,34	13,92 ± 1,88	26,62 ± 0,28
24	10,19 ± 0,34	13,60 ± 1,25	23,84 ± 0,53
25	12,60 ± 1,71	15,48 ± 2,40	21,70 ± 3,79
26	15,26 ± 0,73	13,53 ± 2,33	17,36 ± 3,29
27	12,09 ± 1,29	11,03 ± 3,63	18,63 ± 6,07
28	10,57 ± 0,67	10,31 ± 0,90	19,43 ± 1,62
29	9,06 ± 1,54	12,24 ± 3,41	19,67 ± 2,83



Hình 3. Hiệu suất khử nitrate ở các nồng độ muối

Độ mặn đóng vai trò quan trọng trong quá trình trao đổi chất và hoạt động của vi sinh vật. Độ mặn thích hợp giúp vi sinh vật duy trì áp suất thẩm thấu và cung cấp các nguyên tố thiết yếu để phát triển. Tuy nhiên, độ mặn quá mức có thể dẫn đến mất cân bằng áp suất thẩm thấu của tế bào, ức chế enzym chủ chốt và rối loạn chuyển hóa từ đó làm giảm khả năng khử nitrate. Chính vì vậy, độ mặn là một yếu tố cần phải được kiểm soát liên tục để hệ thống biofilter xử lý nitrate và hoạt động tốt nhất [9].

Nghiên cứu của Fang và cộng sự cũng đã chứng minh hiệu quả khử nitrate của chủng khử nitrate hiếu khí dị dưỡng *Barnettozyma californica* K1 giảm từ 99% xuống 42% khi độ mặn tăng từ 25ppt lên 35ppt. Khi độ mặn tiếp

tục tăng lên 55ppt, chủng gần như mất khả năng khử nitrate [10].

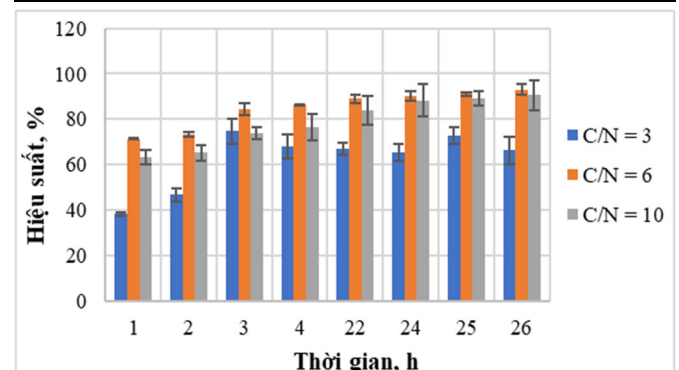
Nghiên cứu của Wang và cộng sự cũng chứng minh ở độ mặn thấp $\leq 20\text{g/L}$ nồng độ nitrate giảm tương đối 73,73% đối với NaCl, tuy nhiên đối với nước thải có độ mặn cao 20 - 100g/L hoạt động của vi sinh vật khử nitrate hoàn toàn bị ức chế ngay từ đầu, tỷ lệ tế bào sống tương đối có tương quan nghịch với nồng độ muối, cho thấy rằng độ mặn cao ức chế hoạt động khử nitrat và giết chết các tế bào khử nitrate [11].

Dựa vào các nghiên cứu trước đó và kết quả của thí nghiệm này cho thấy khi độ mặn càng tăng thì khả năng xử lý nitrate càng giảm. Và trong nghiên cứu này vi sinh vật có thể chịu được độ mặn cao 30‰ mà không bị ức chế, mọi loài vi sinh vật đều có độ mặn tăng trưởng tối ưu và vi sinh vật sẽ mất hoạt động vượt quá giới hạn chịu đựng [12], đây có thể là một trong những nguyên nhân tạo nên sự khác biệt giữa nghiên cứu này với những nghiên cứu trước đó.

3.4. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ C/N đến khả năng khử nitrate

Bảng 4. Biến đổi nitrate ở các tỷ lệ C/N

Thời gian (h)	Nồng độ nitrate (mg/L)		
	C/N = 3	C/N = 6	C/N = 10
0	53,11 ± 0,43	55,72 ± 0,43	53,76 ± 0,65
1	32,86 ± 0,35	15,95 ± 0,14	19,69 ± 1,55
2	28,35 ± 1,66	14,87 ± 0,52	18,72 ± 1,94
3	13,43 ± 2,92	8,70 ± 1,50	14,12 ± 1,51
4	16,93 ± 2,95	7,62 ± 0,20	12,58 ± 3,23
22	17,70 ± 1,50	6,21 ± 0,85	8,80 ± 3,45
24	18,39 ± 1,73	5,45 ± 1,14	6,34 ± 3,90
25	14,46 ± 1,76	4,98 ± 0,40	5,74 ± 1,67
26	17,94 ± 3,19	3,86 ± 1,36	5,07 ± 3,54



Hình 4. Hiệu suất khử nitrate ở tỷ lệ C/N

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ C/N đến khả năng khử nitrate được thể hiện ở bảng 4 và hình 4. Ở các

tỉ lệ C/N = 3, 6 và 10 đều có khả năng khử nitrate, tuy nhiên tỉ lệ C/N = 6 và 10 cho kết quả khử nitrate tốt hơn so với C/N = 3. Trong 4 h đầu ở C/N = 6 hiệu suất xử lý đạt 86,3%, C/N = 3 và 10 lần lượt đạt 68,1% và 76,6%. Chúng tỏ cần nhiều thời gian hơn để vi sinh vật có thể khử nitrate đạt hiệu suất xử lý cao ở C/N = 3 và 10. Khả năng khử nitrate của vi sinh vật tốt nhất là ở tỉ lệ C/N = 6 với hiệu suất khử 90,6% sau 24h (hình 4).

Trong quá trình khử nitrate dị dưỡng, bản chất của nguồn carbon và tính sẵn có của nó về tỷ lệ C/N đã được chứng minh là có ảnh hưởng đến cả con đường khử nitrate và mô hình sử dụng carbon, dẫn đến hiệu quả loại bỏ nitrate khác nhau. Tỷ lệ C/N thấp sẽ hạn chế việc cung cấp điện tử cho các phản ứng khử, do đó dẫn đến sự tích tụ các chất trung gian khử nitrate (NO_2 , NO và N_2O) [13].

Mặt khác, việc sử dụng dư thừa nguồn điện tử dẫn đến lãng phí nguồn điện tử đắt tiền và làm tăng COD nước. Mathis von Ahnen và cộng sự đã tiến hành khảo sát hiệu suất của bể phản ứng ở bốn tỷ lệ C/N dòng vào khác nhau (3, 5, 7 và 10) ở HRT cố định là 3,64h, hiệu quả loại bỏ nitrat đạt 100% khi tỷ lệ C/N tăng lên [14].

Bên cạnh đó, Mohan và cộng sự cũng đã tiến hành khảo sát khả năng khử nitrate với tỷ lệ C/N là 1,5, 2 và 3 trong các bể phản ứng theo mẻ tuần tự bùn dạng hạt, kết quả quá trình khử nitrate hoàn toàn và ổn định được quan sát thấy cả 3 tỉ lệ nghiên cứu [13]. Từ kết quả của các nghiên cứu trước và thí nghiệm đã thực hiện cho thấy khả năng xử lý nitrate ảnh hưởng bởi tỉ lệ C/N.

4. KẾT LUẬN

Chủng vi khuẩn *Bacillus licheniformis* được cung cấp bởi Công ty Cổ phần CNSH Tiên Phong (lô 23 đường Tân Tạo, KCN Tân Tạo, Q. Bình Tân, TP. HCM) có khả năng khử nitrate ở nồng độ muối cao. Quá trình thí nghiệm đã chứng tỏ HRT, độ muối và C/N ảnh hưởng đến hiệu suất khử nitrate của chủng vi khuẩn *Bacillus licheniformis*. Sau 24h, ở HRT = 4h, hiệu suất khử nitrate đạt 94,2%, nồng độ muối 20‰ hiệu suất khử nitrate đạt 75,5% và tỷ lệ C/N = 6 hiệu quả khử nitrate đạt 90,6%. Cần có thêm những nghiên cứu để đánh giá về khả năng chịu mặn cao của chủng vi khuẩn khử nitrate.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Vu Anh, *Xuất khẩu thủy sản 11 tháng ghi nhận tăng trưởng dương*. Accessed: Apr. 25, 2025. [Online]. Available: <https://thuysanvietnam.com.vn/xuat-khau-thuy-san-11-thang-ghi-nhan-tang-truong-duong/>

[2]. R. Xiao, et al., "A review on the research status and development trend of equipment in water treatment processes of recirculating aquaculture systems," *Rev Aquac*, 11, 3, 863–895, 2019. doi: 10.1111/raq.12270.

[3]. M. Wang, et al., "Nitrogen removal performance, and microbial community structure of water and its association with nitrogen metabolism of an ecological engineering pond aquaculture system," *Aquac Rep*, 25, 101258, 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101258>.

[4]. H. Constantin, M. Fick, "Influence of C-sources on the denitrification rate of a high-nitrate concentrated industrial wastewater," *Water Res*, 31, 3, 583–589, 1997. doi: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00268-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00268-0).

[5]. A. de la Rúa, J. González-López, M. A. G. Nieto, "Influence of Temperature on Inoculation and Startup of a Groundwater-Denitrifying Submerged Filter," *Environ Eng Sci*, 25, 2, 265–274, 2008. doi: 10.1089/ees.2007.0007.

[6]. M. Ahnen, J. Dalsgaard, P. Pedersen, "Effect of different C/N ratios and hydraulic retention times on denitrification in saline, recirculating aquaculture system effluents," *Aquac Eng*, 94, 102170, 2021. doi: 10.1016/j.aquaeng.2021.102170.

[7]. Q. Wang, C. Feng, Y. Zhao, C. Hao, "Denitrification of nitrate contaminated groundwater with a fiber-based biofilm reactor," *Bioresour Technol*, 100, 2223–2227, 2008. doi: 10.1016/j.biortech.2008.07.057.

[8]. Z. Chen, et al., "Effect of hydraulic retention time on solid-phase denitrification reactor in recirculating aquaculture system," *Aquaculture*, 543, 736928, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736928>.

[9]. C. Li, A. Ding, J. Guo, F. Song, P. Lu, "Response of denitrifying anaerobic methane oxidation enrichment to salinity stress: Process and microbiology," *Environ Res*, 214, 114069, 2022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114069>.

[10]. J. Fang, et al., "Characteristics of a novel heterotrophic nitrification-aerobic denitrification yeast, *Barnettozyma californica* K1," *Bioresour Technol*, 339, 125665, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125665>.

[11]. R. Wang, et al., "Effects of inorganic salts on denitrifying granular sludge: The acute toxicity and working mechanisms," *Bioresour Technol*, 204, 65–70, 2016. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.12.062>.

[12]. Q. H. Shen, et al., "Saline wastewater treatment by *Chlorella vulgaris* with simultaneous algal lipid accumulation triggered by nitrate deficiency," *Bioresour Technol*, 193, 68–75, 2015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.050>.

[13]. T. V. Mohan, V. N. Yarlagaadda, V. Venugopalan, P. Sai, "Effect of C/N ratio on denitrification of high-strength nitrate wastewater in anoxic granular sludge sequencing batch reactors," *Ecol Eng*, 91, 441–448, 2016. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.02.033.

[14]. M. von Ahnen, J. Dalsgaard, P. B. Pedersen, "Effect of different C/N ratios and hydraulic retention times on denitrification in saline, recirculating aquaculture system effluents," *Aquac Eng*, 94, 102170, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102170>.

AUTHORS INFORMATION

Pham Minh Tuan, Tran Duc Thao, Le Thuý Linh

Faculty of Biology and Environment, Ho Chi Minh City University of Industry and Trade, Vietnam