Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ
Số chuyên đề: Công nghệ chiến lược - Động lực phát triển Đồng bằng sông Cửu Long (SDMD)
ISSN 1859-2333 | e-ISSN 2815-5599

DOI:10.22144/ctujos.2026.263

KIỂM SOÁT TẢO LAM *Planktothrix pseudagardhii* TRONG NUÔI TÔM THẺ CHÂN TRẮNG (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) BẰNG CHẾ PHẨM VI SINH VẬT Ở ĐIỀU KIỆN THÍ NGHIỆM

Âu Văn Hóa[1], Vũ Hùng Hải[1], Nguyễn Thị Thúy Hằng[2], Nguyễn Thị Kim Liên[1] và Huỳnh Trường Giang[1,*]

[1]*Trường Thủy sản, Đại học Cần Thơ, Việt Nam*
[2]*Trường Đại học An Giang, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam*
**Tác giả liên hệ (Corresponding author): htgiang@ctu.edu.vn*

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 19/08/2026
Sửa bài (Revised): 05/10/2026
Duyệt đăng (Accepted): 09/11/2026

Title: *Controlling the growth of Planktothrix pseudagardhii in whiteleg shrimp (Litopenaeus vannamei Boone, 1931) culture using probiotics under experimental conditions*

Author(s): *Au Van Hoa[1], Vu Hung Hai[1], Nguyen Thi Thuy Hang[2], Nguyen Thi Kim Lien[1] and Huynh Truong Giang[1,*]*

Affiliation(s): *[1]College of Aquaculture and Fisheries, Can Tho University, Viet Nam; [2]An Giang University, Vietnam National University,*

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá hiệu quả của chế phẩm vi sinh đến khả năng kiểm soát tảo lam Planktothrix pseudagardhii trong bể nuôi tôm thẻ chân trắng Litopenaeus vannamei. Tôm có khối lượng 1,61±0,25 g được bố trí với số lượng 50 tôm/bể và nuôi trong 70 ngày. Thí nghiệm gồm 6 nghiệm thức, bao gồm: Bacillus subtilis CM3.1 bổ sung ở mật độ 10^1, 10^2, 10^3, 10^4 CFU/mL; chế phẩm vi sinh thương mại ở liều khuyến cáo và đối chứng (không bổ sung vi sinh). Tảo P. pseudagardhii được bổ sung vào ngày nuôi thứ 63 với mật độ 26.000.000 ct/L. Kết quả cho thấy việc bổ sung B. subtilis CM3.1 ở mật độ 10^3 và 10^4 CFU/mL giúp kiểm soát tảo P. pseudagardhii và cải thiện tỉ lệ sống của tôm nuôi. Tổng cộng 20 loài tảo thuộc 6 ngành (Cyanobacteria, Chlorophyta, Euglenophyta, Bacillariophyta, Dinophyta và Chrysophyta) được ghi nhận. Số loài dao động 2 đến 12 loài và mật độ từ 2.385.908 đến 141.967.967 ct/L. Kết quả cho thấy chế phẩm B. subtilis CM3.1 có tiềm năng kiểm soát tảo P. pseudagardhii trong nuôi tôm thẻ chân trắng.

Từ khóa: *Bacillus subtilis CM3.1, chế phẩm vi sinh, Planktothrix pseudagardhii, quần thể tảo, tôm thẻ chân trắng*

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the efficacy of microbial products in controlling the cyanobacterium Planktothrix pseudagardhii in whiteleg shrimp (Litopenaeus vannamei) culture tanks. Shrimp with an initial body weight of 1.61 ± 0.25 g were stocked at 50 shrimp per tank, and the experiment lasted 70 days. The experiment consisted of six treatments, including Bacillus subtilis CM3.1 applied at the doses of 10^1, 10^2, 10^3, and 10^4 CFU/mL; a commercial probiotic product applied at the manufacturer-recommended dose; and a control group (without probiotic supplementation). P. pseudagardhii was inoculated on day 63 at an initial density of 26,000,000 individuals/L. The results showed that B. subtilis CM3.1 at 10^3 and 10^4 CFU/mL effectively controlled the growth of P. pseudagardhii and significantly improved shrimp survival. A total of 20 algal species belonging to six phyla (Cyanobacteria, Chlorophyta, Euglenophyta, Bacillariophyta, Dinophyta, and Chrysophyta) were identified. Species richness ranged from 2 to 12 species, and the densities ranged from 2,385,908 to 141,967,967 individuals/L. These findings suggest that probiotic B. subtilis CM3.1 has potential for controlling P. pseudagardhii in whiteleg shrimp culture.

Keywords: *Bacillus subtilis CM3.1, Planktothrix pseudagardhii, probiotic, phytoplankton community, Litopenaeus vannamei*

1. GIỚI THIỆU

Việc nuôi trồng thủy sản giữ vai trò ngày càng quan trọng trong cung cấp thực phẩm thủy sản và phát triển kinh tế, trong đó tôm thẻ chân trắng (TCT) (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) là một trong những đối tượng nuôi chủ lực của ngành tôm Việt Nam và thế giới. Diện tích thả nuôi tôm TCT ở Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) năm 2024 đạt khoảng 94.800 ha, với sản lượng 804.700 tấn (chiếm 84,6% tổng sản lượng cả nước) (Cục Thủy sản và Kiểm ngư, 2025). Nhu cầu tiêu thụ tôm ngày càng gia tăng, thúc đẩy quá trình thâm canh hóa. Điều này làm gia tăng sự tích lũy chất hữu cơ và dinh dưỡng trong hệ thống nuôi, dẫn đến suy giảm chất lượng nước, mất cân bằng hệ vi sinh vật và gia tăng nguy cơ bùng phát dịch bệnh. Trong nuôi tôm thâm canh, sự phát triển quá mức của tảo, đặc biệt là vi khuẩn lam (tảo lam) thuộc ngành Cyanobacteria, là một trong những vấn đề đáng quan tâm. Khi phát triển quá mức, chúng gây biến động pH, oxy hòa tan, làm suy giảm chất lượng nước khi sinh khối tảo phân hủy và ảnh hưởng đến tôm. Đặc biệt, một số loài còn sản sinh độc tố hoặc các hợp chất gây mùi, làm giảm chất lượng sản phẩm thủy sản (Smith et al., 2008; Sun et al., 2018). Sự tích tụ các chất dinh dưỡng cùng với điều kiện nhiệt độ và ánh sáng thuận lợi thúc đẩy tảo lam gia tăng sinh khối và hình thành hiện tượng tảo nở hoa (Curren et al., 2019; Cira & Wetz, 2019). Một số giống tảo lam thường gây ra hiện tượng nở hoa trong ao nuôi thủy sản như là *Dolicho*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, *Gloeotrichia*, *Microcystis*, *Lyngbya*, *Nodularia*, *Synechococcus*, *Pseudanabaena*, *Trichodesmium*, *Woronichinia*, *Planktothrix*, *Phormidium* và *Scytonema* (Paerl, 2014).

Trong các thủy vực giàu dinh dưỡng, giống tảo *Planktothrix* thích nghi cao với sự thay đổi của môi trường và thường gây ra hiện tượng nở hoa. Tảo *Planktothrix* còn có khả năng sản sinh microcystin, gây độc cho động vật thủy sinh như giáp xác và cá, gây tổn thương gan và ảnh hưởng đến sự phát triển của phôi, ấu trùng (Keil et al., 2002; Djediat et al., 2011). Nghiên cứu kiểm soát sự phát triển của tảo lam *Planktothrix* trong nuôi tôm TCT cũng còn rất hạn chế, đặc biệt là việc ứng dụng các giải pháp sinh học. Hiện tại, chế phẩm vi sinh (CPVS) chứa các chủng lợi khuẩn thuộc giống *Bacillus* được sử dụng rộng rãi nhờ vào khả năng cải thiện chất lượng nước, cạnh tranh nguồn dinh dưỡng và ức chế vi khuẩn gây hại. Kết quả nghiên cứu của Hu et al. (2023) cho thấy CPVS chứa *Bacillus* có khả năng cải thiện chất lượng nước, nhưng không làm tăng tỷ lệ sống của tôm TCT. Trong một vài nghiên cứu gần đây, vi sinh vật đã được sử dụng khá phổ biến để kiểm soát tảo nở hoa trong hệ thống nuôi thủy sản. Nghiên cứu của Wu et al. (2025) đánh giá ứng dụng vi khuẩn *Bacillus amyloliquefaciens* kết hợp với vật liệu như sét biến tính để kiểm soát tảo gây hại trong ao nuôi tôm TCT theo hướng thân thiện với môi trường. Tuy nhiên, hiệu quả phụ thuộc vào loài tảo và điều kiện nuôi, đặc biệt khả năng kiểm soát tảo *Planktothrix pseudagardhii* trong bể nuôi tôm TCT bằng CPVS chưa có nhiều thông tin.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của CPVS đến biến động quần thể tảo và khả năng kiểm soát tảo lam *P. pseudagardhii* trong hệ thống nuôi tôm TCT ở điều kiện thí nghiệm. Kết quả của nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học ứng dụng vi sinh vật kiểm soát tảo *P. pseudagardhii* theo hướng an toàn sinh học và bền vững trong nuôi tôm.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Chuẩn bị tảo lam *P. pseudagardhii*

Tảo lam *P. pseudagardhii* được dùng trong nghiên cứu thuộc bộ sưu tập của Phòng thí nghiệm Thức ăn tự nhiên (Trường Thủy sản, Đại học Cần Thơ), được phân lập từ ao nuôi tôm TCT thâm canh tại phường Vĩnh Phước thuộc thành phố Cần Thơ, xã Gành Hào và Trần Văn Thời thuộc tỉnh Cà Mau. Tảo được phân lập và nuôi sinh khối dựa theo phương pháp mô tả bởi Hiền và ctv. (2025).

2.2. Chuẩn bị các chế phẩm vi sinh

Chủng *Bacillus subtilis* CM3.1 thuộc bộ sưu tập của Phòng thí nghiệm Chế phẩm sinh học thủy sản (Trường Thủy sản, Đại học Cần Thơ) mang các hoạt tính kháng khuẩn và phân hủy vật chất hữu cơ cao, được phục hồi và chuẩn bị theo phương pháp mô tả bởi Truong et al. (2021). Chế phẩm vi sinh thương mại (VSTM) chứa các chủng lợi khuẩn *Bacillus* spp. (*B. pumilus*, *B. coagulans*, 3×10^{10} CFU/kg), *Lactobacillus acidophilus* (3×10^{10} CFU/kg), enzyme xylanase (50.000 UI/kg), protease (120.000 UI/kg), cellulase (100.000 UI/kg), amylase (100.000 UI/kg) với chất mang đường dextrose. Liều lượng khuyến cáo từ nhà sản xuất trên bao bì là 125 g/1.000 m^3.

2.3. Bố trí thí nghiệm

2.3.1. Chuẩn bị hệ thống thí nghiệm

Hệ thống thí nghiệm bao gồm các bể composite có thể tích 0,5 m^3, mỗi bể chứa 400 L nước, độ mặn 10‰ và được sục khí liên tục trong suốt quá trình thí nghiệm. Thí nghiệm được triển khai tại Trại thực

nghiệm với hệ thống mái tôn thiết kế xen kẽ các khoảng lấy sáng.

2.3.2. Nguồn nước thí nghiệm

Nguồn nước sử dụng để bố trí thí nghiệm được pha từ nước ót có độ mặn 80 đến 100‰ với nước máy để đạt độ mặn 10‰ theo thiết kế thí nghiệm. Nước được khử trùng bằng chlorine ở nồng độ 30 mg/L trước khi sử dụng cho thí nghiệm, nước được sục khí mạnh trong 5 ngày và được kiểm tra dư lượng chlorine bằng dung dịch KI trước khi bố trí thí nghiệm.

2.3.3. Nguồn tôm thí nghiệm

Tôm TCT ở giai đoạn hậu ấu trùng (PL_{12}) mua từ trại giống ở địa phương được ương trong bể 4 m^3 ở độ mặn 10‰. Trong quá trình ương, tôm được cho ăn bằng thức ăn công nghiệp (Grobest), hàm lượng protein từ 38 đến 42% với khẩu phần ăn khoảng 3 - 10% khối lượng thân/ngày, được điều chỉnh theo lượng thức ăn tiêu thụ và sinh trưởng của tôm. Tần suất cho ăn: 4 lần/ngày vào lúc 6:00, 11:00, 17:00 và 21:00 giờ. Nước được thay định kỳ 3 ngày/lần với tỷ lệ 30% thể tích bể và duy trì độ mặn 10‰. Khi tôm đạt khối lượng 1,61±0,25 g và chiều dài 4,6±0,3 cm được sử dụng để bố trí thí nghiệm.

2.3.4. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên gồm 6 nghiệm thức với 3 lần lặp lại. Tôm khỏe mạnh và đồng cỡ được chọn để bố trí với mật độ 50 tôm/bể. Chủng *B. subtilis* CM3.1 được bổ sung trực tiếp vào nước nuôi với tần suất 3 ngày/lần ở các mật độ khác nhau. Trong khi đó, nghiệm thức sử dụng chế phẩm vi sinh thương mại (VSTM) dựa theo liều lượng của nhà sản xuất và nghiệm thức không bổ sung sản phẩm làm đối chứng.

Nghiệm thức 1: không bổ sung (NTĐC).

Nghiệm thức 2: Mật độ *B. subtilis* CM3.1 với 10^1 CFU/mL ($NT10^1$).

Nghiệm thức 3: Mật độ *B. subtilis* CM3.1 với 10^2 CFU/mL ($NT10^2$).

Nghiệm thức 4: Mật độ *B. subtilis* CM3.1 với 10^3 CFU/mL ($NT10^3$).

Nghiệm thức 5: Mật độ *B. subtilis* CM3.1 với 10^4 CFU/mL ($NT10^4$).

Nghiệm thức 6: Bổ sung vi sinh thương mại (VSTM) và liều lượng theo hướng dẫn của nhà sản xuất.

Tảo *P. pseudagardhii* được bổ sung vào trong bể tôm TCT với 1 lần duy nhất vào ngày 63 của thí nghiệm để đạt mật độ 26.000.000 ct/L nước (Hóa và ctv., 2026). Trước khi bổ sung tảo, mật độ *P. pseudagardhii* có sẵn trong môi trường được xác định để bổ sung cho phù hợp với mật độ trên. Thời gian thí nghiệm là 70 ngày. Tôm được chăm sóc và quản lý trong thí nghiệm tương tự ương tôm giống. Sau khi bổ sung tảo *P. Pseudagardhii* vào ngày 63, nguồn nước trong bể tôm được duy trì (không thay nước) đến kết thúc thí nghiệm. Bên cạnh đó, một vài yếu tố môi trường, đặc biệt là TAN, NO_3^- và PO_4^{3-} cũng được theo dõi để điều chỉnh nuôi phù hợp. Phương pháp phân tích theo APHA (2017).

2.3.5. Phương pháp thu và phân tích mẫu tảo

– *Phương pháp thu mẫu*

+ Định tính: Mẫu tảo được thu theo phương pháp lọc bằng cách dùng xô nhựa 5 L lấy nước trong bể tôm cho qua lưới phiêu sinh thực vật kích thước mắt lưới 20 µm. Mẫu sau khi thu được cho vào chai nhựa 180 mL và cố định bằng formol nồng độ 2 - 4%. Các giống/loài tảo được xác định bằng phương pháp hình thái theo các tài liệu phân loại đã được công bố.

+ Định lượng: Mẫu định lượng tảo được lấy theo phương pháp lắng bằng cách dùng chai 1 L thu trực tiếp trong các bể tôm TCT; sau đó, mẫu được cố định bằng formol nồng độ 2 - 4%.

Chu kỳ thu mẫu: Mẫu tảo thu định kỳ 1 tuần/lần từ ngày 1 đến 63. Sau khi bổ sung tảo *P. pseudagardhii*, mẫu được thu mỗi ngày 1 lần cho đến khi kết thúc thí nghiệm.

– *Phương pháp phân tích*

Thành phần loài tảo được xác định dựa theo các đặc điểm hình thái, cấu tạo tế bào, hình dạng tế bào, kích thước, cấu trúc vách tế bào, roi, gai và các đặc điểm khác của từng loài tảo dựa trên tài liệu phân loại đã được công bố. Mật độ tảo (cá thể/L) được tính toán dựa trên số lượng cá thể/tế bào tảo đã đếm và áp dụng theo công thức của Boyd and Tucker (1992): $X\ (\text{cá thể/L}) = (T \times 1.000 \times V_{cđ} \times 10^3)/ (A \times N \times V_{mẫu})$. Trong đó: X là mật độ tảo (ct/L), T là số cá thể đếm được theo giống/loài, $V_{cđ}$ là thể tích mẫu cô đặc (mL), $V_{mẫu}$ là thể tích mẫu thu (mL), A là diện tích một ô đếm (1 mm^2) và N là số ô đếm.

2.3.6. Mẫu tôm thẻ chân trắng

Sau khi kết thúc thí nghiệm, tôm được cân, đo theo từng nghiệm thức của thí nghiệm nhằm xác định tăng trưởng và tỷ lệ sống theo các công thức sau:

Tỷ lệ sống (%) = (Số tôm thu hoạch/ Số lượng tôm ban đầu) × 100.

Tăng trọng (WG, g) = Khối lượng cuối (W_t) - khối lượng đầu (W_0).

Tăng trưởng tuyệt đối về khối lượng (DWG, g/ngày) = (W_t - W_o)/t.

Tăng trưởng tương đối về chiều dài (SGR_L, %/ngày) = 100 × (LnL_t - LnL_o)/t.

Tăng trưởng tương đối về khối lượng (SGR_W,%/ngày) = 100 × (LnWt - LnW_o)/t.

Trong đó: W_o là khối lượng tôm ban đầu (g), W_t là khối lượng tôm kết thúc thí nghiệm (g), L_o là chiều dài tôm ban đầu (cm), L_t là chiều dài tôm kết thúc thí nghiệm (cm) và t là thời gian thí nghiệm (ngày).

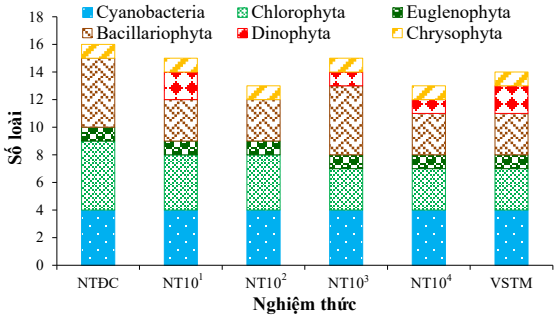
2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Số liệu được xử lý bằng phần mềm Microsoft Excel 2013. Sự khác biệt về các thông số tăng trưởng và tỉ lệ sống của tôm giữa các nghiệm thức được phân tích bằng ANOVA một nhân tố với phép thử Duncan ở mức ý nghĩa p = 0,05 bằng phần mềm SPSS 22.0.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thành phần loài tảo trong bể nuôi tôm TCT thí nghiệm

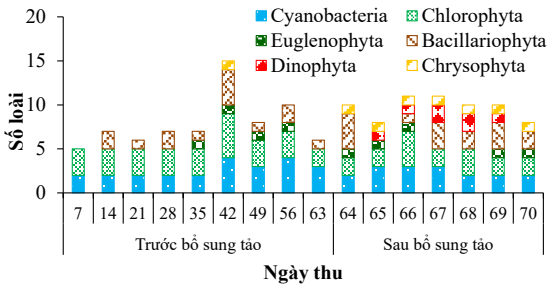
Thành phần loài tảo trong thí nghiệm ghi nhận tổng cộng 20 loài thuộc 6 ngành chính gồm Chlorophyta, Bacillariophyta, Cyanobacteria, Euglenophyta, Dinophyta và Chrysophyta. Số loài tảo giữa các nghiệm thức dao động từ 13 đến 16 loài, cao nhất ở NTĐC và thấp nhất ở $NT10^2$ và $NT10^4$ (Hình 1). Trong đó, số loài thuộc ngành Cyanobacteria, Chlorophyta và Bacillariophyta ghi nhận cao nhất ở tất cả các nghiệm thức và dao động từ 3 đến 5 loài. Các Euglenophyta, Dinophyta và Chrysophyta chỉ ghi nhận từ 1 đến 2 loài ở các nghiệm thức và không ghi nhận bất kỳ loài nào thuộc ngành Dinophyta ở NTĐC và $NT10^2$. Kết quả nghiên cứu hiện tại phù hợp với báo cáo trước đây của Qiao et al. (2019), trong đó ngành Chlorophyta, Cyanobacteria và Bacillariophyta là các ngành có số loài tương đối cao và xuất hiện thường xuyên trong ao nuôi tôm TCT. Việc bổ sung CPVS không làm thay đổi cấu trúc thành phần loài tảo, nhưng có xu hướng làm biến động số lượng loài của ngành Chlorophyta, Bacillariophyta và Dinophyta, trong khi Cyanobacteria có số loài tương đối ổn định trong các nghiệm thức.



Hình 1. Số loài tảo ở các nghiệm thức

Số loài của Cyanobacteria ghi nhận với 4 loài ở tất cả nghiệm thức cho thấy việc bổ sung CPVS trong thí nghiệm ít ảnh hưởng đến sự thay đổi thành phần loài của chúng. Bên cạnh đó, sự thay đổi thành phần loài tảo giữa các nghiệm thức phản ánh tác động gián tiếp của CPVS thông qua quá trình chuyển hóa chất hữu cơ và hàm lượng dinh dưỡng, từ đó làm thay đổi điều kiện cạnh tranh giữa các nhóm tảo. Theo nghiên cứu của Lyu et al. (2021), sự biến động và tính ổn định của thành phần loài tảo trong môi trường có mối liên hệ với chất lượng môi trường và tình trạng sức khỏe của tôm; do đó, biến động thành phần loài tảo được sử dụng như một chỉ thị sinh học, dùng để đánh giá sự ổn định của hệ thống nuôi tôm. Bên cạnh đó, nghiên cứu của El-Saadony et al. (2022) cho rằng chế phẩm vi sinh vật có thể góp phần cải thiện chất lượng nước thông qua các cơ chế sinh học khác nhau, nhưng hiệu quả phụ thuộc vào chủng, liều lượng áp dụng và điều kiện nuôi.

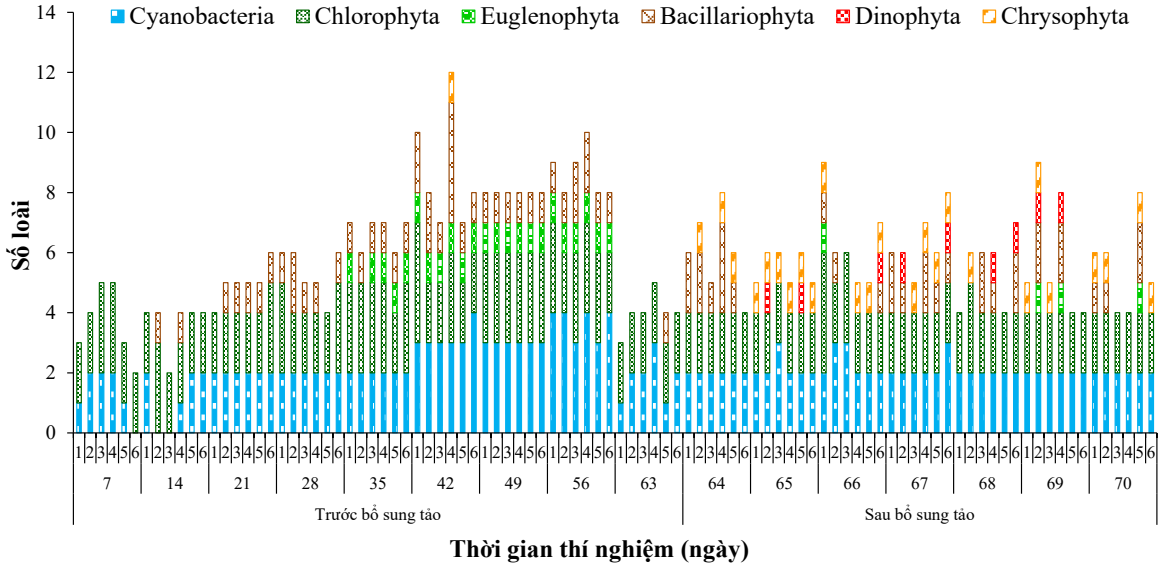
Số loài tảo ở các nghiệm thức theo thời gian thu mẫu trong các bể thí nghiệm dao động từ 5 đến 15 loài, thấp nhất vào ngày 7 và cao nhất vào ngày 42 (Hình 2). Trong đó, Cyanobacteria và Chlorophyta xuất hiện ở tất cả các lần thu mẫu và ghi nhận từ 2 đến 5 loài, đây là hai ngành tảo thích nghi tốt với điều kiện môi trường trong bể nuôi tôm TCT. Bacillariophyta có số loài từ 1 đến 4 loài và không tìm thấy vào ngày 7 và ngày 65; trong khi đó, Dinophyta chỉ xuất hiện ở giai đoạn sau khi bổ sung tảo từ ngày 65 đến ngày 69, dao động từ 1 đến 2 loài. Hai ngành Euglenophyta và Chrysophyta chỉ xuất hiện tại một số thời điểm thu mẫu và được tìm thấy duy nhất 1 loài trong suốt quá trình thí nghiệm.



Hình 2. Số loài tảo theo thời gian thu mẫu của thí nghiệm

Biến động số lượng loài tảo trong quá trình thí nghiệm làm thay đổi tính đa dạng của các ngành tảo. Số loài tảo tăng từ ngày 7 đến ngày 42 liên quan đến sự tích lũy chất dinh dưỡng từ nguồn thức ăn dư thừa, chất thải của tôm, tạo điều kiện cho nhiều nhóm tảo phát triển. Vào cuối chu kỳ thí nghiệm, sự suy giảm và biến động số loài phản ánh sự thay đổi về điều kiện dinh dưỡng và các yếu tố môi trường, dẫn đến sự thay đổi ưu thế giữa các nhóm tảo. Yang et al. (2020) cho rằng trong ao nuôi tôm thâm canh, số loài tảo biến động theo thời gian; trong đó, cấu trúc thành phần loài tảo thay đổi và chịu tác động bởi các yếu tố lý hóa, ngành tảo và hệ vi khuẩn trong nước.

Số loài tảo của Bacillariophyta, Cyanobacteria và Chlorophyta trong bể nuôi tôm biến động gần tương đương nhau theo thời gian thí nghiệm, cùng với sự xuất hiện ở giai đoạn cuối của ngành Dinophyta, từ đó cho thấy các ngành tảo có khả năng thích nghi khác nhau đối với sự thay đổi của môi trường nuôi. Theo Kawman et al. (2022), việc sử dụng CPVS trong ao nuôi tôm làm thay đổi tính đa dạng, điều kiện ao nuôi và đặc điểm sinh học của tảo, cụ thể là Chlorophyta, Bacillariophyta và Cyanobacteria. Các ngành tảo trong bể nuôi tôm TCT sử dụng CPVS có sự thay đổi về số lượng và thành phần loài theo thời gian; trong đó, Cyanobacteria và Chlorophyta duy trì ổn định, trong khi Bacillariophyta, Dinophyta, Euglenophyta và Chrysophyta có sự biến động tương đối lớn theo chu kỳ thu mẫu ở các nghiệm thức. Sự xuất hiện của Dinophyta ở giai đoạn cuối thí nghiệm cần được theo dõi thường xuyên trong quá trình quản lý môi trường nuôi.



Hình 3. Biến động số loài tảo theo thời gian của nghiệm thức trong thí nghiệm

Ghi chú: "1": nghiệm thức ĐC; "2, 3, 4, 5": nghiệm thức NT10[1], NT10[2], NT10[3], NT10[4]; "6": nghiệm thức VSTM.

Số loài tảo trong các nghiệm thức biến động từ 2 đến 12 loài, cao nhất tại NT 10^3 vào ngày 42 và thấp nhất tại VSTM vào ngày 7. Theo nghiệm thức, số loài tảo tại NTĐC dao động từ 3 đến 10 loài, các nghiệm thức còn lại có số loài dao động trong khoảng từ 2 đến 9 loài, riêng NT 10^3 dao động từ 4 đến 12 loài. Chlorophyta xuất hiện ở tất cả các nghiệm thức trong suốt thời gian thu mẫu, từ 2 đến 4 loài. Cyanobacteria và Bacillariophyta xuất hiện ở một số thời điểm, với 1 đến 4 loài. Ba ngành Euglenophyta, Dinophyta và Chrysophyta chỉ ghi nhận 1 loài tại một số thời điểm và nghiệm thức (Hình 3). Biến động số loài tảo theo thời gian trong bể nuôi tôm TCT giữa các nghiệm thức khá rõ và có sự chênh lệch theo các ngày thu mẫu. Nghiên cứu của Lukwambe et al. (2019) cho rằng thành phần

loài tảo trong ao nuôi tôm TCT thay đổi theo từng giai đoạn nuôi và chịu ảnh hưởng của việc sử dụng CPVS cũng như các điều kiện môi trường.

Số loài Chlorophyta theo thời gian thu mẫu giữa các nghiệm thức dao động từ 2 đến 4 loài trong suốt thời gian thí nghiệm. Tại NTĐC, số loài dao động từ 2 đến 4 loài; đạt cao nhất (4 loài) vào ngày 42 và 66. Các nghiệm thức $NT10^1$, $NT10^2$, $NT10^3$, $NT10^4$ và VSTM chủ yếu ghi nhận từ 2 đến 3 loài (Hình 3). Số loài Chlorophyta vào giai đoạn trước bổ sung tảo biến động rõ hơn so với giai đoạn sau bổ sung tảo trong thời gian thí nghiệm. Theo Qiao et al. (2019), số loài Chlorophyta ghi nhận tương đối cao, là một trong những ngành tảo chính xuất hiện trong ao tôm và chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố dinh dưỡng như NO_3^-, NH_4^+, PO_4^{3-},… trong ao nuôi tôm TCT.

Tương tự, số loài Cyanobacteria theo thời gian thu mẫu giữa các nghiệm thức dao động từ 1 đến 4 loài; tuy nhiên không ghi nhận loài nào tại $NT10^1$ và $NT10^2$ vào ngày 14, và VSTM vào ngày 7 của thí nghiệm. Số loài Cyanobacteria biến động theo thời gian, đặc biệt là giai đoạn trước bổ sung tảo. Từ ngày 21 đến ngày 56, số loài ghi nhận ở hầu hết các nghiệm thức từ 2 đến 4 loài; sau đó, số lượng loài giảm vào ngày 63. Sau khi bổ sung *P. pseudagardhii*, số loài duy trì tương đối ổn định, từ 2 đến 3 loài. Số loài Cyanobacteria ghi nhận từ 1 đến 3 loài ở nghiệm thức $NT10^2$ và $NT10^4$, từ 1 đến 4 loài tại NTĐC và $NT10^3$ và từ 2 đến 4 loài tại $NT10^1$ và VSTM (Hình 3). Theo Paerl and Otten (2013), Cyanobacteria có khả năng thích nghi với nhiều điều kiện môi trường và trở nên ưu thế khi nguồn dinh dưỡng nitơ và phospho được tích lũy thuận lợi. Bên cạnh các yếu tố dinh dưỡng, sự thay đổi thành phần loài tảo chịu ảnh hưởng bởi điều kiện ánh sáng, nhiệt độ và sự tương tác sinh học giữa các ngành tảo trong thủy vực (Sigee, 2004).

Số loài Bacillariophyta chỉ xuất hiện ở một số thời điểm trong quá trình thí nghiệm (Hình 3). Cụ thể, số loài Bacillariophyta bắt đầu xuất hiện vào ngày 14 tại $NT10^1$ và $NT10^3$ với 1 loài. Từ ngày 21 đến ngày 56, số loài Bacillariophyta tại các nghiệm thức ghi nhận từ 1 đến 4 loài; tuy nhiên, không xuất hiện loài nào tại NTĐC vào ngày 21 và $NT10^4$ vào ngày 28. Đến ngày 63, kết quả ghi nhận duy nhất 1 loài tại $NT10^4$. Sau khi bổ sung *P. pseudagardhii*, số loài dao động từ 1 đến 3 loài vào ngày 64 và từ 1 đến 2 loài trong các ngày tiếp theo. Điều này cho thấy sự thay đổi thành phần loài của Bacillariophyta trong thí nghiệm chịu ảnh hưởng bởi thời gian nuôi và các điều kiện môi trường trong bể nuôi tôm.

Ba ngành tảo Euglenophyta, Dinophyta và Chrysophyta chỉ ghi nhận 1 loài tại một số thời điểm và nghiệm thức trong suốt thời gian thí nghiệm (Hình 3). Euglenophyta chủ yếu xuất hiện trong giai đoạn từ ngày 35 đến ngày 56 ở hầu hết các nghiệm thức, sau đó được ghi nhận rải rác tại một số nghiệm thức sau khi bổ sung *P. pseudagardhii*. Dinophyta chủ yếu xuất hiện ở giai đoạn sau khi bổ sung tảo, với 1 loài được ghi nhận ở $NT10^1$, $NT10^3$, $NT10^4$ và VSTM ở một số ngày thu mẫu. Trong khi đó, Chrysophyta chỉ ghi nhận 1 loài ở $NT10^3$ vào ngày 42 trước khi bổ sung tảo và xuất hiện rải rác tại các nghiệm thức trong giai đoạn sau bổ sung tảo. Sự xuất hiện không liên tục của một số loài tảo trong các nghiệm thức có thể liên quan đến sự biến động về nguồn dinh dưỡng và điều kiện môi trường trong quá trình nuôi. Theo nghiên cứu của Baharudin et al. (2025), thành phần loài Dinophyta tại các ao nuôi tôm nhiệt đới biến động khá rõ trong các giai đoạn nuôi khác nhau, tuy nhiên cần chú ý khi mật độ tảo giáp tăng cao.

3.2. Mật độ tảo trong bể nuôi tôm thẻ chân trắng thí nghiệm

Biến động mật độ tảo theo thời gian giữa các nghiệm thức khá lớn, dao động từ 2.385.908 đến 141.967.967 ct/L, cao nhất ở $NT10^1$ vào ngày 28 và thấp nhất tại VSTM vào ngày 14. Nghiệm thức $NT10^3$ có mật độ tảo trung bình cao nhất so với các nghiệm thức còn lại. Chlorophyta chiếm ưu thế ở tất cả các nghiệm thức, dao động từ 2.379.954 đến 108.268.667 ct/L, cao nhất ở $NT10^1$ vào ngày 28 và thấp nhất ở VSTM vào ngày 14. Cyanobacteria được ghi nhận ở hầu hết các nghiệm thức với dao động từ 4.104 đến 48.246.845 ct/L. Trong khi đó, các ngành Euglenophyta, Bacillariophyta, Dinophyta và Chrysophyta xuất hiện ở một số thời điểm và dao động từ 139 đến 157.000 ct/L (Hình 4). Nhìn chung, mật độ tảo biến động rõ giữa các nghiệm thức và theo thời gian nuôi, có thể liên quan đến sự thay đổi về nguồn dinh dưỡng và điều kiện môi trường trong bể nuôi. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Lyu et al. (2021) về sự biến động thành phần loài và mật độ tảo theo thời gian bởi hàm lượng tổng nitơ, tỷ lệ N/P, nhiệt độ, DO, PO_4^{3-} trong ao nuôi tôm thâm canh.

Mật độ Chlorophyta biến động từ 2.379.954 đến 108.268.667 ct/L, trung bình 29.343.247 ± 24.740.633 ct/L. Mật độ cao nhất ghi nhận ở $NT10^1$ vào ngày 28 và thấp nhất ở VSTM vào ngày 14 (Hình 4). Trong đó, mật độ trung bình ở các nghiệm thức ghi nhận lần lượt là 26.850.857 ± 25.966.028 ct/L ở NTĐC; 29.932.887 ± 27.458.632 ct/L,

26.239.460 ± 19.605.002 ct/L, 35.335.924 ± 31.058.209 ct/L, 29.507.201 ± 23.787.205 ct/L, tương ứng từ NT 10^1 đến $NT10^4$ và 28.193.152 ± 21.831.105 ct/L ở VSTM; cao nhất ở NT 10^3 và thấp nhất tại $NT10^2$. Từ ngày 7 đến ngày 28, mật độ Chlorophyta tăng ở tất cả các nghiệm thức, sau đó giảm mạnh vào ngày 35, với dao động từ 14.536.667 đến 31.650.278 ct/L. Từ ngày 49 đến ngày 70, mật độ tiếp tục có xu hướng giảm và biến động giữa các nghiệm thức, đạt 7.579.167 đến 23.015.714 ct/L vào cuối thí nghiệm. Mật độ Chlorophyta phát triển mạnh trong giai đoạn giữa của quá trình nuôi, liên quan đến sự thay đổi về nguồn dinh dưỡng trong các bể thí nghiệm. Cụ thể, việc theo dõi các yếu tố môi trường cho thấy TAN biến động từ 0,56 đến 1,05 mg/L, NO_3^- từ 0,76 đến 2,44 mg/L và PO_4^{3-} thay đổi từ 0,55 đến 1,29 mg/L.

Nghiên cứu của Palupi et al. (2023) cho thấy Chlorophyta đạt mật độ cao nhất với 18.400.000 ct/L trong các ao nuôi tôm TCT. Theo Kawman et al. (2022), việc sử dụng chế phẩm vi sinh làm thay đổi mật độ tảo; trong đó, Chlorophyta có xu hướng giảm ở giai đoạn đầu và tăng trở lại vào giai đoạn cuối của quá trình nuôi.

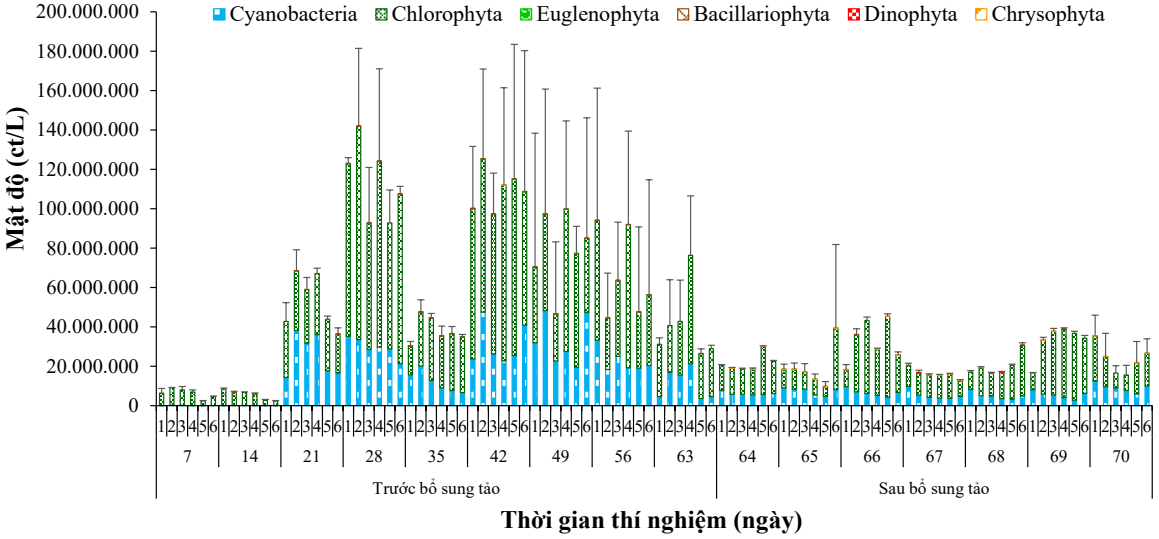
Mật độ Cyanobacteria biến động đáng kể theo thời gian và giữa các nghiệm thức, dao động từ 4.104 đến 48.246.845 ct/L, trung bình 13.135.141 ± 12.214.909 ct/L. Kết quả không ghi nhận sự xuất hiện của nhóm tảo này ở VSTM vào ngày 7 và ở $NT10^1$ và $NT10^2$ vào ngày 14. Trong đó, mật độ trung bình ở các nghiệm thức ghi nhận lần lượt là 14.001.750 ± 11.225.788 ct/L ở NTĐC; 16.911.597 ± 16.263.532 ct/L, 12.933.828 ± 10.598.326 ct/L, 12.587.459 ± 11.636.276 ct/L, 9.541.388 ± 9.307.827 ct/L, tương ứng từ $NT10^1$ đến $NT10^4$ và 12.834.826 ± 13.777.730 ct/L ở VSTM. Từ ngày 7 đến ngày 28, mật độ Cyanobacteria tăng nhanh ở tất cả các nghiệm thức, đạt 21.369.611 - 35.204.889 ct/L vào ngày 28. Sau đó, mật độ giảm mạnh vào ngày 35, với mức giảm khoảng 43 - 76% so với ngày 28, tùy nghiệm thức. Từ ngày 42 đến ngày 49, mật độ tăng trở lại và đạt mức cao nhất là 48.246.845 ct/L vào ngày 49. Trong giai đoạn từ ngày 56 đến ngày 68, mật độ có xu hướng giảm, sau đó tăng nhẹ vào ngày 69 đến ngày 70, đạt từ 5.969.768 đến 12.509.722 ct/L vào ngày 70 (Hình 4). Nhìn chung, mật độ Cyanobacteria có xu hướng tăng trong giai đoạn đầu và giữa của thí nghiệm, nhưng biến động rõ giữa các thời điểm trước khi giảm vào cuối thí nghiệm. Kết quả nghiên cứu của Yusoff et al. (2002) cho thấy mật độ và thành phần loài tảo trong ao nuôi tôm thay đổi theo từng giai đoạn nuôi; trong đó, Cyanobacteria có thể tăng mạnh rồi giảm khi điều kiện môi trường thay đổi trong quá trình nuôi. Sự phát triển của Cyanobacteria trong hệ thống nuôi thủy sản bị ảnh hưởng bởi nhiều nhân tố, bao gồm nhiệt độ, ánh sáng và nguồn dinh dưỡng vô cơ hòa tan, đặc biệt là đạm và lân hòa tan (Paerl & Tucker, 1995). Nghiên cứu của Lukwambe et al. (2015) đã chứng minh trong ao đối chứng có Cyanobacteria chiếm ưu thế hơn so với các ao nuôi có sử dụng chế phẩm vi sinh; trong đó, chế phẩm vi sinh làm giảm mật độ các loài thuộc giống *Oscillatoria*. Do đó, trong nghiên cứu hiện tại, mật độ Cyanobacteria giảm ở các nghiệm thức bổ sung *Bacillus* trong giai đoạn cuối phụ thuộc vào thành phần vi sinh vật và điều kiện dinh dưỡng trong các bể thí nghiệm.

Đối với Euglenophyta, mật độ ở giai đoạn trước khi bổ sung tảo *P. pseudagardhii* từ ngày 35 ở NTĐC, $NT10^2$, $NT10^3$, $NT10^4$ và VSTM, đạt lần lượt là 4.167 ± 3.005, 556 ± 962, 1.111 ± 1.273, 556 ± 481 và 833 ± 1.443 ct/L. Riêng nghiệm thức $NT10^1$, Euglenophyta xuất hiện vào ngày 42, đạt trung bình là 6.997 ± 3.967 ct/L. Mật độ Euglenophyta có xu hướng tăng và đạt giá trị cao nhất vào ngày 49 ở các nghiệm thức; sau đó, mật độ giảm mạnh vào ngày 56 ở NTĐC, $NT10^1$, $NT10^3$, $NT10^4$ và VSTM. Ngược lại, ở nghiệm thức $NT10^2$, mật độ Euglenophyta tiếp tục gia tăng và đạt 15.729 ± 17.261 ct/L vào ngày 56 (Hình 4). Sau khi bổ sung *P. pseudagardhii*, mật độ Euglenophyta giảm rõ rệt và chỉ được ghi nhận ở một số thời điểm với mật độ thấp. Cụ thể, vào ngày 66 ở NTĐC có mật độ 583 ± 72 ct/L; ngày 69 đạt 208 ± 361 ct/L ở $NT10^1$ và 333 ± 577 ct/L ở $NT10^3$; đến ngày 70 chỉ ghi nhận 388 ± 671 ct/L ở $NT10^4$ (Hình 4). Nhìn chung, mật độ Euglenophyta biến động theo thời gian và khác nhau giữa các nghiệm thức.

Trong nghiên cứu hiện tại, Euglenophyta được ghi nhận với mật độ từ 208 đến 20.417 ct/L tại một số thời điểm từ ngày 35 - 56 và và sau khi bổ sung *P. pseudagardhii* vào các ngày 66, 69 và 70. Một số loài thuộc ngành Euglenophyta có khả năng gia tăng sinh khối trong điều kiện giàu dinh dưỡng, do đó sự xuất hiện và biến động của nhóm tảo này cần được theo dõi trong hệ thống nuôi. Sultana et al. (2024) cho rằng sự phát triển của Euglenophyta chịu ảnh hưởng bởi cường độ ánh sáng, nhiệt độ và chu trình dinh dưỡng; hàm lượng nitrogen và phosphorus cao tạo điều kiện thuận lợi cho sự gia tăng sinh khối của một số loài tảo thuộc ngành này. Nguyen et al. (2022; 2023) cho rằng *Euglena* và *Phacus* thường xuất hiện trong các mô hình ao nuôi tôm và chỉ thị cho môi trường giàu chất hữu cơ. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, mật độ tảo mắt Euglenophyta tương đối thấp và giảm mạnh sau khi bổ sung *P.*

pseudagardhii, do đó chưa có cơ sở để khẳng định dấu hiệu của ô nhiễm hữu cơ.

Mật độ Bacillariophyta theo thời gian giữa các nghiệm thức dao động từ 1.167 đến 157.000 ct/L. Đến ngày 14, Bacillariophyta bắt đầu xuất hiện tại hai nghiệm thức $NT10^1$ và $NT10^3$ với mật độ lần lượt là 3.617 ct/L và 1.242 ct/L. Vào ngày 21, mật độ Bacillariophyta xuất hiện ở hầu hết nghiệm thức bao gồm NTĐC, $NT10^1$, $NT10^2$, $NT10^3$ và $NT10^4$ với mật độ dao động từ 5.031 đến 18.872 ct/L, trong khi không tìm thấy ngành này ở nghiệm thức VSTM vào thời điểm trên. Ở ngày nuôi từ 28 đến 56, mật độ Bacillariophyta dao động từ 1.167 đến 157.000 ct/L, tuy nhiên vào ngày 28 tại $NT10^3$ không xuất hiện các loài thuộc ngành Bacillariophyta. Ở ngày 63, mật độ Bacillariophyta xuất hiện tại $NT10^4$ với mật độ khá cao, với giá trị 102.083 ct/L (Hình 4).



Hình 4. Biến động mật độ tảo theo thời gian giữa các nghiệm thức trong thí nghiệm

Ghi chú: "1": nghiệm thức ĐC; "2, 3, 4, 5": nghiệm thức $NT10^1$, $NT10^2$, $NT10^3$, $NT10^4$; "6": nghiệm thức VSTM.

Sau khi bổ sung *P. pseudagardhii* (ngày 64 - 70), mật độ Bacillariophyta giảm rõ rệt và xuất hiện không liên tục giữa các nghiệm thức. Vào ngày 64, mật độ dao động từ 208 đến 4.375 ct/L ở các nghiệm thức, đến ngày 65 không ghi nhận tảo Bacillariophyta ở bất kỳ nghiệm thức nào. Vào giai đoạn từ ngày 66 đến ngày 69, mật độ Bacillariophyta xuất hiện ở một số thời điểm giữa các nghiệm thức thấp và dao động từ 119 đến 5.833 ct/L. Đến ngày 70, mật độ Bacillariophyta tăng ở 3 nghiệm thức gồm NTĐC (9.722 ct/L), $NT10^4$ (4.651 ct/L), và $NT10^1$ (3.205 ct/L) (Hình 4). Giai đoạn trước khi bổ sung *P. pseudagardhii*, Bacillariophyta có mật độ cao ở nhiều thời điểm khác nhau, đặc biệt là ngày 28 ở NTĐC và ngày 63 ở $NT10^4$. Theo ghi nhận, vào các thời điểm trên, NO_3^- đạt 1,59 mg/L, PO_4^{3-} là 0,22 mg/L ở NTĐC; NO_3^- đạt 1,57 mg/L, TAN đạt 0,96 mg/L và PO_4^{3-} là 1,20 mg/L ở nghiệm thức $NT10^4$. Nghiên cứu của Qiao et al. (2020) cho thấy Bacillariophyta là một trong những ngành tảo chiếm ưu thế trong ao tôm TCT và thành phần loài thay đổi theo thời gian nuôi, độ mặn, hàm lượng silic và dinh dưỡng hòa tan. Bên cạnh đó, Kawman et al. (2022) ghi nhận việc sử dụng chế phẩm vi sinh có ảnh hưởng đến thành phần loài và mật độ tảo trong ao nuôi tôm TCT.

Dinophyta không xuất hiện trong giai đoạn trước khi bổ sung tảo *P. pseudagardhii* (ngày 7 - 63) ở tất cả các nghiệm thức. Tuy nhiên, sau khi bổ sung *P. pseudagardhii*, Dinophyta bắt đầu xuất hiện không liên tục theo thời gian nuôi các nghiệm thức. Cụ thể, tại $NT10^1$, Dinophyta được ghi nhận vào các ngày 65, 67 và 69, mật độ lần lượt đạt 231 ± 401, 167 ± 289 và 208 ± 361 ct/L. Ở $NT10^3$, tảo giáp xuất hiện vào ngày 68 và 69, mật độ tương ứng 139 ± 241 và 167 ± 289 ct/L; trong khi $NT10^4$ chỉ ghi nhận vào ngày 65 với mật độ 362 ± 628 ct/L. Đối với nghiệm thức VSTM, Dinophyta xuất hiện liên tục từ ngày 66 đến 68, dao động từ 139 ± 241 đến 208 ± 361 ct/L (Hình 4). Dinophyta chỉ xuất hiện trong thời gian ngắn sau khi bổ sung *P. pseudagardhii*, với mật độ thấp và biến động không liên tục giữa các nghiệm thức. Reynolds (2006) cho rằng sự thay đổi điều kiện môi trường làm ảnh hưởng nhanh chóng đến sự xuất hiện của các ngành tảo trong thủy vực. Anderson et al. (2021) nhận định rằng sự xuất hiện

và phát triển của Dinophyta trong môi trường nước chịu sự chi phối của nhiều yếu tố sinh thái và dinh dưỡng, trong đó sự thay đổi về các yếu tố môi trường đã tạo điều kiện thuận lợi cho một số loài tảo phát triển. Do đó, việc Dinophyta chỉ xuất hiện ở giai đoạn sau bổ sung *P. pseudagardhii* phản ánh sự thay đổi của điều kiện môi trường hoặc cấu trúc thành phần loài tảo trong bể nuôi tôm. Tuy nhiên, mật độ tảo Dinophyta trong nghiên cứu tương đối thấp, chỉ dao động từ 139 đến 362 ct/L và có thể chưa đến mức gây ảnh hưởng đến tôm thí nghiệm.

Tương tự, mật độ Chrysophyta theo thời gian giữa các nghiệm thức thí nghiệm tương đối thấp, dao động từ 139 đến 4.167 ct/L. Ở ngày nuôi thứ 7 đến 35 và ngày 49 đến 63, không ghi nhận sự xuất hiện của mật độ tảo Chrysophyta trong thời gian thí nghiệm. Tuy nhiên, ở thời điểm ngày 42, mật độ Chrysophyta xuất hiện ở $NT10^3$ với giá trị 417 ± 722 ct/L. Sau khi bổ sung tảo *P. pseudagardhii*, mật độ tảo Chrysophyta xuất hiện ở một số thời điểm, chẳng hạn như NTĐC ghi nhận vào ngày 65, 66, 69 và 70, trung bình dao động từ 208 ± 361 đến 4.167 ± 7.217 ct/L. Trong khi đó, NT 10^1 ghi nhận mật độ rất thấp, chỉ từ 185 đến 477 ct/L vào các ngày 64, 65, 68 đến 70. Vào các ngày 65, 67 và 69, nghiệm thức $NT10^2$ có mật độ tảo Chrysophyta dao động từ 139 đến 1.068 ct/L. Nghiệm thức $NT10^3$, mật độ dao động từ 167 đến 357 ct/L từ ngày 64 đến 67. Ở nghiệm thức $NT10^4$, mật độ tảo đạt từ 208 đến 804 ct/L vào các ngày 64 đến 67 và ngày 70. Đối với nghiệm thức VSTM, mật độ Chrysophyta đạt từ 208 đến 630 ct/L vào các ngày 65 đến 67 và ngày 70 (Hình 4). Nhìn chung, mật độ Chrysophyta ghi nhận tương đối thấp trong bể nuôi tôm TCT của thí nghiệm. Theo Palupi et al. (2022), Chrysophyta là ngành tảo có số loài và mật độ thấp trong cả ao nuôi tôm thâm canh và quảng canh.

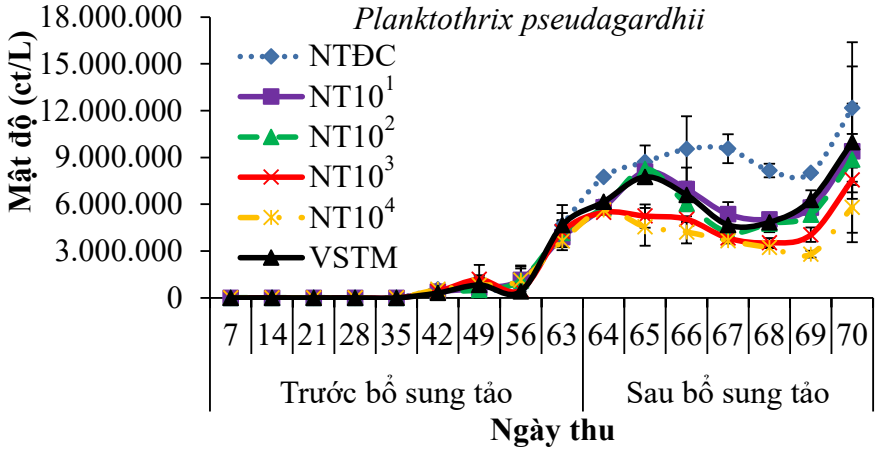
3.3. Khả năng quản lý sự phát triển của tảo lam *P. pseudagardhii* gây hại bằng chế phẩm vi sinh ở liều lượng khác nhau

Tảo lam *P. pseudagardhii* trong các nghiệm thức không xuất hiện từ khi bắt đầu thí nghiệm đến ngày 35. Đến ngày 42, *P. pseudagardhii* bắt đầu xuất hiện ở tất cả các nghiệm thức, mật độ dao động từ 312.500 đến 540.278 ct/L và tiếp tục tăng dần đến ngày 63. Tuy nhiên, vào ngày 56, mật độ *P. pseudagardhii* giảm nhẹ ở nghiệm thức $NT10^3$ và VSTM, ghi nhận lần lượt là 503.033 ct/L và 415.755 ct/L. Sau khi bổ sung *P. pseudagardhii* với mật độ 26.000.000 ct/L vào ngày 63, mật độ tảo tăng mạnh vào ngày 64 ở tất cả các nghiệm thức, đạt từ 4.548.613 đến 8.711.640 ct/L. Bắt đầu từ ngày 65, mật độ tảo *P. pseudagardhii* giảm ở $NT10^3$ đến ngày 68 và $NT10^4$ đến ngày 69, sau đó tăng trở lại vào ngày 70. Các nghiệm thức $NT10^1$, $NT10^2$ và VSTM, mật độ tảo tiếp tục tăng đến ngày 65, sau đó giảm nhẹ ở giai đoạn từ ngày 66 đến 68, rồi tăng trở lại đến ngày 70. Riêng NTĐC, mật độ *P. pseudagardhii* tăng liên tục đến ngày 67, giảm nhẹ vào ngày 68 và 69 và tăng trở lại vào ngày 70, đạt giá trị cao nhất 12.166.667 ± 2.665.179 ct/L, và cao hơn các nghiệm thức bổ sung CPSV trong thời gian thí nghiệm (Hình 5). Sự gia tăng trở lại của *P. pseudagardhii* vào ngày 69 và 70 là do sự gia tăng hàm lượng TAN (1,43 - 2,55 mg/L) và PO_4^{3-} (1,06 - 1,25 mg/L) vào giai đoạn cuối chu kỳ trong bể nuôi tôm TCT, tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của tảo. Harke et al. (2016) cho rằng nguồn dinh dưỡng tăng giúp thúc đẩy sự phát triển của Cyanobacteria và làm gia tăng nguy cơ xuất hiện các loài tảo có khả năng sinh độc tố. Do đó, mật độ *P. pseudagardhii* tăng vào cuối thí nghiệm trong nghiên cứu này, phản ánh sự kết hợp giữa tích lũy nguồn dinh dưỡng và điều kiện môi trường thuận lợi cho loài tảo này phát triển.

Các nghiệm thức $NT10^3$ và $NT10^4$, mật độ tảo *P. pseudagardhii* giảm trong một số thời điểm thu mẫu sau khi bổ sung tảo, trong khi NTĐC đạt mật độ cao nhất vào cuối thí nghiệm (Hình 5). Việc sử dụng CPVS ở mật độ cao hạn chế sự phát triển của *P. pseudagardhii* trong bể nuôi tôm TCT. Tuy nhiên, do mật độ tảo vẫn tăng trở lại vào cuối thí nghiệm và hiệu quả kiểm soát của CPVS có thể phụ thuộc vào liều sử dụng, thời gian tác động của lợi khuẩn và mức độ tích lũy dinh dưỡng trong bể nuôi. Do đó, hiệu quả kiểm soát *P. pseudagardhii* thay đổi theo mật số *B. subtilis* CM3.1 và thời gian xử lý vào giai đoạn từ ngày 64 đến 70 (Hình 5). Ở các thời điểm khác nhau, mức độ giảm mật số *P. pseudagardhii* không giống nhau giữa các nghiệm thức bổ sung vi khuẩn *B. subtilis*; đồng thời, hiệu quả của cùng một liều lượng vi khuẩn áp dụng cũng thay đổi theo thời gian. Đặc biệt, liều lượng vi khuẩn cao cho hiệu quả kiểm soát rõ hơn trong giai đoạn đầu, nhưng hiệu quả giảm dần về cuối thí nghiệm. Sự thay đổi này cho thấy hiệu quả kiểm soát *P. pseudagardhii* phụ thuộc vào mật số vi khuẩn và chu kỳ xử lý. Nghiên cứu của Wu et al. (2016) cho thấy việc sử dụng *B. subtilis* FY99-01 làm thay đổi hệ vi khuẩn trong hệ thống nuôi tôm TCT và cải thiện chất lượng nước, CPVS còn hỗ trợ tích cực cho sự phát triển của một số ngành tảo có lợi như Chlorophyta và Bacillariophyta.

Cơ chế hạn chế sự phát triển tảo của vi khuẩn có lợi thường liên quan đến sự cạnh tranh nguồn dinh dưỡng, thay đổi điều kiện môi trường nuôi và sự

tương tác sinh học giữa vi khuẩn với tảo. Nayak (2021) cho rằng các dòng vi khuẩn *Bacillus*, đặc biệt *B. subtilis*, có nhiều ứng dụng trong nuôi trồng thủy sản, bao gồm cải thiện chất lượng nước, tham gia chu trình dinh dưỡng và hỗ trợ kiểm soát các tác nhân gây bệnh. Ren et al. (2021) ghi nhận các chủng *Bacillus* có khả năng cải thiện chất lượng nước trong hệ thống nuôi biển thông qua loại bỏ COD, TAN và NO_3^-, đồng thời làm giảm *Vibrio* trong điều kiện thí nghiệm và tiềm năng của *Bacillus* trong việc xử lý sinh học, quản lý hệ thống nuôi. Tuy nhiên, nghiên cứu cũng chưa trực tiếp chứng minh khả năng ức chế tảo bởi *Bacillus*. Do đó, sự suy giảm mật độ *P. pseudagardhii* quan sát trong các nghiệm thức bổ sung *B. subtilis* CM3.1 của nghiên cứu hiện tại có thể liên quan đến những thay đổi gián tiếp về điều kiện dinh dưỡng và môi trường, nhưng cần các thí nghiệm chuyên biệt để xác định cơ chế ức chế tảo.



Hình 5. Biến động mật độ tảo lam *P. pseudagardhii* theo thời gian của thí nghiệm

Việc sử dụng CPVS là một hướng tiếp cận tiềm năng và thân thiện với môi trường nước trong quản lý tảo gây hại. Tuy nhiên, hiệu quả của CPVS có thể phụ thuộc vào điều kiện dinh dưỡng, chất lượng nước và đặc điểm của từng hệ thống nuôi; do đó, việc ứng dụng CPVS cần được kết hợp với kiểm soát tải lượng dinh dưỡng và quản lý chất lượng nước để duy trì hiệu quả lâu dài. Kết quả nghiên cứu của Ferreira et al. (2017) cho thấy tác động của probiotic thương mại chứa *B. subtilis* và *B. licheniformis* lên chất lượng nước, vi khuẩn và tảo không biểu hiện rõ trong mọi điều kiện nuôi, hiệu quả của CPVS cần được đánh giá cụ thể quá trình quản lý theo từng hệ thống nuôi tôm.

3.4. Tăng trưởng và tỷ lệ sống của tôm TCT

3.4.1. Tăng trưởng

Sau 70 ngày nuôi, tốc độ tăng trưởng tương đối về chiều dài (SGR_L) của tôm TCT ở các nghiệm thức dao động từ 1,37 đến 1,45 %/ngày (Bảng 1). Ở NTĐC, SGR_L đạt giá trị thấp nhất với trung bình là 1,37 ± 0,05 %/ngày và khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$) so với các nghiệm thức $NT10^1$, $NT10^2$, $NT10^3$ và $NT10^4$, nhưng khác biệt không có ý nghĩa so với nghiệm thức VSTM ($p > 0,05$). Giá trị SGR_L cao nhất ở $NT10^4$ (1,45 ± 0,06 %/ngày). Việc bổ sung vi khuẩn *Bacillus subtilis* CM3.1 ở mật độ thích hợp, đặc biệt ở mật độ 10^3 đến 10^4 CFU/mL giúp cải thiện tăng trưởng chiều dài của tôm so với NTĐC. Wyban and Sweeney (1991) cho rằng tốc độ tăng trưởng của TCT chịu ảnh hưởng rõ rệt bởi kích thước và giai đoạn phát triển, đồng thời có xu hướng giảm khi tôm đạt kích thước lớn hơn.

Tăng trọng của tôm ở các nghiệm thức dao động từ 11,03±1,47 g đến 12,69±1,82 g. Tốc độ tăng trưởng tuyệt đối về khối lượng (DWG) từ 0,16 đến 0,18 g/ngày và tăng trưởng tương đối về khối lượng (SGR_W) từ 2,94 đến 3,11%/ngày. Nghiệm thức $NT10^4$ đạt các giá trị cao nhất về tăng trọng là 12,69 ± 1,82 g, trung bình DWG đạt 0,18 ± 0,03 g/ngày và SGR_W là 3,11 ± 0,19 %/ngày, trong khi NTĐC có các giá trị đạt thấp nhất với tăng trọng là 11,03 ± 1,47 g, DWG là 0,16 ± 0,02 g/ngày và SGR_W 2,94 ± 0,17%/ngày (Bảng 1). Tôm ở các nghiệm thức $NT10^2$, $NT10^3$ và $NT10^4$ có tăng trưởng cao hơn có ý nghĩa so với tôm ở NTĐC ($p < 0,05$). Kết quả thí nghiệm đã cho thấy các nghiệm thức sử dụng CPVS có liều lượng cao góp phần tạo điều kiện thuận lợi cho tăng trưởng của tôm. Zokaeifar et al. (2014) cho rằng việc bổ sung trực tiếp chủng *B. subtilis* vào trong nước nuôi tôm TCT ở mật độ 10^5 và 10^8 CFU/mL trong 8 tuần và ghi nhận WG và SGR_W cao hơn có ý nghĩa so với đối chứng; đồng thời, hàm lượng NH_3, NO_2^- và NO_3^- trong nước giảm tại thời

điểm khảo sát. Nimrat et al. (2012) cho rằng sử dụng chế phẩm *Bacillus* trong hệ thống nuôi tôm, đặc biệt ở giai đoạn postlarvae (hậu ấu trùng) cải thiện tăng trưởng của tôm, tăng số lượng vi khuẩn có lợi và cải thiện chất lượng nước. Ngoài ra, Nimrat et al. (2020) ghi nhận khi bổ sung hỗn hợp *Bacillus* trực tiếp vào trong nước nuôi tôm TCT giúp cải thiện tăng trưởng, hiệu quả sử dụng thức ăn, tỷ lệ sống và chất lượng nước. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc bổ sung *B. subtilis* CM3.1 ở mật độ 10^2 đến 10^4 CFU/mL có hiệu quả tích cực trong cải thiện tăng trưởng của tôm TCT thông qua các chỉ tiêu tăng WG, DWG và SGR, đặc biệt cao nhất ở nghiệm thức $NT10^4$. Điều này đề nghị rằng *B. subtilis* CM3.1 có tiềm năng ứng dụng trong những môi trường ao nuôi có tảo lam *P. pseudagardhii* phát triển mạnh. Tuy nhiên, vấn đề này cần được đánh giá trong điều kiện ao nuôi ở nghiên cứu tiếp theo.

Bảng 1. Tăng trưởng của tôm TCT sau 70 ngày thí nghiệm

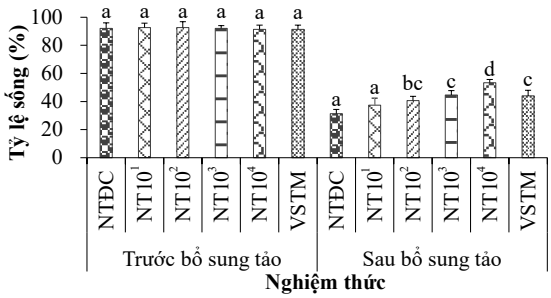
Nghiệm thức	Chỉ tiêu tăng trưởng của tôm TCT			
	SGR_L (%/ngày)	WG (g)	DWG (g/ngày)	SGR_W (%/ngày)
NTĐC	1,37±0,05^{a}	11,03±1,47^{a}	0,16±0,02^{a}	2,94±0,17^{a}
$NT10^1$	1,41±0,07^{bc}	11,40±2,71^{ab}	0,16±0,04^{ab}	2,96±0,31^{a}
$NT10^2$	1,42±0,10^{bc}	12,39±2,19^{bc}	0,18±0,03^{bc}	3,08±0,22^{b}
$NT10^3$	1,44±0,06^{c}	12,67±2,20^{c}	0,18±0,03^{c}	3,10±0,22^{b}
$NT10^4$	1,45±0,06^{c}	12,69±1,82^{c}	0,18±0,03^{c}	3,11±0,19^{b}
VSTM	1,40±0,07^{ab}	11,57±1,62^{abc}	0,17±0,02^{abc}	3,00±0,17^{ab}

**Ghi chú: Các giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn trong cùng một cột có các ký tự (a, b, c) giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê (p > 0,05).*

3.4.2. Tỷ lệ sống

Sau 63 ngày nuôi, trước khi bổ sung tảo lam *P. pseudagardhii*, tỷ lệ sống của tôm TCT ở các nghiệm thức dao động từ 91,3 đến 92,7%. Tỷ lệ sống cao nhất ghi nhận ở $NT10^1$ và $NT10^2$ (92,7%), kế tiếp là NTĐC và $NT10^3$ với 92,0%, trong khi $NT10^4$ và VSTM đạt thấp nhất (91,3%) (Hình 6). Tuy nhiên, tỷ lệ sống giữa các nghiệm thức khác biệt không có ý nghĩa thống kê (p > 0,05), việc bổ sung *B. subtilis* CM3.1 trước khi bổ sung tảo không gây ảnh hưởng đến tỷ lệ sống của tôm TCT trong 63 ngày đầu.

Sau khi bổ sung *P. pseudagardhii* vào tất cả các nghiệm thức với mật độ 26.000.000 ct/L và duy trì trong 7 ngày, tỷ lệ sống của tôm đến ngày 70 giảm rõ rệt, chỉ còn 31,3 đến 53,3% (Hình 6). Tỷ lệ sống thấp nhất được ghi nhận ở NTĐC (31,3%) và cao nhất ở $NT10^4$ (53,3 ± 2,3%), khác biệt có ý nghĩa thống kê (p < 0,05) so với các nghiệm thức còn lại. Các nghiệm thức $NT10^1$, $NT10^2$, $NT10^3$ và VSTM, ghi nhận lần lượt là 37,3%; 40,7%; 44,7% và 44,0%. Tỷ lệ sống của tôm TCT giảm rõ rệt sau khi bổ sung tảo *P. pseudagardhii* và có sự khác biệt giữa các nghiệm thức. Trong đó, nghiệm thức bổ sung *B. subtilis* CM3.1 ở mật độ 10^4 CFU/mL ($NT10^4$) duy trì tỷ lệ sống của tôm cao hơn so với các nghiệm thức còn lại.



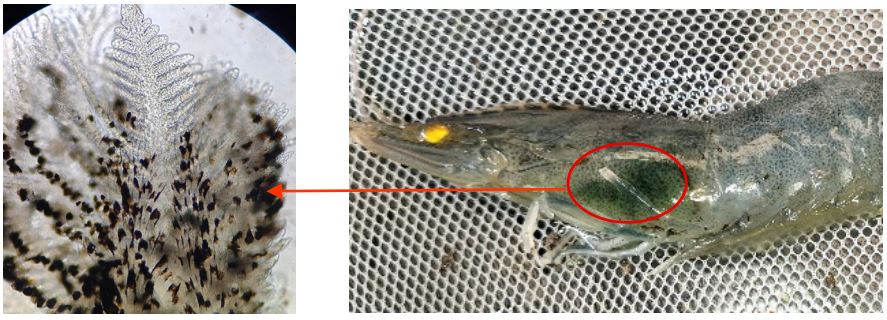
Hình 6. Tỷ lệ sống của tôm TCT trước và sau khi bổ sung *P. pseudagardhii*

Ghi chú: Các giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn trong cùng thời điểm trước hoặc sau bổ sung tảo có các ký tự (a, b, c) giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê (p>0,05).

Tỷ lệ sống của tôm TCT có xu hướng biến động theo mật độ *P. pseudagardhii* giữa các nghiệm thức (Hình 5). Vào cuối thí nghiệm (ngày 70), mật độ *P. pseudagardhii* ở NTĐC đạt cao nhất, với 12.166.667 ± 2.665.179 ct/L, trong khi nghiệm thức bổ sung *B. subtilis* CM3.1 ở mật độ $NT10^4$ chỉ ghi nhận 5.802.988 ct/L, thấp hơn so với NTĐC. Đồng thời, tỷ lệ sống của tôm ở $NT10^4$ đạt 53,3%, cao hơn so với NTĐC (31,3%) (Hình 5 và Hình 6). Mật độ *P. pseudagardhii* càng cao thì tỷ lệ sống của tôm TCT có xu hướng càng thấp trong điều kiện thí nghiệm. Việc bổ sung *B. subtilis* CM3.1 ở mật độ 10^4 góp phần hạn chế sự tác động bất lợi của tảo *P. pseudagardhii* đối với tôm và giúp cải thiện tỷ lệ sống cao hơn. Vai trò của vi khuẩn *B. subtilis* đối

với TCT đã được chứng minh qua nhiều nghiên cứu. Chẳng hạn như Alagarasu et al. (2021) báo cáo rằng việc bổ sung *B. subtilis* trong quá trình nuôi giúp cải thiện miễn dịch và tỷ lệ sống của tôm nuôi. Bên cạnh đó, kết quả nghiên cứu của Chen et al. (2021) cũng cho thấy hiệu quả cải thiện tăng trưởng, miễn dịch và sức đề kháng của tôm TCT khi bổ sung *B. velezensis* trong môi trường nuôi. Chế phẩm vi sinh sử dụng trong nuôi trồng thủy sản tác động tích cực đến vật nuôi thông qua cạnh tranh với vi sinh vật bất lợi, sản sinh các hợp chất kháng khuẩn, cải thiện khả năng tiêu hóa và kích thích hệ miễn dịch (Hai, 2015).

Sự suy giảm sức sống của tôm trong 7 ngày cuối (ngày 64 đến ngày 70) của thí nghiệm không chỉ liên quan đến sự xuất hiện và gia tăng mật độ của *P. pseudagardhii*, mà còn có thể chịu ảnh hưởng bởi sự biến động của các yếu tố môi trường trong bể nuôi tôm TCT. Khi mật độ và sinh khối *P. pseudagardhii* tăng cao hay phát triển quá mức, làm thay đổi điều kiện môi trường nước và gây bất lợi cho quá trình hô hấp của tôm. Tảo lam *P. pseudagardhii* là dạng tảo sợi, theo quan sát, sự phát triển quá mức có thể bám hoặc mắc vào mang tôm, đồng thời làm tăng lượng chất nhầy trên bề mặt mang, ảnh hưởng đến quá trình hô hấp của tôm (Hình 7). Kết quả ghi nhận này cũng thống nhất với nghiên cứu của Maa-iad et al. (2023) về ảnh hưởng của tảo lam *Limnothrix* LmTK01 trên tôm thẻ chân trắng. Tuy nhiên, cơ chế sâu hơn về ảnh hưởng của độc tố tảo *P. pseudagardhii* đối với tôm cần được thực hiện trong nghiên cứu chuyên sâu hơn trên tôm TCT ở mật độ cao.



Hình 7. Tảo lam *P. pseudagardhii* bám vào mang tôm gây cản trở hô hấp của tôm TCT

Trong nghiên cứu này, hiệu quả của CPVS vẫn còn hạn chế và chủ yếu chỉ làm giảm hoặc kìm hãm sự phát triển của tảo trong thời gian ngắn, khoảng 4 đến 5 ngày, tùy thuộc vào liều lượng sử dụng. Sự gia tăng trở lại của *P. pseudagardhii* cho thấy hiệu quả kiểm soát của CPVS có thể không duy trì khi điều kiện dinh dưỡng và môi trường thuận lợi cho tảo phát triển. Vì vậy, trong thực tiễn nuôi tôm, mật độ tảo, nguồn dinh dưỡng và các chỉ tiêu chất lượng nước cần được theo dõi thường xuyên để có biện pháp quản lý phù hợp. Việc quản lý lượng thức ăn, hạn chế tích tụ chất hữu cơ và dinh dưỡng, duy trì chất lượng nước ổn định và sử dụng CPVS phù hợp có thể góp phần hạn chế sự phát triển quá mức về mật số của *P. pseudagardhii*, qua đó làm giảm tác động bất lợi đến môi trường nước và tôm nuôi. Ngoài ra, sự phát triển quá mức của Cyanobacteria có thể làm thay đổi chất lượng nước và thúc đẩy sự hình thành các chất chuyển hóa thứ cấp, trong đó một số loài có khả năng sản sinh độc tố. Sự gia tăng sinh khối và phát triển quá mức của Cyanobacteria làm biến động chất lượng nước, gây mất cân bằng hệ sinh thái và ảnh hưởng bất lợi đến sức khỏe, sinh trưởng của tôm nuôi (Paerl & Otten, 2013; Harke et al., 2016).

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Việc bổ sung *B. subtilis* CM3.1 làm thay đổi thành phần loài và mật độ tảo giữa các nghiệm thức trong thí nghiệm. Ở mật độ 10^4 CFU/mL, *B. subtilis* CM3.1 có khả năng hỗ trợ kiểm soát sự phát triển của tảo lam *P. pseudagardhii*, đồng thời góp phần cải thiện tăng trưởng và tỷ lệ sống của tôm thẻ chân trắng trong điều kiện thí nghiệm.

4.2. Kiến nghị

Trong các nghiên cứu tiếp theo, sự ảnh hưởng của độc tố từ tảo *P. pseudagardhii* đến tỷ lệ sống của tôm và vai trò của *B. subtilis* trong kiểm soát tảo trong hệ thống nuôi tôm TCT cần được tiếp tục làm rõ. Ngoài ra, việc thực hiện các nghiên cứu thử nghiệm trong điều kiện thực tế ao nuôi thương phẩm cần được tiếp tục thực hiện để khuyến cáo sử dụng vi sinh vật kiểm soát tảo gây hại trong nuôi tôm TCT.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Alagarasu, T., Baboonsundaram, A., Ayyaru, G., & Ramasamy, S. S. L. (2021). Influence of oral administration of *Bacillus subtilis* on growth performance and physiological responses in *Litopenaeus vannamei* cultured in low saline waters. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, *13*(6), 1734-1746. https://doi.org/10.1007/s12602-021-09819-y

Anderson, D. M., Fensin, E., Gobler, C. J., Hoeglund, A. E., Hubbard, K. A., Kulis, D. M., Kuzmenko, I., Richlen, M. L., & Solow, A. R. (2021). Marine harmful algal blooms (HABs) in the United States: History, current status and future trends. *Harmful Algae*, *102*, 101975. https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101975

APHA. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23th edition). American Public Health Association, 800 I Street, NW, Washington, DC.

Baharudin, S. N., Hii, K. S., Azmi, N. F. M., Kassim, N. S., Abdullah, N., Teng, S. T., Liu, M., Kuwata, K., Iwataki, M., Gu, H., Lim, P. T., & Leaw, C. P. (2025). High molecular diversity of potentially harmful heterotrophic dinophytes in tropical shrimp aquaculture ponds reveals a new dinophyte *Malayana penaeicida* gen. et sp. nov. (Peridiniales, Dinophyceae). *Harmful Algae*, *148*, 102906. https://doi.org/10.1016/j.hal.2025.102906

Boyd, E. C., & Tucker, S. C. (1992). *Water quality and pond soil analysis for Aquaculture*. Auburn University, Alabama.

Cira, E. K., & Wetz, M. S. (2019). Spatial-temporal distribution of *Aureoumbra lagunensis* ("brown tide") in Baffin Bay, Texas. *Harmful Algae*, *89*, 101669. https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101669

Cục Thủy sản và Kiểm ngư. (2025). Hiện trạng, định hướng và giải pháp phát triển nuôi tôm nước lợ bền vững, thích ứng với biến đổi khí hậu tại Đồng bằng sông Cửu Long. *Kỷ yếu Hội nghị Diễn đàn Khuyến nông@ Nông nghiệp "Ứng dụng tiến bộ kỹ thuật phát triển nuôi tôm nước lợ bền vững thích ứng với biến đổi khí hậu vùng ĐBSCL"* (trang 6-14).

Curren, E., Yoshida, T., Kuwahara, V. S., & Leong, S. C. Y. (2019). Rapid profiling of tropical marine cyanobacterial communities. *Regional Studies in Marine Science*, *25*, 100485. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2018.100485

Chen, L., Lv, C., Li, B., Zhang, H., Ren, L., Zhang, Q., Zhang, X., Gao, J., Sun, C., & Hu, S. (2021). Effects of *Bacillus velezensis* supplementation on the growth performance, immune responses, and intestine microbiota of *Litopenaeus vannamei*. *Frontiers in Marine Science*, *8*, 744281. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.744281

Djediat, C., Moyenga, D., Malécot, M., Comte, K., Yéprémian, C., Bernard, C., Puiseux-Dao, S., & Edery, M. (2011). Oral toxicity of extracts of the microcystin-containing cyanobacterium *Planktothrix agardhii* to the medaka fish (*Oryzias latipes*). *Toxicon*, *58*(1), 112-122. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2011.05.011

El-Saadony, M. T., Swelum, A. A., Abo Ghanima, M. M., Shukry, M., Omar, A. A., Taha, A. E., Salem, H. M., El-Tahan, A. M., El-Tarabily, K. A., & Abd El-Hack, M. E. (2022). Shrimp production, the most important diseases that threaten it, and the role of probiotics in confronting these diseases: A review. *Research in Veterinary Science*, *144*, 126-140. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.01.009

Ferreira, M. G. P., Melo, F. P., Lima, J. P. V., Andrade, H. A., Severi, W., & Correia, E. S. (2017). Bioremediation and biocontrol of commercial probiotic in marine shrimp culture with biofloc. *Latin American Journal of Aquatic Research*, *45*(1), 167-176. https://doi.org/10.3856/vol45-issue1-fulltext-16

Hai, N. V. (2015). The use of probiotics in aquaculture. *Journal of Applied Microbiology*, *119*(4), 917-935. https://doi.org/10.1111/jam.12886

Harke, M. J., Steffen, M. M., Gobler, C. J., Otten, T. G., Wilhelm, S. W., Wood, S. A., & Paerl, H. W. (2016). A review of the global ecology, genomics, and biogeography of the toxic cyanobacterium, *Microcystis* spp. *Harmful Algae*, *54*, 4-20. https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.12.007

Hiền, H. T. N., Duy, V. M., Hóa, A. V., & Liên, N. T. K. (2025). Ảnh hưởng của môi trường dinh dưỡng lên sự phát triển của tảo *Planktothrix pseudagardhii* phân lập từ ao nuôi tôm thẻ chân trắng. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam*, *2*(162), 108-113.

Hóa, A. V., Hiền, H. T. N., Giang, H. T., & Liên, N. T. K. (2026). Đánh giá chất lượng thịt tôm thẻ chân trắng (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931) trong bể nuôi có bổ sung tảo lam (*Planktothrix pseudagardhii*) gây hại. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*, *24*(3), 299-308. https://doi.org/10.31817/tckhnnvn.2026.24.03.02

Hu, X., Xu, Y., Su, H., Xu, W., Wen, G., Xu, C., Yang, K., Zhang, S., & Cao, Y. (2023). Effect of a *Bacillus* probiotic compound on *Penaeus vannamei* survival, water quality, and microbial communities. *Fishes*, *8*(7), 362. https://doi.org/10.3390/fishes8070362

Kawman, K., Uppabullung, A., Kaewtawee, T., & Sangnoi, Y. (2022). Effect of probiotic used on phytoplankton community structure in white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) pond. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, *25*(2), 39-49. https://doi.org/10.55164/ajstr.v25i2.246044

Keil, C., Forchert, A., Fastner, J., Szewzyk, U., Rotard, W., Chorus, I., & Krätke, R. (2002). Toxicity and microcystin content of extracts from a *Planktothrix* bloom and two laboratory strains. *Water Research*, *36*(8), 2133-2139. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00417-1

Lukwambe, B., Nicholaus, R., Zhang, D., Yang, W., Zhu, J., & Zheng, Z. (2019). Successional changes of microalgae community in response to commercial probiotics in the intensive shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone) culture systems. *Aquaculture*, *511*, 734257. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734257

Lukwambe, B., Qiuqian, L., Wu, J., Zhang, D., Wang, K., & Zheng, Z. (2015). The effects of commercial microbial agents (probiotics) on phytoplankton community structure in intensive white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) aquaculture ponds. *Aquaculture International*, *23*(6), 1443-1455. https://doi.org/10.1007/s10499-015-9895-6

Lyu, T., Yang, W., Cai, H., Wang, J., Zheng, Z., & Zhu, J. (2021). Phytoplankton community dynamics as a metrics of shrimp healthy farming under intensive cultivation. *Aquaculture Reports*, *21*, 100965. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100965

Maa-iad, K., Keawtawee, T., & Seel-audom, M. (2023). Effect of Cyanobacteria *Limnothrix* strain LmTK01 on the survival rate of shrimp *Litopenaeus vannamei* and factors effected on LmTK01 growth. *Burapha Science Journal*, *28*(2), 976-990.

Nayak, S. K. (2021). Multifaceted applications of probiotic *Bacillus* species in aquaculture with special reference to *Bacillus subtilis*. *Reviews in Aquaculture*, *13*(2), 862-906. https://doi.org/10.1111/raq.12503

Nimrat, S., Khaopong, W., Sangsong, J., Boonthai, T., & Vuthiphandchai, V. (2020). Improvement of growth performance, water quality and disease resistance against *Vibrio harveyi* of postlarval whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by administration of mixed microencapsulated *Bacillus* probiotics. *Aquaculture Nutrition*, *26*(5), 1407-1418. https://doi.org/10.1111/anu.13028.

Nimrat, S., Suksawat, S., Boonthai, T., & Vuthiphandchai, V. (2012). Potential *Bacillus* probiotics enhance bacterial numbers, water quality and growth during early development of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Veterinary Microbiology*, *159*(3-4), 443-450. https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2012.04.029

Nguyen, D. G. N., Nguyen, T. G., Nguyen, M. N., Downes, N. K., Nguyen, V. C. N., Le, H. H. A., & Nguyen, H. T. (2022). The diversity of phytoplankton in a combined rice-shrimp farming system in the coastal area of the Vietnamese Mekong Delta. *Water*, *14*(3), 487. https://doi.org/10.3390/w14030487

Nguyen, T. K. L., Phan, T. C. T., Vo, N. S., & Huynh, T. G. (2023). Phytoplankton composition in intensive shrimp ponds in Bac Lieu province, Vietnam. *Fisheries and Aquatic Sciences*, *26*(8), 470-481. https://doi.org/10.47853/FAS.2023.e40

Paerl, H. W. (2014). Mitigating harmful cyanobacterial blooms in a human- and climatically-impacted world. *Life*, *4*(4), 988-1012. https://doi.org/10.3390/life4040988

Paerl, H. W., & Otten, T. G. (2013). Harmful cyanobacterial blooms: Causes, consequences, and controls. *Microbial Ecology*, *65*(4), 995-1010. https://doi.org/10.1007/s00248-012-0159-y

Paerl, H. W., & Tucker, C. S. (1995). Ecology of blue-green algae in aquaculture ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, *26*(2), 109-131. https://doi.org/10.1111/j.1749-345.1995.tb00235.x

Palupi, M., Fitriadi, R., Kasprijo., & Malfa, Y. (2023). Phytoplankton community in vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*) cultivation in intensive ponds. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, *54*(1), 134-146. https://doi.org/10.36103/ijas.v54i1.1684

Palupi, M., Fitriadi, R., Wijaya, R., Raharjo, P., & Nurwahyuni, R. (2022). Diversity of phytoplankton in the whiteleg (*Litopenaeus vannamei*) shrimp ponds in the south coastal area of Pangandaran, Indonesia. *Biodiversitas*, *23*(1), 118-124. https://doi.org/10.13057/biodiv/d230115

Qiao, L., Chang, Z., Li, J., & Chen, Z. (2020). Phytoplankton community succession in relation to water quality changes in the indoor industrial aquaculture system for Litopenaeus vannamei. *Aquaculture*, 527, 735441. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735441

Qiao, L., Chang, Z., Li, J., Chen, Z., Yang, L., & Luo, Q. (2019). Phytoplankton community structure and diversity in the indoor industrial aquaculture system for *Litopenaeus vannamei* revealed by high-throughput sequencing and morphological identification. *Aquaculture Research*, *50*(9), 2563-2576. https://doi.org/10.1111/are.14213

Ren, W., Wu, H., Guo, C., Xue, B., Long, H., Zhang, X., Cai, X., Huang, A., & Xie, Z. (2021). Multi-strain tropical *Bacillus* spp. as a potential probiotic biocontrol agent for large-scale enhancement of mariculture water quality. *Frontiers in Microbiology*, *12*, 699378. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.699378

Reynolds, C. S. (2006). *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press.

Sigee, D. C. (2004). *Freshwater Microbiology*. Wiley. https://doi.org/10.1002/0470011254

Smith, J. L., Boyer, G. L., & Zimba, P. V. (2008). A review of cyanobacterial odorous and bioactive metabolites: Impacts and management alternatives in aquaculture. *Aquaculture*, *280*(1-4), 5-20. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.05.007

Sultana, S., Khan, S., Shaika, N. A., Hena, S. M., Mahmud, Y., & Haque, M. M. (2024). Ecology of freshwater harmful euglenophytes: A review. *Heliyon*, *10*(8), e29625. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29625

Sun, R., Sun, P., Zhang, J., Esquivel-Elizondo, S., & Wu, Y. (2018). Microorganisms-based methods for harmful algal blooms control: A review. *Bioresource Technology*, *248*, 12-20. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.175

Truong, Q. P., Phan, T. C. T., Vu, H. H., Pham, T. T. N., Huynh, T. G., & Vu, N. U. (2021). Isolation of potential probiotic *Bacillus subtilis* CM3.1 and its effect on water quality and growth performance of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in the Mekong Delta, Vietnam. *AACL Bioflux*, *14*(6), 3347-3357.

Wu, D. X., Zhao, S. M., Peng, N., Xu, C. P., Wang, J., & Liang, Y. X. (2016). Effects of a probiotic (*Bacillus subtilis* FY99-01) on the bacterial community structure and composition of shrimp (*Litopenaeus vannamei*, Boone) culture water assessed by denaturing gradient gel electrophoresis and high-throughput sequencing. *Aquaculture Research*, *47*(3), 857-869.

Wu, Z., Yu, Z., Song, X., Jiang, K., Cao, X., & Yuan, Y. (2025). *Bacillus amyloliquefaciens*-modified clay for controlling harmful algal blooms in eutrophic aquaculture ponds. *Frontiers in Microbiology*, *16*, 1550905. https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1550905

Wyban, J. A., & Sweeney, J. N. (1991). *Intensive shrimp production technology: The Oceanic Institute shrimp manual*. The Oceanic Institute.

Yang, W., Zhu, J., Zheng, C., Lukwambe, B., Nicholaus, R., Lu, K., & Zheng, Z. (2020). Succession of phytoplankton community during intensive shrimp (Litopenaeus vannamei) cultivation and its effects on cultivation systems. *Aquaculture*, 520, 734733. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734733

Yusoff, F. M., Zubaidah, M. S., Matias, H. B., & Kwan, T. S. (2002). Phytoplankton succession in intensive marine shrimp culture ponds treated with a commercial bacterial product. *Aquaculture Research*, *33*(4), 269-278. https://doi.org/10.1046/j.1355-557x.2002.00671.x

Zokaeifar, H., Babaei, N., Saad, C. R., Kamarudin, M. S., Sijam, K., & Balcázar, J. L. (2014). Administration of *Bacillus subtilis* strains in the rearing water enhances the water quality, growth performance, immune response, and resistance against *Vibrio harveyi* infection in juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*, *36*(1), 68-74. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2013.10.007