

KHẢ NĂNG SINH TRƯỞNG CỦA VI KHUẨN *Rhodopseudomonas* sp. TRONG CÁC MÔI TRƯỜNG CHỨA NGUỒN CARBON HỮU CƠ KHÁC NHAU VÀ ỨNG DỤNG TRONG XỬ LÝ NƯỚC THẢI NUÔI TRỒNG THỦY SẢN

Lê Văn Tuấn*, Trương Quý Tùng, Đặng Thị Thanh Lộc

Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

* Tác giả liên hệ Lê Văn Tuấn <levantuan@hueuni.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 27-11-2024; Hoàn thành phản biện: 10-01-2025; Ngày chấp nhận đăng: 04-02-2025)

Tóm tắt. Nghiên cứu này đánh giá khả năng sinh trưởng và xử lý nước thải (XLNT) nuôi trồng thủy sản lợ mặn của vi khuẩn quang hợp *Rhodopseudomonas* sp. phân lập được ở ven biển tỉnh Thừa Thiên Huế. Khả năng sinh trưởng của vi khuẩn được thử nghiệm với các nguồn carbon hữu cơ khác nhau, bao gồm natri axetat, sucrose và glucose; khảo nghiệm thực tế trong hai điều kiện nước thải nuôi trồng thủy sản khử trùng (NTKT) và không khử trùng (NT). Kết quả cho thấy *Rhodopseudomonas* sp. đạt hiệu suất xử lý COD cao, giảm 73% trong NTKT và 56% trong NT sau 12 ngày, đồng thời loại bỏ (tổng nitơ amoni) lên đến 90% và P-PO₄³⁻ đạt 71% trong NT. *Rhodopseudomonas* sp. có khả năng sinh trưởng ổn định trong môi trường có độ mặn cao (20‰) và linh hoạt khi sử dụng nhiều nguồn carbon, cho thấy tiềm năng ứng dụng bền vững trong xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản, giảm thiểu ô nhiễm môi trường và bảo vệ hệ sinh thái tự nhiên. Nghiên cứu này không chỉ góp phần phát triển các phương pháp xử lý nước thải bền vững mà còn mở ra hướng ứng dụng vi khuẩn *Rhodopseudomonas* sp. bản địa có hiệu quả cho ngành thủy sản và các hệ thống nước thải công nghiệp có độ mặn cao.

Từ khóa: *Rhodopseudomonas* sp., xử lý nước thải, vi khuẩn quang hợp, nuôi trồng thủy sản

Growth potential of *Rhodopseudomonas* sp. Bacterium in various organic carbon sources and its application in aquaculture wastewater treatment

Le Van Tuan*, Truong Quy Tung, Dang Thi Thanh Loc

Faculty of Environment, University of Sciences, Hue University, Vietnam

* Correspondence to Le Van Tuan <levantuan@hueuni.edu.vn>

(Received: 27 November 2024; Revised: 10 January 2025; Accepted: 04 February 2025)

Abstract. This study assesses the growth potential and aquaculture wastewater treatment capabilities of the photosynthetic bacterium *Rhodopseudomonas* sp., isolated from coastal areas of Thua Thien Hue province. The bacterium's growth ability was tested with various organic carbon sources, including sodium acetate, sucrose, and glucose, and examined under both sterilized and non-sterilized aquaculture wastewater conditions. The results show that *Rhodopseudomonas* sp. achieved a high chemical oxygen demand (COD) removal efficiency, reducing COD by 73% in sterilized wastewater and 56% in non-sterilized wastewater after 12 days. The bacterium also effectively removed up to 90% of total ammonium nitrogen and 71% of phosphate (P-PO₄³⁻) in non-sterilized wastewater.

Rhodopseudomonas sp. exhibited stable growth in high-salinity environments (20‰) and flexibility in utilizing various carbon sources, demonstrating its potential for sustainable aquaculture wastewater treatment (WWT), minimizing environmental pollution, and preserving natural ecosystems. This study not only contributes to developing sustainable WWT methods but also highlights the practical application of native *Rhodopseudomonas* sp. bacteria in aquaculture and other high-salinity industrial wastewater systems.

Keywords: *Rhodopseudomonas* sp., wastewater treatment, photosynthetic bacteria, aquaculture

1 Mở đầu

Ngành nuôi trồng thủy sản (NTTS) đang phát triển nhanh chóng và trở thành một trong những nguồn cung cấp thực phẩm chính cho thế giới. Theo báo cáo của Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp Liên Hợp Quốc (FAO), ngành nuôi trồng thủy sản chiếm một tỷ trọng đáng kể trong tổng GDP [1], phần lớn cung cấp các mặt hàng thủy sản cho nhu cầu địa phương và xuất khẩu [1]. Tuy nhiên, sự gia tăng sản xuất này cũng kéo theo các thách thức về môi trường, đặc biệt là việc quản lý nước thải. Nước thải từ hoạt động nuôi trồng thủy sản chứa một lượng lớn chất hữu cơ (C), nitrogen (N) và photpho (P), những hợp chất có thể gây ô nhiễm nghiêm trọng đến các hệ sinh thái nước, gây ra hiện tượng phú dưỡng và ảnh hưởng xấu đến chất lượng nước, dẫn đến suy giảm chất lượng sống của các loài thủy sản [2, 3].

Một trong những giải pháp tiềm năng cho vấn đề này là sử dụng vi sinh vật để xử lý nước thải. Vi khuẩn quang hợp (VKQH) tím không lưu huỳnh (*Purple Non-Sulfur Bacteria* – PNSB) được coi là nhóm vi khuẩn có tiềm năng lớn trong xử lý nước thải do khả năng quang dị dưỡng, tiêu thụ các hợp chất hữu cơ và cố định CO₂ trong điều kiện thiếu oxy mà không cần sử dụng nước làm nguồn electron, do đó không giải phóng O₂ [4–6]. PNSB có khả năng phát triển trong điều kiện ánh sáng và kỵ khí, đặc biệt phổ biến trong các môi trường như ao nuôi trồng thủy sản, nơi có mức oxy thấp nhưng vẫn có ánh sáng chiếu tới. Các vi khuẩn này có thể sử dụng các hợp chất hữu cơ từ chất thải thức ăn và sản phẩm sinh học từ động vật thủy sản để tăng trưởng, đồng thời loại bỏ các

hợp chất dinh dưỡng (N và P) ra khỏi nước thải [6].

Chi *Rhodopseudomonas* là một trong những đại diện nổi bật của nhóm PNSB, được biết đến với khả năng quang dị dưỡng mạnh mẽ và khả năng sinh trưởng trong nhiều loại môi trường giàu chất hữu cơ. *Rhodopseudomonas* đã được ứng dụng thành công trong xử lý nước thải (XLNT) từ nhiều ngành công nghiệp khác nhau. Bảng 1 thống kê một số kết quả nghiên cứu ứng dụng các vi khuẩn quang hợp, đặc biệt đối với *Rhodopseudomonas* trong XLNT ô nhiễm nặng các chất hữu cơ và dinh dưỡng [7–17].

Bên cạnh đó, *Rhodopseudomonas* còn có khả năng sản xuất sinh khối có giá trị kinh tế cao. Sinh khối vi khuẩn này chứa các hợp chất sinh học như carotenoid và polyhydroxybutyrate, có thể được sử dụng trong nhiều lĩnh vực công nghiệp, từ thực phẩm, mỹ phẩm cho đến sản xuất vật liệu sinh học [5, 7]. Điều này giúp không chỉ giải quyết vấn đề XLNT mà còn tạo ra các sản phẩm phụ có giá trị, góp phần nâng cao hiệu quả kinh tế và thúc đẩy phát triển bền vững.

Nghiên cứu này nhằm đánh giá khả năng sinh trưởng của vi khuẩn *Rhodopseudomonas* sp., một loại VKQH không chứa lưu huỳnh được phân lập từ đầm Lập An thuộc vùng ven biển Thừa Thiên Huế, trong các môi trường chứa các nguồn carbon hữu cơ đa dạng dưới điều kiện ánh sáng và kỵ khí. Nghiên cứu tập trung vào tiềm năng phát triển và ứng dụng của loài vi khuẩn này trong XLNT NTTS, đặc biệt là đối với nước thải lợn mạn – một thách thức lớn trong công nghệ xử lý. Hiện vẫn còn ít công bố về ứng dụng của

Rhodopseudomonas trong xử lý nước thải có độ bền vững, giảm tải ô nhiễm và bảo vệ môi trường NTTS dựa trên nguồn tài nguyên VKQH bản địa.

Bảng 1. Tổng hợp một số nghiên cứu ứng dụng vi khuẩn quang hợp trong XLNT ô nhiễm nặng các hợp chất hữu cơ và dinh dưỡng

STT	Loại nước thải	Loài vi khuẩn	Điều kiện môi trường	Đặc điểm nước thải vào (mg/L)	Hiệu suất xử lý (%)	Tham khảo
1	Nước thải chăn nuôi lợn	<i>Rhodopseudomonas palustris</i>	30 °C 4000 Lux pH 6,8	COD: 18700 TN: 810 TP: 290	COD: 50-90% TP: 58%	[7]
2	Nước thải chế biến cá	<i>Rhodovulum sulfidophilum</i> 30%	30 °C pH 6,3-6,6 2500 Lux	COD: 32000 TKN: 10 TP: 125	COD: 79-83%	[8]
3	Nước thải giết mổ gia cầm	<i>Rubrivivax gelatinosus</i> 1%	30 °C 4000 Lux	-	COD: 91%	[9]
4	Nước thải công nghiệp cá	<i>Rubrivivax gelatinosus</i> 1%	32 °C 1400 Lux	COD: 1127 TN: 813	COD: 52% TN: 22,5%	[10]
5	Nước thải chế biến thực phẩm	<i>Rhodopseudomonas</i> 20%	IR 6,18 W/m ² HRT 10 ngày	COD: 700–9750 TKN: 8,0 pH 3,9–5,7	COD: 51-58%	[11]
6	Nước thải đậu nành tổng hợp	<i>Rhodopseudomonas sphaeroides</i> (160 mg/L, khối lượng khô)	IR 12,73 W/m ² HRT 10 ngày, 33 °C, pH 6 - 8	COD: 560-2620 NH ₃ -N: 3,8-4,1	COD: 70-94%; NH ₃ -N: 40-90%	[12]
7	Nước thải đường tổng hợp	<i>Rhodopseudomonas</i> 20%	500–8000 Lux; DO < 0,5 mg/L	COD: 6000 NH ₃ -N: 400	COD 87 - 95%	[13]
8	Nước thải công nghiệp thực phẩm	<i>Rhodopseudomonas palustris</i> (7,5 × 10 ⁸ CFU/mL)	5000 Lux; HRT 36–96 giờ; 28 °C; pH 7,0 ± 0,2	COD: 3350-7560	COD: 48,8-90,4%	[14]
9	Nước thải sinh hoạt	VKQH làm giàu từ nước thải	30 °C, 2700 Lux pH 6,85	COD: 526 N-NH ₄ : 46 P-PO ₄ ³⁻ : 6,2	COD: 63% N-NH ₄ : 99 P-PO ₄ ³⁻ : 88	[15]
10	Bùn sinh học	<i>Rhodopseudomonas</i> (10 – 30%)	2500–3000 Lux 25-28°C DO < 0,6 mg/L	COD: 908 N-NH ₄ : 264 TN: 284 Salinity: 18‰	COD: 75-99% N-NH ₄ : 80%	[16]
11	Nước thải chế biến gia cầm	VKQH làm giàu từ nước thải	IR 18,7 W/m ² 22 °C HRT 1–2 ngày SRT 2–3 ngày	COD: 4000 TN: 200 TP: 35	COD: 90% TN: 97% TP: 97%	[17]

Ghi chú:
COD: Nhu cầu oxy hóa học (Chemical Oxygen Demand); TN: Tổng nitơ (Total Nitrogen); TP: Tổng photpho (Total Phosphorus); DO: Nồng độ oxy hòa tan (Dissolved Oxygen); TKN: Tổng nitơ Kjeldahl (Total Kjeldahl Nitrogen); HRT: Thời gian lưu thủy lực (Hydraulic Retention Time); SRT: Thời gian lưu bùn (Sludge Retention Time); IR: Cường độ bức xạ (Irradiation Intensity); Lux: Đơn vị đo cường độ ánh sáng; CFU/mL: Số lượng tế bào khuẩn lạc/mL (Colony-Forming Units per milliliter).

2 Phương pháp

2.1 Phương pháp chuẩn bị mẫu vi khuẩn *Rhodopseudomonas* sp.

VKQH *Rhodopseudomonas* sp. là kết quả của quá trình thu thập, phân lập, tạo dòng thuần và định danh từ đề tài nghiên cứu “Nghiên cứu tuyển chọn chủng vi khuẩn quang dưỡng từ vùng ven biển Thừa Thiên Huế để xử lý nước ao nuôi thủy sản” (mã số DHH2023-01-206). Mẫu vi khuẩn *Rhodopseudomonas* sp. được phân lập từ đầm Lập An, tỉnh Thừa Thiên Huế vào tháng 3 năm 2023. Vi khuẩn này được nuôi tăng sinh trong môi trường lỏng DSMZ 27 (bổ sung NaCl 20 g/L), ở điều kiện kỵ khí với cường độ ánh sáng 2400 Lux.

Thành phần môi trường DSMZ 27 bao gồm: cao nấm men (0,3 g/L), Na-succinate (1 g/L), Na-axetat (0,5 g/L), K₂HPO₄ (1 g/L), KH₂PO₄ (0,5 g/L), MgSO₄·7H₂O (0,4 g/L), CaCl₂·2H₂O (0,05 g/L), NH₄Cl (0,4 g/L), vi lượng SL6 (1 mL/L), dung dịch vitamin B12 (0,4 mL/L), nước cất (1000 mL), NaCl (20 g/L), pH (~6,8).

Khuẩn lạc *Rhodopseudomonas* sp. được nuôi cấy trong môi trường lỏng DSMZ 27 bổ sung 10 mg/L Na₂S với một lớp paraffin phủ trên bề mặt nhằm hạn chế tiếp xúc với oxy. Quá trình nuôi cấy được thực hiện ở 28 °C, lắc với tốc độ 120 vòng/phút và chiếu sáng liên tục ở mức 2400 Lux trong 7 ngày. Tăng trưởng sinh khối được đánh giá định kỳ thông qua độ hấp thụ quang ở bước sóng 570 nm [18] bằng máy quang phổ UV1800 (Shimadzu, Nhật Bản). Mật độ tế bào *Rhodopseudomonas* sp. được xác định khoảng 1,1–1,2 × 10⁸ ở pha log và được sử dụng cho các thí nghiệm tiếp theo.

2.2 Bố trí thí nghiệm đánh giá khả năng sinh trưởng của vi khuẩn *Rhodopseudomonas* sp. trong nước thải pha chế với các nguồn carbon khác nhau

Thí nghiệm này được thực hiện nhằm đánh giá hiệu quả sinh trưởng và khả năng hấp thụ các chất hữu cơ, dinh dưỡng của vi khuẩn *Rhodopseudomonas* sp. trong môi trường giàu dinh dưỡng, đồng thời xác định nguồn carbon tối ưu cho sự phát triển của vi khuẩn.

Môi trường nước pha chế bao gồm các thành phần: cao nấm men (1 g/L), NaHCO₃ (1 g/L), MgSO₄·7H₂O (0,5 g/L), K₂HPO₄ (1,0 g/L), và NaCl (20 g/L) để duy trì độ mặn ở mức 20‰. Bốn nguồn carbon hữu cơ khác nhau (3 g/L mỗi loại) gồm natri axetat (C01), sucrose (C02), DL-malic (C03), và glucose (C04) được bổ sung vào môi trường thử nghiệm để so sánh khả năng sinh trưởng của vi khuẩn trong từng điều kiện, qua đó xác định môi trường phù hợp nhất cho sự phát triển của *Rhodopseudomonas* sp. Môi trường thử nghiệm có hàm lượng COD cao (>800 mg/L) và hàm lượng photpho dạng P-PO₄ là 178 mg/L. Để cung cấp nguồn nitơ vô cơ cần thiết cho sự sinh trưởng của vi khuẩn, các dạng N-NH₄ (10 mg/L), N-NO₂ (5 mg/L) và N-NO₃ (50 mg/L) được bổ sung lần lượt từ các hóa chất (NH₄)₂SO₄, NaNO₂ và NaNO₃. Tất cả các hóa chất sử dụng cho thí nghiệm đều là hóa chất tinh khiết.

Môi trường nước pha chế (99 mL) được phân bổ vào các bình thủy tinh dung tích 100 mL. 1 mL dung dịch vi khuẩn *Rhodopseudomonas* sp. đã chuẩn bị trước đó được thêm vào môi trường nước pha chế để đạt mật độ ban đầu khoảng 10⁶ tế bào/mL. Quá trình nuôi diễn ra trong 12 ngày ở điều kiện chiếu sáng liên tục bằng đèn LED (4200 ± 250 Lux) và nhiệt độ phòng (29 ± 1,0 °C). Sự phát triển của vi khuẩn được theo dõi qua chỉ số độ hấp thụ quang (OD) ở bước sóng 570 nm, từ đó xác định tốc độ sinh trưởng dựa trên mối quan hệ tuyến tính giữa OD và mật độ tế bào, giúp so

sánh khả năng tăng sinh với các nguồn carbon khác nhau.

Nguồn carbon thúc đẩy sinh trưởng tốt nhất sẽ được chọn để tiếp tục thử nghiệm khả năng xử lý các chất hữu cơ và dinh dưỡng trong nước thải pha chế. Hàm lượng COD, TAN và P-PO₄ trong môi trường thử nghiệm được đo định kỳ (hàng ngày, cách nhau 24 giờ giữa 2 lần đo), sau khi mẫu đã được ly tâm lạnh (6000 vòng/phút, 4 °C, trong 6 phút) bằng phương pháp chuẩn của APHA (2012). Các thí nghiệm được lặp lại ba lần.

2.3 Bố trí thí nghiệm xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản

Nước thải NTTS được lấy vào ngày 06/3/2024 từ nước xi phông của ao nuôi tôm thẻ chân trắng (30 ngày tuổi) tại trang trại thực nghiệm Phú Hải, Trung tâm Giống – Sở nông nghiệp và Phát triển nông thôn Thừa Thiên Huế, xã Phú Hải, huyện Phú Vang, tỉnh Thừa Thiên Huế. Mẫu nước thải được chứa trong 4 chai nhựa PET sạch (5 L/chai), sau đó vận chuyển ngay đến Phòng thí nghiệm (PTN) Cơ sở của Khoa Môi trường – Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế, và bảo quản ở 4 °C trong điều kiện tối để chuẩn bị cho các khảo nghiệm tiếp theo.

Các thông số chất lượng nước thải gồm nhiệt độ, pH, ORP, EC, độ đục, DO, TDS và độ mặn được đo tại thực địa với ba lần lặp lại, sử dụng máy đo đa chỉ tiêu Horiba U5000. Các thông số TSS, COD, N-NH₄ và P-PO₄ được phân tích ở PTN theo các phương pháp phân tích chuẩn (APHA, 2012) [19].

Trước khi tiến hành các thí nghiệm XLNT, *Rhodopseudomonas* sp. đã được nuôi tăng sinh trong môi trường chứa nguồn carbon hữu cơ C01 (CH₃COONa 3,0 g/L), cao nấm men (1,0 g/L), MgSO₄·7H₂O (0,5 g/L) và K₂HPO₄ (1,0 g/L), cùng các dạng nitơ vô cơ N-NH₄ (10 mg/L), N-NO₂ (5 mg/L) và N-NO₃ (50 mg/L) và bổ sung NaCl để

đạt độ mặn 20‰. Vi khuẩn đạt pha log với mật độ $1,1 \times 10^8$ tế bào/mL. Môi trường nuôi có đặc trưng COD (800 mg/L), N-NH₄ (10 mg/L) và P-PO₄ (178 mg/L).

Thí nghiệm đánh giá khả năng xử lý nước thải của *Rhodopseudomonas* sp. được thực hiện trên hai mẫu: (1) nước thải NTTS chưa xử lý (ký hiệu là NT) và (2) nước thải NTTS đã được khử trùng bằng hấp (121 °C, 1 atm trong 20 phút) (ký hiệu là NTKT). Mỗi mẫu được bổ sung 1 mL dịch vi khuẩn *Rhodopseudomonas* sp. (mật độ $1,1 \times 10^8$ tế bào/mL) vào 99 mL nước thải, và tiến hành khảo sát sự sinh trưởng cùng hiệu quả XLNT tương tự đã mô tả Mục 2.2.

2.4 Phương pháp xử lý số liệu

Sử dụng phần mềm MS. Excel để xử lý và biểu diễn các số liệu thực nghiệm.

Hiệu suất xử lý các tác nhân ô nhiễm được xác định theo công thức (1).

$$\text{Hiệu suất (\%)} = \left[\frac{C_i - C_f}{C_i} \right] \times 100 \quad (1)$$

trong đó C_i là nồng độ chất ô nhiễm (COD, TAN và P-PO₄) ban đầu; C_f là nồng độ chất ô nhiễm (COD, TAN và P-PO₄) sau xử lý.

Tất cả các thí nghiệm đều được lặp lại 3 lần và biểu diễn theo giá trị trung bình.

3 Kết quả

3.1 Khả năng sinh trưởng của vi khuẩn *Rhodopseudomonas* sp. trong nước thải pha chế với các nguồn carbon khác nhau

Thí nghiệm khảo sát ảnh hưởng của các nguồn carbon đến khả năng sinh trưởng của vi khuẩn *Rhodopseudomonas* sp. được tiến hành trong nước thải pha chế có độ mặn 20‰, bổ sung 4 nguồn carbon khác nhau (natri axetat, sucrose, DL-malic và glucose), với mật độ vi khuẩn ban đầu là $1,16 \times 10^6$ tế bào/mL; kết quả được trình bày trên Hình 1. Vi khuẩn *Rhodopseudomonas* sp.

có khả năng thích nghi và sinh trưởng tốt trong nhiều loại nguồn carbon hữu cơ (Hình 1a, b, d). Trong đó, natri axetat (C01) là nguồn carbon hỗ trợ sinh trưởng mạnh nhất, với mật độ tế bào đạt cao nhất vào ngày thứ 10, ở mức OD 570 nm khoảng 0,9 (Hình 1a). Đối với sucrose (C02) và glucose (C04), vi khuẩn sinh trưởng khá tốt, với OD 570 nm dao động từ 0,7 đến 0,8 vào ngày thứ 10 (Hình 1b và 1d). Ngược lại, DL-malic (C03) không hỗ trợ sinh trưởng của vi khuẩn (Hình 1c).

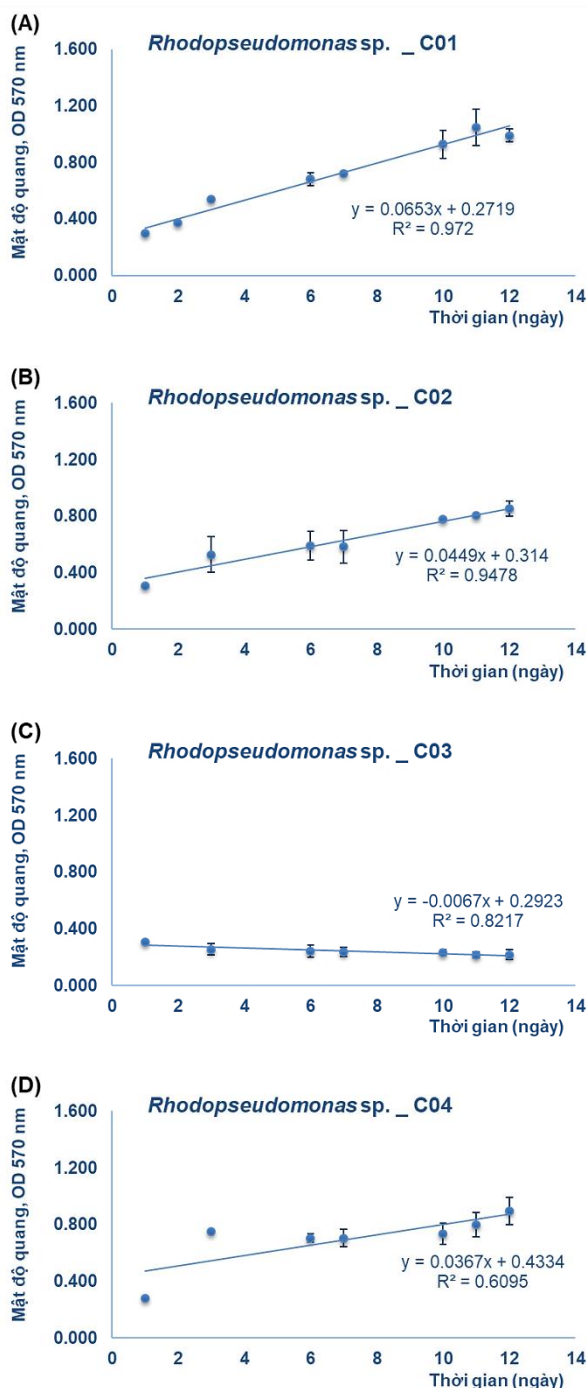
Khả năng sinh trưởng mạnh mẽ của *Rhodopseudomonas* sp. trong natri axetat có thể là do hợp chất này có cấu trúc đơn giản, giúp vi khuẩn dễ dàng hấp thu và chuyển hóa nhanh chóng. Điều này phù hợp với các nghiên cứu trước đây khi *Rhodopseudomonas* sp. phát triển tốt nhất khi bổ sung các hợp chất đơn giản như axetat và đạt hiệu quả cao trong việc loại bỏ COD trong hệ thống XLNT kỵ khí [7–9, 12–14, 16, 17].

Đối với sucrose và glucose, hai nguồn carbon này cần được phân giải thành các đơn vị đơn giản hơn trước khi vi khuẩn có thể hấp thu, dẫn đến tốc độ sinh trưởng chậm hơn so với axetat. Tuy nhiên, khả năng sử dụng các nguồn carbon này cho thấy tính linh hoạt của *Rhodopseudomonas* sp. trong chuyển hóa nhiều loại hợp chất hữu cơ khác nhau.

Ngược lại, DL-malic không phải là nguồn carbon thích hợp cho sự sinh trưởng của *Rhodopseudomonas* sp. Đây là acid hữu cơ phức tạp, yêu cầu quá trình phân giải phức tạp, môi trường pH thấp (<3,5) nên vi khuẩn gặp khó khăn trong hấp thu và chuyển hóa.

Kết quả thí nghiệm xác định natri axetat là nguồn carbon thích hợp cho sự phát triển của *Rhodopseudomonas* sp., tạo cơ sở cho ứng dụng loài này trong XLNT chứa axetat và VFA – các hợp chất phổ biến trong nước thải kỵ khí. Ngoài ra, khả năng sinh trưởng ổn định trên sucrose và glucose cho thấy vi khuẩn này có thể thích ứng với nhiều nguồn carbon khác nhau, kể cả trong

môi trường mặn. Điều này tăng tính linh hoạt trong lựa chọn nguồn carbon, đồng thời tối ưu hoá hiệu quả XLNT, đặc biệt cho các hệ thống nuôi trồng thủy sản và công nghiệp thực phẩm.



Hình 1. Ảnh hưởng của các nguồn carbon hữu cơ: (a) natri axetat; (b) sucrose; (c) DL-malic; (d) glucose đến sinh trưởng của *Rhodopseudomonas* sp. trong nước thải pha chế (độ mặn 20‰; mật độ ban đầu $1,16 \times 10^6$ TB/mL; ánh sáng 4200 ± 250 Lux; nhiệt độ $29 \pm 1,0$ °C)

3.2 Khả năng xử lý chất hữu cơ và dinh dưỡng của *Rhodopseudomonas* sp. trong nước thải pha chế

Thí nghiệm được tiến hành trong 12 ngày để khảo sát hiệu quả xử lý COD và N-NH₄ của *Rhodopseudomonas* sp. trong nước thải pha chế chứa axetat làm nguồn carbon (độ mặn 20‰, mật độ ban đầu $1,16 \times 10^6$ TB/mL, chiếu sáng liên tục 4200 ± 250 Lux, nhiệt độ $29 \pm 1,0$ °C). Kết quả được trình bày trên Hình 2.

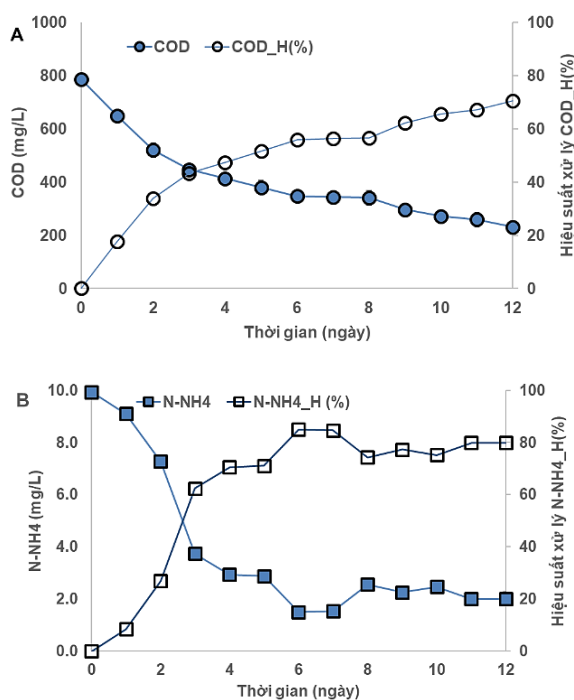
Rhodopseudomonas sp. cho thấy hiệu quả cao trong việc xử lý COD và N-NH₄. Nồng độ COD giảm từ 800 xuống 350 mg/L sau 6 ngày và 230 mg/L sau 12 ngày (Hình 2a), đạt hiệu suất giảm 56% vào ngày thứ 6. Đồng thời, nồng độ N-NH₄ giảm từ 10 xuống 2,0 mg/L sau 6 ngày, đạt hiệu suất loại bỏ khoảng 80% (Hình 2b). Kết quả này cho thấy vi khuẩn có khả năng hấp thu và chuyển hóa hiệu quả các hợp chất hữu cơ và dinh dưỡng trong môi trường mặn, đồng thời chứng minh khả năng thích nghi cao của chúng.

Hiệu quả xử lý COD của *Rhodopseudomonas* sp. khi sử dụng axetat là do cấu trúc đơn giản của hợp chất này, giúp vi khuẩn dễ dàng hấp thu và chuyển hóa nhanh chóng. Các nghiên cứu trước đây cũng ghi nhận khả năng này, đặc biệt khi xử lý các hợp chất đơn giản như axetat, mang lại hiệu quả cao trong hệ thống XLNT.

Việc giám sát kể nồng độ N-NH₄ trong nước thải của *Rhodopseudomonas* sp. cũng có ý nghĩa quan trọng. Amoni là hợp chất nitơ có độc tính cao đối với sinh vật thủy sinh, gây ức chế hô hấp, làm giảm trao đổi chất và ảnh hưởng đến sự tăng trưởng. Hơn nữa, N-NH₄ dễ chuyển hóa thành nitrit (NO₂⁻) và nitrat (NO₃⁻), góp phần thúc đẩy hiện tượng phú dưỡng, gây suy giảm oxy và ô nhiễm nguồn nước. Nghiên cứu khẳng định vai trò của VKQH, trong đó có *Rhodopseudomonas* sp., trong việc hấp thu và chuyển hóa hiệu quả các hợp chất nitơ, giúp kiểm soát nguy cơ ô nhiễm nitơ trong các hệ thống XLNT [5, 12, 15–17]. Đặc

biệt, khả năng xử lý N-NH₄ của PNSB trong điều kiện kỵ khí và thiếu oxy là một lợi thế lớn, giúp giảm tải lượng nitơ mà không cần bổ sung các tác nhân oxy hóa, từ đó giúp tiết kiệm năng lượng.

Kết quả nghiên cứu này cho thấy tiềm năng ứng dụng của *Rhodopseudomonas* sp. bản địa trong XLNT, đặc biệt là trong các hệ thống NTTS và công nghiệp, nơi amoni và COD là những yếu tố gây ô nhiễm chính.



Hình 2. Hiệu quả xử lý COD và N-NH₄ của *Rhodopseudomonas* sp. trong nước thải pha chế (độ mặn 20‰) sử dụng axetat làm nguồn carbon

3.3 Đặc trưng nước thải nước xi phông của ao nuôi tôm thẻ chân trắng

Nước thải NTTS được lấy từ nước xi phông của ao nuôi tôm thẻ chân trắng (30 ngày tuổi) tại Trại thực nghiệm Phú Hải, huyện Phú Vang, tỉnh Thừa Thiên Huế. Kết quả phân tích chất lượng nước (Bảng 2) cho thấy các chỉ tiêu COD, N-NH₄ và TSS lần lượt đạt 800, 13,2 và 215 mg/L, đều vượt quá giới hạn cho phép theo quy chuẩn xả thải đối với nước thải thủy sản.

COD cao phản ánh sự có mặt của một lượng lớn chất hữu cơ trong nước thải, làm tăng nhu cầu tiêu thụ oxy và có thể dẫn đến thiếu oxy cho các sinh vật thủy sinh trong môi trường tiếp nhận. Nồng độ N-NH₄ vượt ngưỡng có thể gây độc cho sinh vật thủy sinh, đồng thời chuyển hóa thành nitrit và nitrat, làm tăng nguy cơ phú dưỡng hóa. TSS cao làm giảm độ trong của nước, cản trở quá trình quang hợp và ảnh hưởng tiêu cực đến sinh vật thủy sinh. DO ở mức 3,3 mg/L, tuy chưa quá thấp, nhưng có thể giảm mạnh do

nhu cầu oxy từ các quá trình phân hủy chất hữu cơ, gây nguy cơ suy giảm chất lượng môi trường.

Với các chỉ tiêu COD, N-NH₄ và TSS đều vượt quá quy chuẩn thải, nước thải từ ao nuôi tôm nếu không được xử lý hiệu quả có thể gây ô nhiễm hữu cơ, tăng nguy cơ phú dưỡng và tác động tiêu cực đến hệ sinh thái thủy sinh. Việc kiểm soát và xử lý các chỉ tiêu này là cần thiết để đảm bảo chất lượng nước và tuân thủ quy định về môi trường.

Bảng 2. Đặc điểm chất lượng nước thải xi phông của ao tôm thẻ chân trắng 30 ngày nuôi

Thông số	Đơn vị	Giá trị TB (n = 3)	(*)QCVN 02-19: 2014/ BNNPTNT	(**)QCVN 40:2011/BTNMT	
				A	B
Nhiệt độ	°C	30,3 ± 0,1	-	40	40
pH	-	8,28 ± 0,02	5,5 - 9	6 - 9	5,5 - 9
Độ đục	NTU	68,6 ± 0,1	-	-	-
Độ mặn	‰	21,9 ± 0,1	-	-	-
DO	mg/L	3,3 ± 0,1	-	-	-
ORP	mV	181 ± 1			
TSS	g/L	215 ± 1	<100	50	100
COD	mg/L	850 ± 15	<150	75	150
N-NH ₄	mg/L	13,2 ± 0,2	-	5	10
P-PO ₄ ³	mg/L	0,22 ± 0,01	-	-	-

Ghi chú:

(*)QCVN 02-19: 2014/ BNNPTNT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nuôi tôm nước lợ do Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn ban hành. Trích quy định Bảng 2: Chất lượng nước thải từ ao xử lý nước thải trước khi thải ra môi trường bên ngoài.

(**)QCVN 40:2011/BTNMT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải công nghiệp do Bộ Tài nguyên và Môi trường ban hành. Trích quy định Bảng 1: Cột A và B quy định giá trị C của các thông số ô nhiễm trong nước thải công nghiệp khi xả vào nguồn nước (A) dùng và (B) không dùng cho mục đích cấp nước sinh hoạt.

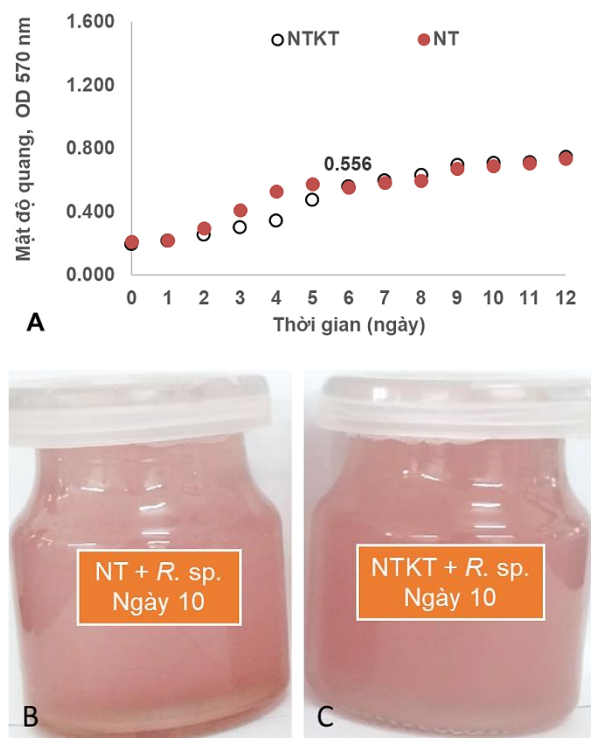
3.4 Khả năng sinh trưởng của *Rhodopseudomonas* sp. trong nước thải nuôi trồng thủy sản

Hình 3 trình bày khả năng sinh trưởng của *Rodopseudomonas* sp. trong nước thải lấy từ ao nuôi tôm thẻ chân trắng ở 2 điều kiện: nước thải chưa xử lý sơ bộ và nước thải đã khử trùng. Thí nghiệm được thực hiện với mật độ ban đầu $1,12 \pm$

$0,23 \times 10^6$ TB/mL, ở nhiệt độ 30 ± 1 °C, chiếu sáng liên tục bằng đèn Led với cường độ 4200 ± 250 Lux. Kết quả cho thấy *Rhodopseudomonas* sp. sinh trưởng khá tốt trong cả hai điều kiện NT và NTKT (Hình 3b và 3c). Sau 5 ngày, chỉ số OD 570 nm trong cả hai loại nước thải đạt 0,5–0,6 và tiếp tục tăng nhẹ trong những ngày nuôi tiếp theo (Hình 3a).

Rhodopseudomonas sp. có khả năng sinh trưởng ổn định trong cả nước thải không khử trùng và nước thải khử trùng, cho thấy vi khuẩn có thể thích nghi tốt với các môi trường chứa hợp chất phức tạp mà không cần xử lý sơ bộ.

Sự có mặt của vi sinh vật bản địa trong NT tạo ra cả thách thức và cơ hội, khi vừa cạnh tranh dinh dưỡng, vừa hỗ trợ phân giải các hợp chất hữu cơ, góp phần nâng cao hiệu quả xử lý. Trong điều kiện thực tế, NT phản ánh rõ tiềm năng ứng dụng của *Rhodopseudomonas* sp., đặc biệt khi kết hợp tương tác giữa vi sinh vật bản địa và vi khuẩn bổ sung, từ đó phát triển các giải pháp xử lý nước thải bền vững và hiệu quả hơn.

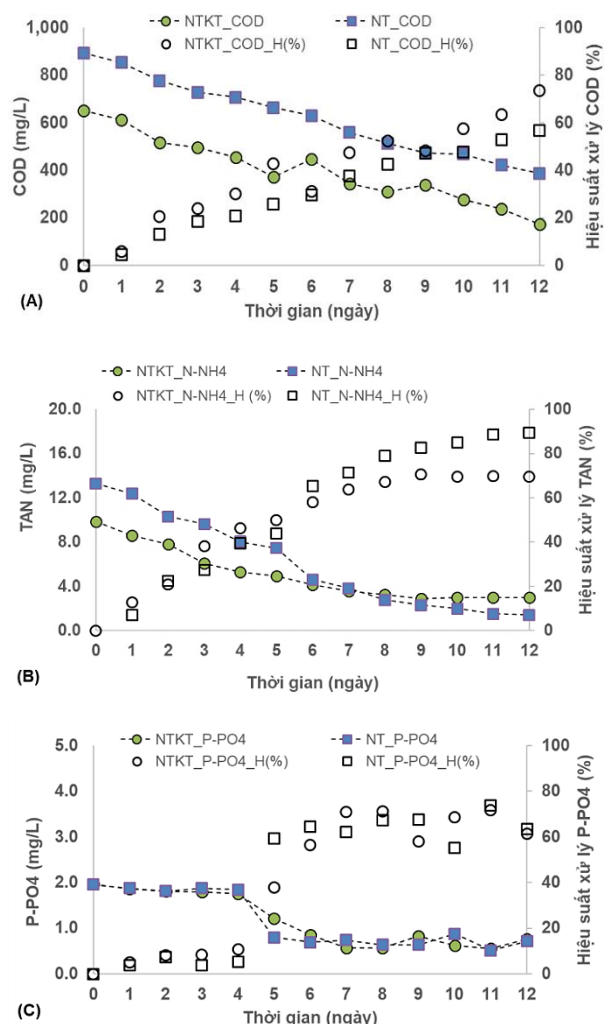


Hình 3. (A) Khả năng sinh trưởng của vi khuẩn *Rhodopseudomonas* sp. trong nước thải nuôi trồng thủy sản theo thời gian, (B) Ảnh chụp với mẫu không khử trùng (ngày 10) và (C) đã khử trùng (ngày 10)

3.5 Khả năng xử lý chất hữu cơ và dinh dưỡng của vi khuẩn *Rhodopseudomonas* sp. trong nước thải nuôi trồng thủy sản

Trong thí nghiệm này, *Rhodopseudomonas* sp. được nuôi cấy với tỷ lệ 1 mL vi khuẩn có mật độ

$1,1 \times 10^8$ tế bào/mL pha vào 99 mL nước thải. Nước thải được sử dụng bao gồm cả loại: nước thải chưa khử trùng và nước thải đã khử trùng (Hình 3). Tỷ lệ này tương tự với tỷ lệ cấy giống trong thí nghiệm trước với nước thải pha chế. Trong môi trường nước thải pha chế, *Rhodopseudomonas* sp. đã cho thấy hiệu quả xử lý hữu cơ và dinh dưỡng đáng kể khi sử dụng natri axetat làm nguồn carbon chính. Đối với nước thải NTTS – chứa nhiều hợp chất hữu cơ phức tạp và các chất ô nhiễm cao – *Rhodopseudomonas* sp. vẫn duy trì hiệu quả xử lý cao (Hình 4).



Hình 4. Hiệu quả xử lý COD, TAN và $P-PO_4^{3-}$ của *Rhodopseudomonas* sp. trong nước thải NTTS theo thời gian, với các điều kiện khử trùng và không khử trùng, mật độ ban đầu của vi khuẩn $1,1 \times 10^6$ tế bào/mL

Hình 4a biểu diễn sự giảm COD do *Rhodopseudomonas* sp. hấp thu và sinh trưởng theo thời gian, trong hai điều kiện NTKT và NT. COD ban đầu của nước thải thủy sản là khoảng 850 mg/L. Trong NTKT, sau quá trình hấp khử trùng, COD giảm đáng kể, đạt mức 650 mg/L. Sau 12 ngày, COD giảm còn 173 mg/L trong NTKT (tương ứng mức giảm 73,4%) và 387 mg/L trong NT (giảm 56%). Kết quả này cho thấy khả năng chuyển hóa chất hữu cơ ổn định của vi khuẩn trong nước thải thủy sản mặn (20‰) và mức ô nhiễm hữu cơ cao.

Hiệu quả xử lý các chất dinh dưỡng TAN và P-PO₄ trong NTKT và NT được biểu diễn lần lượt ở Hình 4b và Hình 4c. Nồng độ TAN ban đầu trong nước thải thủy sản là 13,2 mg/L. Trong NTKT, quá trình hấp khử trùng cũng làm giảm nhẹ TAN do một phần amoni (NH₃) có thể bay hơi hoặc chuyển hóa dưới nhiệt độ cao. Nồng độ TAN giảm nhanh sau 6 ngày, sau đó giảm chậm dần đến ngày thứ 12, đạt 3,0 mg/L trong NTKT (giảm 70%) và 1,4 mg/L trong NT (giảm 90%). Kết quả này cho thấy *Rhodopseudomonas* sp. có khả năng hấp thu và chuyển hóa amoni cao trong cả hai điều kiện.

Xu hướng giảm P-PO₄ do *Rhodopseudomonas* sp. hấp thu cũng được ghi nhận ở mức độ vừa phải (Hình 4c). Nồng độ P-PO₄ trong nước thải thủy sản là 0,22 mg/L, nhưng được bổ sung thêm 1 mL giống trong môi trường Stock có P-PO₄ rất cao (178 mg/L). Hàm lượng P-PO₄ ban đầu sau khi cho giống vào môi trường nước thải có giá trị 1,98 ± 0,02 mg/L. Quá trình hấp khử trùng không làm giảm P-PO₄. Hàm lượng P-PO₄ giảm rõ rệt ở sau ngày thứ 4 đến thứ 7 của quá trình nuôi cấy. Sau 7 ngày nuôi cấy, P-PO₄³⁻ giảm còn 0,57 mg/L trong NTKT (giảm 71%) và 0,74 mg/L trong NT (giảm 67%). Điều này cho thấy *Rhodopseudomonas* sp. có khả năng hấp thu photphat khá hiệu quả trong cả hai điều kiện.

Kết quả nghiên cứu cho thấy *Rhodopseudomonas* sp. có khả năng xử lý hiệu quả nước thải có độ mặn cao, minh chứng cho tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong xử lý nước thải thủy sản và các lĩnh vực liên quan. Việc sử dụng chủng *Rhodopseudomonas* sp. phân lập từ Đầm Lập An đặc biệt hữu ích vì đây là chủng bản địa, dễ thích nghi với điều kiện tự nhiên của khu vực.

4 Kết luận

Nghiên cứu này đã minh chứng *Rhodopseudomonas* sp. bản địa là một chủng vi khuẩn quang hợp tiềm năng cho XLNT NTTS có độ mặn cao, nhờ khả năng thích nghi linh hoạt và sinh trưởng tốt trong nhiều loại nguồn carbon khác nhau. Vi khuẩn này không chỉ phát triển mạnh với natri axetat – nguồn carbon tối ưu – mà còn duy trì khả năng sinh trưởng ổn định khi sử dụng các nguồn carbon khác như sucrose và glucose, cho thấy tính linh hoạt trong chuyển hóa hợp chất hữu cơ.

Trong điều kiện nước thải xi phông với nồng độ chất ô nhiễm cao, *Rhodopseudomonas* sp. đạt hiệu suất giảm COD lên tới 73,4% trong nước thải khử trùng và 56% trong nước thải không khử trùng. Khả năng loại bỏ TAN và P-PO₄³⁻ cũng ấn tượng, lần lượt đạt 90% và 71% trong nước thải không khử trùng. Khả năng thích nghi tốt ngay cả khi có sự cạnh tranh với vi sinh vật bản địa làm nổi bật tiềm năng ứng dụng rộng rãi của *Rhodopseudomonas* sp. trong các hệ thống XLNT thủy sản và công nghiệp khác. Kết quả nghiên cứu này không chỉ góp phần vào phát triển các phương pháp XLNT bền vững mà còn gợi ý những ứng dụng sinh học *Rhodopseudomonas* sp., giúp giảm thiểu ô nhiễm môi trường và tăng cường hiệu quả trong quản lý nguồn nước của ngành thủy sản.

Lời cảm ơn: Công trình này được Đại học Huế hỗ trợ trong đề tài mã số DHH2023-01-206.

Mâu thuẫn lợi ích: Không có mâu thuẫn nào liên quan đến việc xuất bản bài báo này.

Tài liệu tham khảo

1. FAO. *The state of world fisheries and aquaculture: Contributing to food security and nutrition for all*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2016.
2. Luo W, Deng X, Zeng W, Zheng D. Treatment of wastewater from shrimp farms using a combination of fish, photosynthetic bacteria, and vegetation. *Desalination and Water Treatment*. 2012;47(1):221-7.
3. Huang L, Li M, Ngo HH, Guo W, Xu W, Du B, et al. Spectroscopic characteristics of dissolved organic matter from aquaculture wastewater and its interaction mechanism to chlorinated phenol compound. *Journal of Molecular Liquids*. 2018;263:422-7.
4. Imhoff JF, Hiraishi A, Süling J. Anoxygenic Phototrophic Purple Bacteria. In: Brenner DJ, Krieg NR, Staley JT, Garrity GM, editors. *Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology: Volume Two: The Proteobacteria, Part A Introductory Essays*. Boston, MA: Springer US; 2005. p. 119-32.
5. Puyol D, Barry EM, Hülsen T, Batstone DJ. A mechanistic model for anaerobic phototrophs in domestic wastewater applications: Photo-anaerobic model (PAnM). *Water Research*. 2017;116:241-53.
6. Lu H, Zhang G, Zheng Z, Meng F, Du T, He S. Bio-conversion of photosynthetic bacteria from non-toxic wastewater to realize wastewater treatment and bioresource recovery: A review. *Bioresource Technology*. 2019;278:383-99.
7. Kim MK, Choi K-M, Yin C-R, Lee K-Y, Im W-T, Lim JH, et al. Odorous swine wastewater treatment by purple non-sulfur bacteria, *Rhodospseudomonas palustris*, isolated from eutrophicated ponds. *Biotechnology Letters*. 2004;26(10):819-22.
8. Azad SA, Vikineswary S, Chong VC, Ramachandran KB. *Rhodovulum sulfidophilum* in the treatment and utilization of sardine processing wastewater. *Letters in Applied Microbiology*. 2004;38(1):13-8.
9. Ponsano EHG, Paulino CZ, Pinto MF. Phototrophic growth of *Rubrivivax gelatinosus* in poultry slaughterhouse wastewater. *Bioresource Technology*. 2008;99(9):3836-42.
10. de Lima LKF, Ponsano EHG, Pinto MF. Cultivation of *Rubrivivax gelatinosus* in fish industry effluent for depollution and biomass production. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2011;27(11):2553-8.
11. Chitapornpan S, Chiemchaisri C, Chiemchaisri W, Honda R, Yamamoto K. Photosynthetic bacteria production from food processing wastewater in sequencing batch and membrane photo-bioreactors. *Water Science and Technology*. 2012;65(3):504-12.
12. Prachanurak P, Chiemchaisri C, Chiemchaisri W, Yamamoto K. Biomass production from fermented starch wastewater in photo-bioreactor with internal overflow recirculation. *Bioresource Technology*. 2014;165:129-36.
13. Zhou Q, Zhang P, Zhang G. Biomass and carotenoid production in photosynthetic bacteria wastewater treatment: Effects of light intensity. *Bioresource Technology*. 2014;171:330-5.
14. Liu S, Zhang G, Zhang J, Li X, Li J. Performance, carotenoids yield and microbial population dynamics in a photobioreactor system treating acidic wastewater: Effect of hydraulic retention time (HRT) and organic loading rate (OLR). *Bioresource Technology*. 2016;200:245-52.
15. Hülsen T, Batstone DJ, Keller J. Phototrophic bacteria for nutrient recovery from domestic wastewater. *Water Research*. 2014;50:18-26.
16. Yang A, Zhang G, Meng F, Lu P, Wang X, Peng M. Enhancing protein to extremely high content in photosynthetic bacteria during biogas slurry treatment. *Bioresource Technology*. 2017;245:1277-81.
17. Hülsen T, Hsieh K, Tait S, Barry EM, Puyol D, Batstone DJ. White and infrared light continuous photobioreactors for resource recovery from poultry processing wastewater – A comparison. *Water Research*. 2018;144:665-76.
18. Thi Minh Nguyet N, Phuong Ha H, Van Quyen D, Ngoc Huong Tra N, Nhi Cong LT. Degradation of naphthalene and pyrene by several biofilm-forming photosynthesis purple bacterial strains. *Vietnam Journal of Biotechnology*. 2020;18(3):561-70.

19. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater (22nd ed). Washington DC: American Public Health Association; 2012.