

PHÂN LẬP, TUYỂN CHỌN VI KHUẨN TÍA QUANG HỢP CÓ KHẢ NĂNG XỬ LÝ SULFIDE VÀ CHẤT HỮU CƠ

Lê Thị Kim Chi^{1*}, Lê Mậu Bình¹, Nguyễn Ngọc Khánh¹, Hoàng Hà Mỹ Á², Nguyễn Đức Huy²

¹Trung tâm Nghiên cứu, Chuyển giao công nghệ và Đổi mới sáng tạo, Sở Khoa học và Công nghệ Quảng Trị
²Viện Công nghệ sinh học, Đại học Huế

* Tác giả liên hệ Lê Thị Kim Chi <kimchi11sh@gmail.com>

(Ngày nhận bài: 03-10-2025; Hoàn thành phản biện: 26-12-2025; Ngày chấp nhận đăng: 07-01-2026)

Tóm tắt. Nghiên cứu đã tiến hành phân lập vi khuẩn tía quang hợp (VKTQH) từ mẫu nước và bùn ao nuôi tôm tại xã Cửa Tùng, Bến Hải, Cửa Việt, tỉnh Quảng Trị nhằm đánh giá khả năng xử lý sulfide, chất hữu cơ của các chủng vi khuẩn phân lập. Kết quả đã tuyển chọn được 02 chủng ký hiệu QH07 và QH35 có khả năng loại bỏ sulfide lần lượt là 88,86%; 86,05% và 02 chủng ký hiệu QH09 và QH42 có hiệu suất xử lý chất hữu cơ lần lượt là 59,40% và 56,09% sau 7 ngày nuôi cấy. Cả 04 chủng này đều là Gram âm, khuẩn lạc từ tròn đến tròn đều, có màu từ nâu vàng đến đỏ cam, đỏ tía; kết quả định danh bằng sinh học phân tử cho thấy chủng phân lập QH07 thuộc chi *Cereibacter* và được đặt tên là *Cereibacter* sp. QH07, trong khi chủng QH35 thuộc chi *Rhodobacter* và được đặt tên là *Rhodobacter* sp. QH35. Chủng phân lập QH09 và QH42 thuộc chi *Rhodopseudomonas* và được đặt tên là *Rhodopseudomonas faecalis* QH09 và *R. palustris* QH42. Các chủng vi khuẩn với khả năng xử lý H₂S và chất hữu cơ cao là nguồn vật liệu khởi đầu quan trọng cho quá trình tạo chế phẩm vi sinh xử lý H₂S và chất hữu cơ tồn dư trong nước ao nuôi trồng thủy sản.

Từ khoá: DSMZ 27, vi khuẩn tía quang hợp, *Rhodobacter* sp., *Rhodopseudomonas* sp.

Isolation and application of purple non-sulfur bacteria for sulfide and organic matter removal

Le Thi Kim Chi¹, Le Mau Binh¹, Nguyen Ngoc Khanh¹, Hoang Ha My A², Nguyen Duc Huy^{2*}

¹Center for Research, Technology transfer and Innovation, Department of Science and Technology, Quang Tri, Vietnam

²Institute of Biotechnology, Hue University, Hue, Vietnam

* Correspondence to Le Thi Kim Chi <kimchi11sh@gmail.com>

(Received: 03 October 2025; Revised: 26 December 2025; Accepted: 07 January 2026)

Abstract. The study reported the isolation of purple non-sulfur photosynthetic bacteria (PNSB) from water and sediment samples collected from shrimp ponds in Cua Tung commune, Ben Hai, Cua Viet, Quang Tri province to evaluate the sulfide and organic matter removal capabilities. As a result, two strains, designated QH07 and QH35, demonstrated sulfide removal efficiencies of 88.86% and 86.05%, respectively. Additionally, two strains, designated QH09 and QH42, exhibited organic matter removal efficiencies of 59.40% and 56.09%, respectively, after 7 days of cultivation. All four strains were Gram-negative, forming colonies that ranged from circular to perfectly round, with pigmentation varying from

yellow-brown to orange-red and purple-red. Molecular identification revealed that strain QH07 belonged to *Cereibacter* genus and was named *Cereibacter* sp. QH07, while the isolate QH35 belonged to the genus *Rhodobacter*, and designated as *Rhodobacter* sp. QH35. Strains QH09 and QH42 were classified under the genus *Rhodopseudomonas*, and named *Rhodopseudomonas faecalis* QH09 and *R. palustris* QH42, respectively. The current isolates exhibiting strong activity in H₂S and organic matter removal are important materials to produce bioinoculant products for treatment residual H₂S and organic matter in shrimp pond water.

Keywords: DSMZ 27, purple non-sulfur photosynthetic bacteria, *Rhodobacter* sp., *Rhodopseudomonas* sp.

1 Mở đầu

Nuôi trồng thủy sản là một trong những ngành kinh tế mũi nhọn của Việt Nam, đóng góp quan trọng vào tăng trưởng nông nghiệp và kim ngạch xuất khẩu. Trong đó, nuôi tôm nước lợ, đặc biệt là tôm sú (*Penaeus monodon*) và tôm thẻ chân trắng (*Litopenaeus vannamei*), chiếm tỷ trọng lớn và có xu hướng phát triển theo hướng thâm canh, bán thâm canh nhằm nâng cao năng suất và hiệu quả kinh tế [1,2]. Tại tỉnh Quảng Trị, nuôi tôm nước lợ tập trung chủ yếu ở các vùng ven biển và đầm phá, đóng vai trò quan trọng trong cơ cấu kinh tế nông nghiệp địa phương, song cũng đối mặt với nhiều thách thức về môi trường do điều kiện nuôi ngày càng thâm canh [3].

Sự gia tăng mật độ nuôi và lượng thức ăn sử dụng trong ao tôm dẫn đến tích tụ đáng kể các chất thải hữu cơ, hợp chất nitơ và lưu huỳnh trong môi trường nước và bùn đáy ao. Quá trình phân hủy yếm khí các chất hữu cơ này làm phát sinh các khí độc như amoniac (NH₃) và đặc biệt là hydrogen sulfide (H₂S), gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe và tỷ lệ sống của tôm nuôi [4,5]. Ô nhiễm môi trường nước ao nuôi không chỉ làm giảm năng suất mà còn là nguyên nhân chính làm bùng phát dịch bệnh và suy giảm tính bền vững của nghề nuôi tôm.

Hiện nay, một số biện pháp xử lý ao nuôi sau thu hoạch bao gồm cơ học (tháo cạn nước, nạo vét bùn, phơi đáy ao), hóa học (sử dụng vôi, chlorine hoặc các chất oxy hóa) và sinh học (sử dụng các chủng vi sinh vật có khả năng xử lý các chất tồn dư

trong nước) [6]. Trong đó, các biện pháp cơ học và hóa học tuy có hiệu quả tức thời nhưng thường mang tính ngắn hạn, tiềm ẩn nguy cơ gây ô nhiễm thứ cấp và ảnh hưởng tiêu cực đến hệ sinh thái ao nuôi nếu lạm dụng [4]. Biện pháp sinh học sử dụng các vi sinh vật có lợi để phân hủy chất hữu cơ, chuyển hóa các hợp chất độc hại và tái lập cân bằng sinh thái trong ao nuôi [7]. Do đó, ứng dụng vi sinh vật trong xử lý ao nuôi không chỉ giúp cải thiện chất lượng nước mà còn góp phần giảm chi phí sản xuất và hạn chế tác động xấu đến môi trường xung quanh.

Nhiều nhóm vi sinh vật đã được nghiên cứu và ứng dụng trong xử lý môi trường ao nuôi tôm, bao gồm vi khuẩn dị dưỡng phân hủy chất hữu cơ, vi khuẩn nitrat hóa – khử nitrat, vi khuẩn oxy hóa lưu huỳnh và vi khuẩn quang dưỡng [7,8]. Trong số đó, nhóm vi khuẩn tía quang hợp (VKTQH) được đánh giá có nhiều ưu thế nhờ khả năng sử dụng ánh sáng làm nguồn năng lượng, đồng thời chuyển hóa các hợp chất hữu cơ và các hợp chất chứa lưu huỳnh như sulfide trong điều kiện yếm khí [9].

Vi khuẩn tía quang hợp là nhóm vi khuẩn quang dưỡng không sinh oxy, sử dụng bacteriochlorophyll làm sắc tố quang hợp, thường có màu hồng đến đỏ tía. Nhóm vi khuẩn này có khả năng sinh trưởng trong môi trường giàu chất hữu cơ, nồng độ oxy thấp và có thể sử dụng sulfide như chất cho điện tử trong quá trình quang hợp, từ đó làm giảm độc tính của môi trường nước ao nuôi [9,10]. Ngoài ra, VKTQH còn tham gia tích cực vào

quá trình phân hủy chất hữu cơ hòa tan, góp phần cải thiện chất lượng nước và bùn đáy ao. Tuy nhiên, khả năng xử lý môi trường của VKTQH phụ thuộc lớn vào đặc tính sinh học của từng chủng và điều kiện môi trường cụ thể. Do đó, phân lập và tuyển chọn các chủng vi khuẩn tía quang hợp có khả năng sinh trưởng tốt, thích nghi với điều kiện địa phương và có hiệu quả cao trong xử lý sulfide và chất hữu cơ là hết sức cần thiết. Đây là cơ sở khoa học quan trọng cho việc phát triển các chế phẩm vi sinh phục vụ xử lý môi trường ao nuôi tôm, góp phần nâng cao hiệu quả và tính bền vững của nghề nuôi tôm.

2 Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1 Thu thập mẫu

Thu 60 mẫu bùn đáy và nước ao nuôi tôm (30 mẫu bùn đáy + 30 mẫu nước ao) từ 10 ao nuôi tự nhiên không sử dụng chế phẩm VKTQH trên địa bàn tỉnh Quảng Trị (các ao nước cấp khu nuôi tôm xã Cửa Tùng; các ao nuôi tôm tự nhiên xã Bến Hải, xã Cửa Việt – tỉnh Quảng Trị). Mẫu bùn đáy được lấy tại vị trí trung tâm ao, ở độ sâu khoảng 5 cm của lớp trầm tích, bằng dụng cụ lấy mẫu đã khử trùng; mỗi ao thu 100 g bùn, cho vào dụng cụ chứa vô trùng và ghi nhãn. Mẫu nước ao được thu tại tầng đáy ao, ngay phía trên lớp bùn đáy, bằng chai vô trùng; mỗi ao thu 100 mL nước sau khi tráng chai bằng nước ao tại điểm lấy mẫu. Mẫu bùn và nước được giữ trong phích đá vuông giữ nhiệt 38 lít (nhựa Việt Nhật), bảo quản lạnh, vận chuyển về Phòng thí nghiệm Trung tâm Nghiên cứu, Chuyển giao công nghệ và Đổi mới sáng tạo và được xử lý trong ngày.

2.2 Sàng lọc chủng VKTQH

Mẫu bùn đáy được làm giàu VKTQH theo phương pháp Winogradsky's được mô tả bởi Esteban và cộng sự [11]. Các mẫu bùn đáy ở các ao khác nhau được cho vào các chai thủy tinh trung

tính trắng Duran 500 mL riêng biệt, bổ sung 5 g CaSO_4 và 10 g cellulose và cho mẫu nước vào trộn đều. Phủ một lớp paraffin với độ dày 1 cm trên bề mặt để ngăn cản sự hoà tan các chất khí vào môi trường nuôi cấy. Nuôi cấy ở nhiệt độ 28-30°C, cường độ chiếu sáng 2.400 - 3.000 Lux. Sau 14 ngày nuôi cấy, lấy 10 mL dung dịch trên cho vào 150 mL môi trường DSMZ-27 (và nuôi cấy cùng điều kiện trong 7 ngày. Môi trường DSMZ-27 (Pfennig medium) được sử dụng để nuôi cấy VKTQH, bao gồm sodium succinate (1,0 g/L), sodium acetate (1,0 g/L), cao nấm men (1,0 g/L), K_2HPO_4 (0,5 g/L), KH_2PO_4 (0,5 g/L), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,4 g/L), $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0,05 g/L), NH_4Cl (0,4 g/L) và NaCl (20,0 g/L). Trong đó, sodium succinate, sodium acetate, K_2HPO_4 , KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, NH_4Cl và NaCl cung cấp bởi công ty Merck (Đức); cao nấm men được cung cấp bởi Himedia (Ấn Độ). Môi trường được bổ sung dung dịch vi lượng SL-6 và vitamin B_{12} (1 mL/L), điều chỉnh pH khoảng 6,8 trước khi tiệt trùng [12]. Trong đó, dung dịch vi lượng SL-6 được pha chế theo công thức của DSMZ từ các hóa chất tinh khiết (Merck, Đức), và vitamin B_{12} được mua từ Sigma-Aldrich (Hoa Kỳ).

Để phân lập chủng VKTQH, 100 μL dung dịch nuôi cấy ở môi trường DSMZ-27 trong 7 ngày ở trên cấy đều trên đĩa thạch chứa môi trường DSMZ-27 agar (bổ sung 2% agar vào môi trường DSMZ-27). Các đĩa thạch được nuôi cấy trong điều kiện kỵ khí bằng cách sử dụng gói tạo kỵ khí AnaeroPack- Anaero của hãng Mitsubishi, cường độ chiếu sáng là 3.000 Lux, nuôi cấy ở nhiệt độ 30 \pm 1°C cho đến khi xuất hiện các khuẩn lạc tròn có màu nâu, hồng đến đỏ tía. Các khuẩn lạc này được tách dòng theo phương pháp cấy ria và tiến hành ủ mẫu dưới điều kiện kỵ khí, chiếu sáng là 3.000 Lux.

2.3 Xác định mật độ tế bào

Lấy 1 khuẩn lạc rời từ các đĩa thạch chứa khuẩn lạc thuần cho vào 40 mL môi trường DSMZ-

27 có bổ sung 10 mg/L Na₂S sau đó cho 1 lớp paraffin dày 1 cm lên bề mặt và nuôi cấy trong tủ lắc ổn nhiệt (FLY-211C, Thượng Hải - Trung Quốc) ở tốc độ 120 rpm, 28-30°C và 3.000 Lux. Sau 7 ngày nuôi cấy, mật độ sinh trưởng của VK được xác định gián tiếp thông qua giá trị hấp thụ quang học tại bước sóng 600 nm (OD₆₀₀) bằng máy đo quang phổ NABI (300, France).

2.4 Hiệu suất loại bỏ lưu huỳnh trong nước

Hiệu suất loại bỏ sulfide của các chủng VKTQH được xác định bằng phương pháp chuẩn độ iodometric, dựa trên nguyên tắc tạo kết tủa sulfide kim loại (CdS/PbS), sau đó hòa tan bằng dung dịch iod và chuẩn độ ngược bằng natri thiosunfat [13].

Các chủng VKTQH được nuôi cấy trong môi trường DSMZ-27 lỏng có bổ sung sulfide với nồng độ ban đầu 10 mg S²⁻/L, trong bình 100 mL, dưới điều kiện kỵ khí, chiếu sáng 3.000 Lux, ở 30±1°C. Mẫu đối chứng (blank) gồm môi trường có bổ sung sulfide nhưng không cấy VK nhằm đánh giá sự biến đổi sulfide không do sinh học.

Sau 7 ngày nuôi cấy, mẫu được lắc đều 1 phút trước khi phân tích. Lấy thể tích mẫu thích hợp (V, chứa 5-20 mg sulfide), bổ sung dung dịch cadmi axetat (PA, Merck) để tạo kết tủa CdS/PbS, để yên 10-15 phút cho kết tủa lắng hoàn toàn. Kết tủa được lọc, rửa bằng nước cất nóng (60-70°C), sau đó chuyển vào bình nón 250 mL. Bổ sung 25-50 mL dung dịch iod 0,01 N, axit hóa bằng 5 mL HCl, rồi chuẩn độ lượng iod dư bằng dung dịch natri thiosunfat 0,01 N cho đến khi mất màu.

Chuẩn độ được thực hiện bằng burette thủy tinh 25 mL (độ chia 0,05 mL); kết quả được kiểm tra chéo bằng máy chuẩn độ Metrohm (Thụy Sĩ). Mỗi mẫu được phân tích ba lần độc lập; kết quả được biểu thị dưới dạng giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn. Sai số được kiểm soát thông qua mẫu trắng và đối chứng song song.

Hàm lượng H₂S (x) tính bằng mg/L theo công thức:

$$x = \frac{(a - b) \cdot 0,17 \cdot 1000}{V}$$

trong đó: a - Lượng dung dịch iod 0,01N, mL; b - Lượng dung dịch natri thiosunfat, mL; V - thể tích nước lấy để phân tích, mL; 0,17 - số mg H₂S tương đương với 1 mL dung dịch iod 0,01N.

2.5 Hiệu suất loại bỏ chất hữu cơ trong nước

Hàm lượng chất hữu cơ trong quá trình thí nghiệm được theo dõi hàng ngày thông qua chỉ tiêu COD, xác định theo phương pháp oxy hóa bằng kali permanganat trong môi trường axit, tuân thủ QCVN 6186:1996 [14]. Hóa chất sử dụng gồm kali permanganat (KMnO₄, ≥99%, Merck, Đức), axit sulfuric (H₂SO₄, 98%, Merck, Đức) và các dung dịch chuẩn được pha bằng nước cất hai lần.

Mẫu nước sau khi thu được lọc qua giấy lọc Whatman số 1 để loại bỏ cặn thô trước khi phân tích. Phản ứng oxy hóa được tiến hành ở nhiệt độ sôi (≈100°C) trong thời gian 10 phút, sau đó làm nguội đến nhiệt độ phòng trước khi chuẩn độ theo quy định của tiêu chuẩn. Các mẫu được phân tích trong vòng 24 giờ sau khi lấy mẫu; trong trường hợp chưa phân tích ngay, mẫu được bảo quản ở 4°C để hạn chế sự biến đổi hàm lượng chất hữu cơ.

Các chủng vi khuẩn tía quang hợp (VKTQH) được nuôi cấy trong môi trường DSMZ-27 dạng dịch thể, có bổ sung hàm lượng chất hữu cơ ban đầu tương đương 400 mgC/L. Mật độ sinh trưởng của VKTQH được xác định gián tiếp thông qua độ hấp thụ quang học của dịch huyền phù tế bào tại bước sóng 600 nm (OD₆₀₀), đo bằng máy quang phổ UV-Vis (Shimadzu UV-1800, Nhật Bản), sử dụng cuvet thạch anh 1 cm; môi trường DSMZ-27 không chứa tế bào được dùng làm mẫu trắng.

Mỗi thí nghiệm được tiến hành với ba lần lặp lại độc lập. Kết quả được biểu thị dưới dạng giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (mean ± SD). Mẫu đối

chúng không bổ sung VKTQH được bố trí song song để đánh giá sự biến đổi COD do các yếu tố phi sinh học.

Hiệu suất loại bỏ COD (%) được tính theo công thức:

$$\text{Hiệu suất loại bỏ COD(\%)} = \frac{\text{COD}_0 - \text{COD}_t}{\text{COD}_0} \times 100$$

trong đó, COD_0 là hàm lượng COD ban đầu và COD_t là hàm lượng COD tại thời điểm t

2.6 Định danh vi khuẩn bằng giải trình tự 16S rRNA

Chủng VKTQH được cấy ria trên đĩa môi trường DSMZ-27 thu lấy khuẩn lạc đơn, sau đó chuyển sang nuôi trong ống nghiệm chứa 5 mL môi trường DSMZ-27 ở điều kiện kỵ khí đặt dưới ánh đèn sợi đốt đến khi OD_{600} đạt 0,8-1,0 thì thu sinh khối [15]. Các đặc điểm hình thái khuẩn lạc và tế bào (màu sắc khuẩn lạc, hình dạng tế bào) được quan sát bằng mắt thường và kính hiển vi quang học ở độ phóng đại 100×. Một số đặc tính sinh lý – sinh hóa đặc trưng của VKTQH được phân tích bao gồm: phản ứng Gram, khả năng sinh trưởng trong điều kiện kỵ khí có chiếu sáng, khả năng sử dụng một số nguồn carbon hữu cơ (acetate, lactate, succinate), khả năng khử sulfide và amoni trong môi trường nuôi cấy. Sau đó, các chủng vi khuẩn được định danh bằng kỹ thuật sinh học phân tử thông qua so sánh trình tự vùng 16S rRNA với thư viện GenBank. DNA tổng số của các chủng vi khuẩn được tách chiết bằng bộ Kit Genomic DNA Extraction (ABT, Việt Nam) theo quy trình hướng dẫn của nhà sản xuất. DNA tổng số sau tách chiết được sử dụng làm khuôn mẫu để khuếch đại PCR vùng 16S rRNA với các primer 27F/1492R [16]. Quá trình khuếch đại PCR với tổng thể tích mỗi phản ứng PCR (50 μL) bao gồm: 25 μL of Go Taq Green 2X Master Mix (Promega, Hoa Kỳ), 5 μL (20 – 100 ng) gDNA khuôn mẫu, 5 μL mỗi primer (10 pmol/ μL) và 15 μL ddH₂O (Promega, Hoa Kỳ). Chu trình nhiệt tiến hành phản ứng PCR: 95°C/ 5 phút; 30 chu kỳ (95°C/ 1 phút, 55°C/ 1 phút, 72°C/ 1

phút, 72°C/ 4 phút) [16,17]. Sản phẩm PCR được giải trình tự nucleotide tại Công ty TNHH DV và TM Nam Khoa (Việt Nam).

Các trình tự DNA thô thu được từ cả hai chiều được kiểm tra chất lượng, cắt bỏ đoạn nền và hiệu chỉnh bằng BioEdit v7.0.5. Trình tự nucleotide của các chủng phân lập và các chủng tham chiếu được căn chỉnh bằng MAFFT v7 (<https://mafft.cbrc.jp/alignment/server/index.html>, ngày truy cập 12/09/2025) với các tham số mặc định. Sau đó, dữ liệu thu nhận được đưa vào phần mềm MEGA 11 để kiểm tra và điều chỉnh thủ công. Cây phát sinh loài của tệp ma trận dữ liệu căn chỉnh của 53 chuỗi trình tự nucleotide được xây dựng dựa theo phân tích Maximum Likelihood (ML) bằng IQ-TREE v.2.1.3 (<http://iqtree.cibiv.univie.ac.at>, ngày truy cập: 15/09/2025) với 2000 ultrafast bootstrap, 1000 lần lặp SH-aLRT. Mô hình tối ưu theo BIC được xác định bằng ModelFinder là: TIM2 + F+ I+ G4. Cây phát sinh loài thu nhận từ phân tích trên được hiển thị bằng Interactive Tree of Life (iTOL) v.6 [13] và hoàn thiện hình ảnh bằng Adobe Illustrator CC 2021.

2.7 Xử lý số liệu

Số liệu thí nghiệm được xử lý bằng Excel và phân tích thống kê bằng SPSS 16.0; kết quả trình bày dưới dạng giá trị trung bình \pm độ lệch chuẩn của ít nhất ba lần lặp. Dữ liệu được kiểm tra phân bố chuẩn (Shapiro–Wilk) và tính đồng nhất phương sai (Levene). Nếu thỏa mãn các giả định, sự khác biệt giữa các nghiệm thức được phân tích bằng one-way ANOVA và kiểm định hậu nghiệm Tukey HSD; nếu không, sử dụng kiểm định phi tham số Kruskal–Wallis kết hợp kiểm định Dunn. Mức ý nghĩa thống kê được xác định tại $p < 0,05$.

3 Kết quả nghiên cứu

3.1 Sàng lọc và phân lập chủng VKTQH

Từ 60 mẫu bùn đáy và nước ao nuôi tôm thuộc các xã Cửa Tùng, Bến Hải, Cửa Việt – tỉnh Quảng Trị đã phân lập được 50 chủng VK, được ký

hiệu từ QH01, QH02, QH03...QH50. Các chủng VK có màu sắc từ nâu vàng, đỏ tía, đỏ nâu, hồng. Quan sát hình thái tế bào dưới kính hiển vi cho thấy các chủng có dạng tế bào khác nhau, bao gồm dạng que, gậy, cầu, oval và hình trứng.

Bảng 1. Đặc điểm các chủng VKTQH phân lập

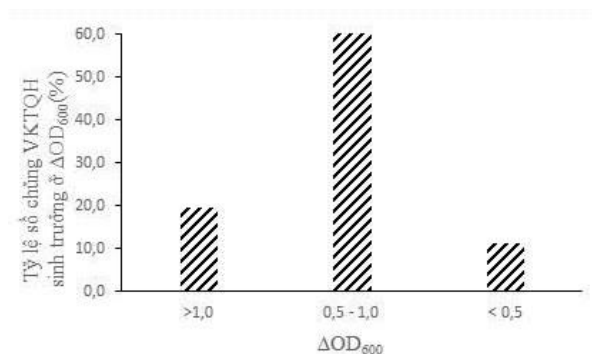
| Địa điểm thu mẫu | Số lượng khuẩn lạc phân lập được | Màu sắc khuẩn lạc | | | | Nhộm Gram | | Hình dạng tế bào | |
|------------------|----------------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------------------|
| | | Đỏ tía | Đỏ nâu | Hồng | Nâu vàng | Gram (-) | Gram (+) | Hình que, gậy | Hình cầu, Oval, trứng |
| Xã Cửa Tùng | 20 | 5 | 7 | 6 | 2 | 14 | 6 | 3 | 17 |
| Xã Bến Hải | 16 | 2 | 6 | 2 | 6 | 10 | 6 | 5 | 11 |
| Xã Cửa Việt | 14 | 4 | 4 | 3 | 3 | 11 | 3 | 4 | 10 |
| Tổng | 50 | 11 | 17 | 11 | 11 | 35 | 15 | 12 | 38 |

Một trong những tiêu chí quan trọng để lựa chọn các chủng VK tạo chế phẩm vi sinh sử dụng trong nuôi trồng thủy sản là chúng phải có khả năng sinh trưởng nhanh, mật độ sinh khối cao. Các chủng VKTQH nghiên cứu được nuôi cấy trong môi trường DSMZ-27 có bổ sung 10 mg/L Na₂S và nuôi cấy trong tủ lắc ổn nhiệt (FLY-211C, Thượng Hải - Trung Quốc) ở tốc độ 120 rpm, 28-30°C và 3.000 Lux. Sau 7 ngày nuôi cấy, huyền phù VK được đo dưới bước sóng 600 nm (OD₆₀₀) bằng máy đo quang phổ NABI (300, France). Kết quả được trình bày ở **Hình 1**.

Từ Hình 1 cho thấy trong số 50 chủng VK nghiên cứu, có 10 chủng có khả năng sinh trưởng (OD₆₀₀) lớn hơn 1,0 (chiếm 20,00%); 35 chủng có khả năng sinh trưởng (OD₆₀₀) dao động từ 0,5-1,0 (chiếm 68,25%) và 05 chủng có khả năng sinh trưởng (OD₆₀₀) thấp hơn 0,5 (chiếm 11,75%). Một nghiên cứu phân lập chủng VK tía từ vùng ven biển thành phố Huế cho kết quả chủng đạt mật độ OD lớn hơn 1, từ 0,5 – 1,0 và bé hơn 0,5 lần lượt là

17,8%, 21,24%, 71,42% với tổng số chủng phân lập được là 28 chủng [18].

Như vậy, 10 chủng VK có ký hiệu QH01, QH04, QH05, QH07, QH09, QH13, QH21, QH34, QH35, QH42 có khả năng sinh trưởng tốt trong môi trường nuôi cấy (giá trị OD₆₀₀ > 1,0) đã được lựa chọn để tiến hành các thí nghiệm tiếp theo.



Hình 1. Khả năng sinh trưởng của các chủng VK nghiên cứu

Từ kết quả **Bảng 2** nhận thấy: Trong số 50 chủng VKTQH phân lập được, khuẩn lạc màu đỏ nâu chiếm tỷ lệ cao nhất (34,0%), trong khi các màu đỏ tía, hồng và nâu vàng có tỷ lệ tương đương nhau (22,0%). Phần lớn các chủng là VK Gram âm (70,0%) và có hình dạng tế bào dạng que hoặc gậy (76,0%), phù hợp với đặc điểm hình thái điển hình của VKTQH.

Nghiên cứu của Phước và cộng sự ghi nhận các chủng VK tía phân lập có khuẩn lạc màu đỏ nhạt đến tím đậm, với sắc tố tế bào đa dạng từ

vàng, đỏ, tím đến xanh lục khi nuôi cấy trong môi trường DSMZ-27 lỏng [19]. Tương tự, Okubo và cộng sự và Del Socorro và cộng sự cũng cho thấy màu sắc khuẩn lạc và hình thái tế bào của VKTQH có sự đa dạng đáng kể, phụ thuộc vào điều kiện nuôi cấy và nguồn phân lập, song nhìn chung đều mang đặc trưng Gram âm và dạng tế bào kéo dài [20, 21]. Sự tương đồng này cho thấy các chủng VKTQH phân lập trong nghiên cứu có đặc điểm hình thái – sinh lý phù hợp với nhóm VKTQH đã được công bố, đồng thời khẳng định độ tin cậy của quá trình phân lập và tuyển chọn chúng.

Bảng 2. Kết quả sàng lọc Vi khuẩn tía quang hợp

| Địa điểm thu mẫu | Ký hiệu chủng | Khuẩn lạc | | | | Nhuộm Gram | Hình thái tế bào | OD ₆₀₀ | |
|------------------|---------------|-----------|-----------|----------|---------|------------|------------------|-------------------|------------|
| | | Hình dạng | Bề mặt | Sắc tố | Màu sắc | | | Khởi đầu | Sau 7 ngày |
| Cửa Tùng | QH05 | Tròn | Nhẵn bóng | Vàng | Đục | (-) | Que | 0,1 | 1,45 |
| | QH07 | Tròn | Lồi | Đỏ tía | Hoi đục | (-) | Cầu | 0,1 | 1,21 |
| | QH13 | Tròn đều | Nhẵn bóng | Hồng | Đục | (-) | Cầu | 0,1 | 1,12 |
| Bến Hải | QH01 | Tròn đều | Lồi | Nâu vàng | Đục | (-) | Que | 0,1 | 1,41 |
| | QH04 | Tròn | Lồi | Nâu vàng | Đục | (-) | Que | 0,1 | 1,41 |
| | QH34 | Tròn đều | Lồi | Nâu vàng | Đục | (-) | Cầu | 0,1 | 1,22 |
| | QH35 | Tròn | Hoi lồi | Nâu vàng | Đục | (-) | Cầu | 0,1 | 1,31 |
| Cửa Việt | QH09 | Tròn | Hoi lồi | Đỏ tía | Hoi đục | (-) | Que | 0,1 | 1,24 |
| | QH21 | Tròn | Hoi lồi | Nâu vàng | Đục | (-) | Que | 0,1 | 1,33 |
| | QH42 | Tròn đều | Lồi | Đỏ cam | Đục | (-) | Que | 0,1 | 1,34 |

3.2 Hiệu quả loại bỏ lưu huỳnh trong nước

Mười chủng VK (QH01, QH04, QH05, QH07, QH09, QH13, QH21, QH34, QH35, QH42)

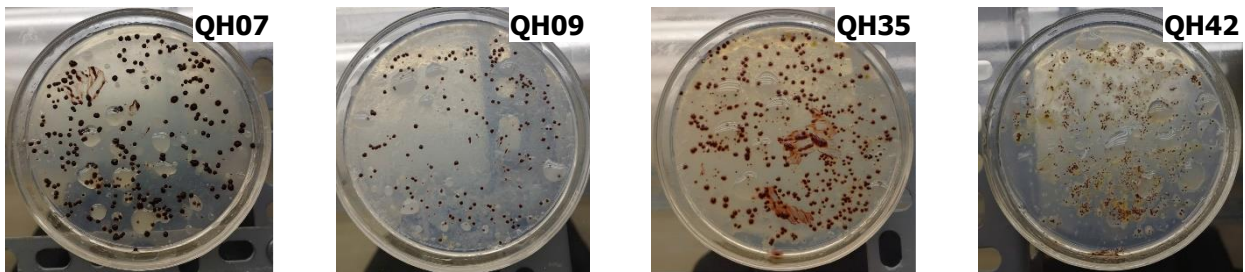
được thử nghiệm khả năng xử lý sulfide trong môi trường nước giả định có bổ sung 10 mg S²⁻/l trong bình nuôi cấy 100 mL. Thí nghiệm được tiến hành trong điều kiện kỵ khí với cường độ ánh sáng 3.000

Lux và nhiệt độ 28-30°C và lấy số liệu sau 7 ngày. Kết quả hàm lượng sulfide còn lại sau 7 ngày được trình bày ở **Bảng 3**.

Kết quả cho thấy, trong điều kiện kỵ khí, với hàm lượng sulfide ban đầu bổ sung 10 mg S²⁻/l, các chủng VK đều có khả năng khử sulfide. Trong đó, 02 chủng QH07 và QH35 có hiệu suất loại bỏ sulfide cao nhất, lần lượt là 88,86% và 86,05%. Chủng QH34 có khả năng khử sulfide thấp nhất, sau 7 ngày, hiệu suất loại bỏ sulfide chỉ đạt 7,42%.

Nghiên cứu của Nagadomi và cộng sự sử dụng các chủng *Rhodobacter sphaeroides* S,

Rhodobacter sphaeroides NR-3 và *Rhodopseudomonas palustris* lượng H₂S giảm từ 51 mg/L xuống < 0,1-0,6 mg/L sau 7 ngày (hiệu suất gần 99,8%) [22]. Hiệu suất cao này là kết quả kết hợp với phương pháp cố định chủng VK bằng alginate trong gồm xốp, chủng VK tía có thể loại bỏ tối đa 2,9 mg/L sulfide trong 1 giờ trong môi trường tổng hợp, còn trong nước thải thực tế thì bị hạn chế nếu thiếu vi lượng đặc biệt là mangan [23]. Qua đó cho thấy muối chủng tuyển chọn của nghiên cứu có tiềm năng cao loại bỏ lưu huỳnh trong nước thải.



Hình 2. Khuẩn lạc chủng QH07, QH09, QH35, QH42

Bảng 3. Kết quả khử sulfide của các chủng VK được tuyển chọn

| Chủng | Hàm lượng sulfide còn lại (mg/l) | Hàm lượng sulfide tiêu thụ (mg/l) | Hiệu suất loại bỏ sulfide (%) |
|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| QH01 | 4,28 ±0,13 ^d | 4,61±0,13 ^b | 51,86 ^b |
| QH04 | 1,66±0,34 ^c | 7,23±0,34 ^c | 81,33 ^c |
| QH05 | 1,75±0,10 ^c | 7,14±0,10 ^c | 80,31 ^c |
| QH07 | 0,99±0,13^a | 7,9±0,13^e | 88,86^e |
| QH09 | 4,61±0,06 ^d | 4,28±0,06 ^b | 48,14 ^b |
| QH13 | 1,77±0,06 ^c | 7,12±0,06 ^c | 80,09 ^c |
| QH21 | 1,40±0,03 ^{abc} | 7,49±0,03 ^{cde} | 84,25 ^{cde} |
| QH34 | 8,23±0,18 ^e | 0,66±0,18 ^a | 7,42 ^a |
| QH35 | 1,24±0,06^{ab} | 7,65±0,06^{de} | 86,05^{de} |
| QH42 | 1,59±0,02 ^c | 7,30±0,02 ^{cd} | 82,11 ^{cd} |
| ĐC MT | 8,89±0,01 ^f | | |

Ghi chú: Các trung bình trong cùng một cột được theo sau bởi một hay những chữ cái giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê trong phép thử Tukey; khác biệt ở mức ý nghĩa 5%.

3.3 Hiệu quả loại bỏ chất hữu cơ trong nước

Mười chủng VK trên tiếp tục được nuôi cấy trong môi trường DSMZ 27 lỏng có bổ sung hàm lượng chất hữu cơ là 400 mgC/L. Mật độ VKTQH được xác định thông qua độ hấp thụ dịch huyền phù tế bào trên máy quang phổ ở bước sóng 600 nm (OD₆₀₀). Hàm lượng chất hữu cơ được theo dõi mỗi ngày thông qua chỉ tiêu COD bằng phương pháp Permanganate (QCVN6186-1996, n.d.).

Kết quả cho thấy, trong 10 chủng nghiên cứu, ở hàm lượng hữu cơ 400 mgC/L được khảo sát, các chủng đều có khả năng xử lý chất hữu cơ khá cao. Hiệu suất loại bỏ chất hữu cơ thấp nhất là chủng ký hiệu QH05 (49,69%) và cao nhất là chủng ký hiệu QH09 (59,40%), tiếp theo là chủng ký hiệu QH42 (56,09%).

Kết quả tương đồng với thí nghiệm của Zhang và cộng sự, hiệu suất xử lý chất hữu cơ của VK tía trong môi trường nước thải tổng hợp đo được sau 11 ngày là 35,9% [24]. Sau 40 ngày lượng chất hữu cơ gần như được loại bỏ hoàn toàn. Nghiên cứu khác của Wada và cộng sự chỉ ra rằng COD được tiêu thụ 70% trong 5 ngày đầu và giảm đáng kể trong giai đoạn tiếp theo cho đến khi bổ sung nitơ [25]. Nguyên nhân được cho rằng nitơ là chất dinh dưỡng giới hạn tăng trưởng khi thiếu yếu tố này thì tốc độ loại bỏ chất hữu cơ của VKTQH giảm. Đồng thời, hầu hết chủng này phân giải carbon chuỗi ngắn qua con đường quang dị dưỡng, nên các hợp chất hữu cơ phức tạp thường được phân hủy qua lên men kỵ khí trước rồi mới được chủng VK làm nguồn cơ chất cho quá trình loại bỏ chất hữu cơ.

Bảng 4. Hiệu suất loại bỏ chất hữu cơ của các chủng VK được tuyển chọn

| Chủng | Ngày 1 | Ngày 2 | Ngày 3 | Ngày 4 | Ngày 5 | Ngày 6 | Ngày 7 | Hiệu suất loại bỏ Cacbon (%) |
|-------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| ĐC | 1017,06 ±0,92 ⁱ | 996,76 ±0,96 ^j | 986,77 ±1,02 ^j | 967,03 ±1,05 ^j | 952,56 ±1,01 ⁱ | 939,12 ±1,03 ^h | 921,00 ±1,02 ⁱ | 9,44 ⁱ |
| QH01 | 919,03 ±1,06 ^a | 873,18 ±1,02 ^b | 795,33 ±1,05 ^c | 679,26 ±0,99 ^d | 489,70 ±1,05 ^a | 438,38 ±1,05 ^a | 432,85 ±1,05 ^d | 52,90 ^d |
| QH04 | 1004,56 ±1,01 ^g | 924,19 ±1,05 ^g | 841,91 ±1,10 ^g | 717,38 ±1,02 ^g | 524,30 ±0,98 ^e | 474,56 ±0,99 ^d | 483,28 ±0,98 ^g | 51,89 ^c |
| QH05 | 988,43 ±1,05 ^f | 919,29 ±1,03 ^f | 837,43 ±1,02 ^f | 711,86 ±1,06 ^f | 513,22 ±1,06 ^e | 469,68 ±1,02 ^c | 497,26 ±0,98 ^h | 49,69 ^a |
| QH07 | 953,84 ±0,97 ^d | 887,02 ±1,06 ^e | 809,94 ±0,98 ^e | 702,23 ±0,98 ^e | 532,26 ±1,06 ^f | 481,74 ±1,04 ^e | 434,04 ±1,02 ^d | 54,50 ^f |
| QH09 | 1009,79 ±1,10 ^h | 964,31 ±0,96 ⁱ | 868,82 ±1,03 ⁱ | 737,66 ±1,02 ⁱ | 576,88 ±1,02 ^h | 520,96 ±1,03 ^g | 409,98 ±1,06 ^a | 59,40ⁱ |
| QH13 | 948,04 ±1,02 ^c | 888,33 ±1,02 ^e | 800,32 ±1,06 ^d | 679,59 ±0,95 ^f | 524,63 ±1,05 ^e | 473,79 ±1,06 ^d | 422,88 ±0,96 ^b | 55,39 ^g |
| QH21 | 932,19 ±1,06 ^b | 876,24 ±1,05 ^c | 789,47 ±1,09 ^b | 670,20 ±1,02 ^b | 517,40 ±1,01 ^d | 467,23 ±0,98 ^c | 429,79 ±0,96 ^c | 53,89 ^e |
| QH34 | 1001,95 ±0,99 ^g | 946,85 ±1,02 ^h | 855,09 ±1,05 ^h | 725,91 ±1,05 ^h | 553,13 ±1,02 ^g | 501,75 ±1,05 ^f | 442,86 ±0,99 ^e | 55,80 ^h |

| Chủng | Ngày 1 | Ngày 2 | Ngày 3 | Ngày 4 | Ngày 5 | Ngày 6 | Ngày 7 | Hiệu suất loại bỏ Cacbon (%) |
|-------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| QH35 | 916,74 ±0,96 ^a | 857,10 ±0,99 ^a | 774,02 ±1,02 ^a | 657,19 ±0,99 ^a | 507,37 ±1,06 ^b | 460,16 ±1,03 ^b | 452,81 ±1,02 ^f | 50,61 ^b |
| QH42 | 958,53 ±1,00 ^e | 879,91 ±1,01 ^d | 794,66 ±1,02 ^c | 674,63 ±1,04 ^c | 534,39 ±0,98 ^f | 479,20 ±1,01 ^e | 420,85 ±0,95 ^b | 56,09 ^h |

Ghi chú: Các trung bình trong cùng một cột được theo sau bởi một hay những chữ cái giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê trong phép thử Tukey; khác biệt ở mức ý nghĩa 5%.

3.4 Định danh phân tử chủng phân lập

Qua kết quả khảo sát khả năng xử lý sulfide, đã chọn được 02 chủng ký hiệu QH07 và QH35 với hiệu suất xử lý sunfide lần lượt là 88,86% và 86,05% và 02 chủng ký hiệu QH09 và QH42 với khả năng xử lý chất hữu cơ lần lượt là 59,40% và 56,09%. Bốn (04) chủng VK này được tiến hành tách chiết DNA tổng số và khuếch đại PCR; Giải trình tự nucleotide vùng 16S rRNA và xây dựng cây phát sinh loài.

Trình tự nucleotide của 4 chủng phân lập sau khi lắp ráp, loại bỏ các vị trí bị lỗi ở đầu 5' và 3' bằng phần mềm BioEdit v7.0.5 sẽ được so sánh với cơ sở dữ liệu trên GenBank bằng công cụ BLASTN. Sau đó, cây phát sinh loài của 4 chủng được xây dựng và trình bày ở hình 3. Kết quả phân tích cho thấy, chủng QH09 nằm cùng nhánh với *R. faecalis*, có độ tương đồng với chủng chuẩn *R. faecalis* gc^T cao (99,1/1/76). Chủng QH42 phân cụm với các chủng *Rhodopseudomonas palustris* ATCC17001^T, JCM2524 và JA576^T với các giá trị hỗ trợ cao (77,2/0,83/94; 79,4/0,95/99). Chủng QH35 hình thành một phân nhóm trong chi *Rhodobacter* có quan hệ gần gũi với các chủng chuẩn *R. azolla* JA912^T, *R. viridis* JA737^T và *R. capulatus* ATCC11166^T. Trong khi đó, chủng QH07 cùng nhóm với *Cereibacter*. Kết hợp so sánh trình tự nucleotide và các đặc điểm về hình thái chủng phân lập QH07 thuộc chi *Cereibacter* và được đặt tên là *Cereibacter* sp. QH07, trong khi chủng QH35 thuộc chi *Rhodobacter* và được đặt tên là *Rhodobacter* sp. QH35. Chủng phân lập QH09 và QH42 thuộc chi *Rhodopseudomonas* và được đặt tên là

Rhodopseudomonas faecalis QH09 và *R. palustris* QH42. Trình tự vùng 16S rRNA của các chủng *Cereibacter* sp. QH07, *Rhodobacter* sp. QH35, *Rhodopseudomonas faecalis* QH09 và *Rhodopseudomonas palustris* QH42 được đăng ký trên GenBank với mã số là PX760190, PX760188, PX760189 và PX760187.

4 Kết luận

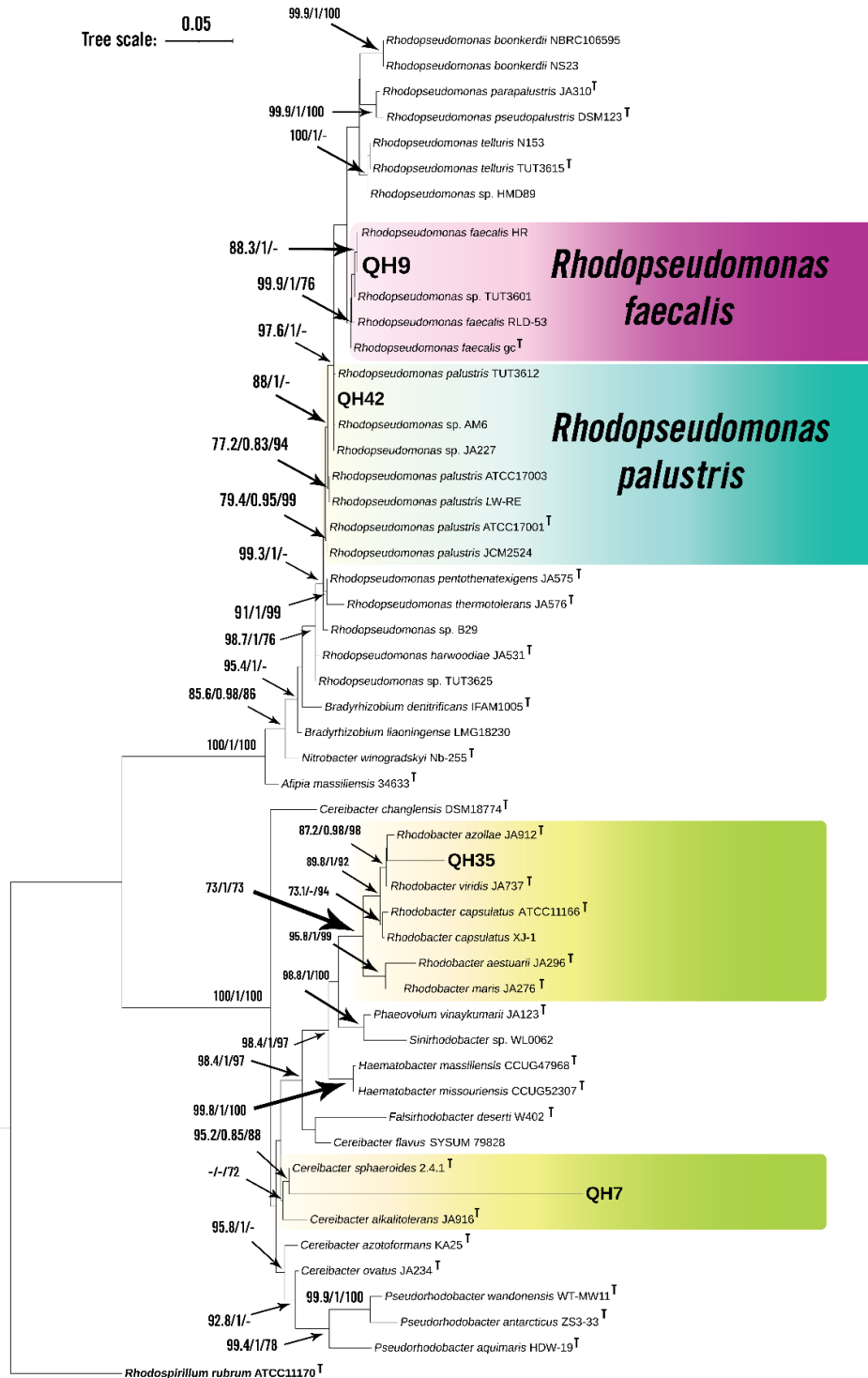
Từ 60 mẫu bùn đáy và nước ao nuôi tôm thu tại các xã Cửa Tùng, Bến Hải, Cửa Việt – tỉnh Quảng Trị đã phân lập được 50 chủng VK quang hợp. Trong 50 chủng phân lập được có 10 chủng (QH01, QH04, QH05, QH07, QH09, QH13, QH21, QH34, QH35, QH42) có khả năng sinh trưởng tốt (giá trị OD₆₀₀ > 1,0) trong môi trường nuôi cấy. Chủng QH07 thuộc chi *Cereibacter* và được đặt tên là *Cereibacter* sp. QH07, chủng QH35 thuộc chi *Rhodobacter* và được đặt tên là *Rhodobacter* sp. QH35 và có khả năng loại bỏ sunfide lần lượt là 88,86% và 86,05% sau 7 ngày nuôi cấy, 02 chủng QH09, QH42 thuộc chi *Rhodopseudomonas* được đặt tên là *R. faecalis* QH09 và *R.s palustris* QH42, có khả năng xử lý chất hữu cơ là 400 mgC/L lần lượt là 59,40% và 56,09% sau 7 ngày nuôi cấy.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được thực hiện bằng kinh phí của Đề tài “Phân lập, tuyển chọn một số chủng vi khuẩn tía quang hợp bản địa có khả năng phân giải H₂S và chất hữu cơ để ứng dụng xử lý môi trường ao nuôi thủy sản”, chúng tôi chân thành cảm ơn Sở

Khoa học và Công nghệ tỉnh Quảng Trị; Trung tâm Nghiên cứu, Chuyển giao công nghệ và Đổi mới sáng tạo và Viện Công nghệ sinh học, Đại học Huế

đã tạo điều kiện về cơ sở vật chất và chuyên môn, góp phần quan trọng vào kết quả của công trình.



Hình 3. Cây phát sinh loài (Maximum Likelihood) của 4 chủng VK đã tuyển chọn so sánh với các chủng tham chiếu từ GenBank dựa trên trình tự vùng 16S rRNA

Tài liệu tham khảo

1. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome: FAO; 2022.
2. Tổng cục Thủy sản. Báo cáo hiện trạng nuôi trồng thủy sản Việt Nam. Hà Nội: Bộ Nông nghiệp và PTNT; 2021.
3. Sở Nông nghiệp và PTNT Quảng Trị. Báo cáo phát triển nuôi trồng thủy sản tỉnh Quảng Trị. Quảng Trị: Sở Nông nghiệp và PTNT Quảng Trị; 2022.
4. Boyd CE. Water Quality for pond aquaculture. Auburn (USA): Auburn University, USA; 1998.
5. Avnimelech Y. Biofloc technology – a practical guide book. World Aquaculture Society; 2009.
6. Hào NV. Kỹ thuật nuôi tôm thâm canh và quản lý môi trường ao nuôi. Hà Nội: NXB Nông nghiệp; 2015.
7. Verschuere L, Rombaut G, Sorgeloos P, Verstraete W. Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2000;64(4):655-71.
8. Tran TT, Bott NJ, Lam ND, Nguyen NT, Dang HT, Le DH, Le LT, Chu HH. The role of *Pseudomonas* in heterotrophic nitrification: A case study on shrimp ponds (*Litopenaeus vannamei*) in Soc Trang Province. *Microorganisms*. 2019;7(6):155.
9. Imhoff JF. The phototrophic purple bacteria. In: *The Prokaryotes*. Springer, New York, USA; 2006.
10. Madigan MT, Bender KS, Buckley DH, Sattley WM, Stahl DA. Brock biology of microorganisms 15th edition. Pearson Education; 2017.
11. Esteban DJ, Hysa B, Bartow-McKenney C. Temporal and spatial distribution of the microbial community of winogradsky columns. *PLOS ONE*. 2015;10(8):e0134588.
12. DSMZ – German collection of microorganisms and cell cultures GmbH. Medium 27: Rhodospirillaceae Medium (modified). DSMZ – Leibniz Institute DSMZ, Braunschweig, Germany; 2007.
13. Pawlak Z, Pawlak AS. Modification of iodometric determination of total and reactive sulfide in environmental samples. *Talanta*. 1999;48(2):347-53.
14. Bộ Khoa học, Công nghệ và Môi trường. QCVN 6186-1996: Chất lượng nước – Xác định nhu cầu oxy hóa bằng permanganat. Hà Nội: Bộ Khoa học, Công nghệ và Môi trường; 1996.
15. Đạt NT, Nga TTH, Khải NM, Đào TT, Mai CTN, Khánh NT, et al. Isolation and application of photosynthetic purple bacteria in textile wastewater treatment. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*. 2023;21(3):345-353.
16. dos Santos HRM, Argolo CS, Argôlo-Filho RC, Loguercio LL. A 16S rDNA PCR-based theoretical to actual delta approach on culturable mock communities revealed severe losses of diversity information. *BMC Microbiology*. 2019;19(1):74.
17. Mukkata K, Kantachote D, Wittayaweerarak B, Techarnjanaruk S, Boonapatcharoen N. Diversity of purple nonsulfur bacteria in shrimp ponds with varying mercury levels. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2016;23(4):478-87.
18. Liên NTT, Hoàng NVH, Thi TVN, Lộc DTT, Tuấn LV, Tùng TQ, et al. Tuyển chọn vi khuẩn quang hợp từ vùng ven biển Thành phố Huế nhằm phát triển sinh khối vi khuẩn giàu protein làm thức ăn chăn nuôi. *Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*. 2025;134(3B):97-110.
19. Phước NN, Quang NN, Anh NĐQ. Phân lập vi khuẩn tía quang hợp từ bùn đáy ao nuôi tôm thẻ chân trắng (*Litopenaeus vannamei*, Boone, 1931) tại Tỉnh Thừa Thiên Huế. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*. 2021;2(6):84-90.
20. Okubo Y, Futamata H, Hiraishi A. Characterization of phototrophic purple nonsulfur bacteria from microbial mats. *Applied and Environmental Microbiology*. 2006;72(9):6225–6233.
21. Del Socorro MML, Mehid JB, Ladion WLB, Teves FG. Purple nonsulfur bacteria (PNSB) isolated from aquatic sediments and rice paddy in Iligan City, Philippines. *Journal of Multidisciplinary Studies*. 2013;1(1):45–58.
22. Nagadomi H, Kitamura T, Watanabe M, Sasaki K. Simultaneous removal of chemical oxygen demand (COD), phosphate, nitrate and H₂S in the synthetic sewage wastewater using porous ceramic immobilized photosynthetic bacteria. *Biotechnology Letters*. 2000;22(17):1369-74.
23. Egger F, Hülsen T, Tait S, Batstone DJ. Autotrophic sulfide removal by mixed culture purple phototrophic bacteria. *Water Research*. 2020;182:115896.
24. Zhang T, Quijano G, Wang M. Fast development of purple nonsulfur bacteria (PNSB) in a bubble column photobioreactor: Influence of carbon source and dissolved O₂ availability on wastewater

- treatment performance. *Journal of Water Process Engineering*. 2024;65:105885.
25. Wada OZ, Onwusogh U, Vincent AS, McKay G, Mackey HR. Valorization of purple non-sulfur bacteria biomass from anaerobic treatment of fuel synthesis process wastewater to microbial protein: a means of enhancing food security in arid climates. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2023;13(18):16569-83.