

TÁC ĐỘNG CỦA CÁC DÒNG VI KHUẨN QUANG DƯỠNG KHÔNG LƯU HUỖNH MÀU TÍA ĐẾN SỨC SỐNG CỦA HẠT RAU MUỐNG

Hà Ngọc Thu^{1,2}, Nguyễn Nguyễn Trần^{1,2}, Lê Thị Mỹ Thu², Nguyễn Đức Trọng²,
Trần Trọng Khôi Nguyễn², Phùng Thị Hằng³, Đỗ Tấn Khang¹, Nguyễn Quốc Khương^{2*}

¹Viện Công nghệ sinh học và Thực phẩm, Đại học Cần Thơ;

²Trường Nông nghiệp, Đại học Cần Thơ;

³Trường Sư phạm, Đại học Cần Thơ.

*Tác giả liên hệ: nqkhuong@ctu.edu.vn

Nhận bài: 15/07/2025 Hoàn thành phản biện: 18/08/2025 Chấp nhận bài: 22/08/2025

TÓM TẮT

Rau muống được biết đến nhiều vì dễ trồng, thời gian thu hoạch ngắn và giá trị dinh dưỡng cao. Nghiên cứu được thực hiện nhằm mục tiêu đánh giá hiệu quả của các dòng vi khuẩn quang dưỡng không lưu huỳnh màu tía (PNSB) đến sức sống hạt rau muống. Thí nghiệm được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với 4 nghiệm thức là các tỷ lệ hòa loãng (không vi khuẩn, 1:1000, 1:1500 và 1:2000) trên 6 dòng đơn vi khuẩn gồm PPDW05, PPDW10, PPDW24, PPRS03, PPSE21, PPSE31 và hỗn hợp 6 dòng. Kết quả cho thấy ở tỷ lệ hòa loãng 1:2000 dòng đơn PPDW05, PPDW10, PPSE31 và hỗn hợp 6 dòng vi khuẩn đạt chiều dài rễ mầm cao nhất (2,53, 2,23, 2,23 và 2,27 cm), nhưng các dòng đơn PPDW24, PPRS03 và PPSE21 đạt chiều dài rễ mầm cao nhất (2,08, 2,06 và 1,89 cm) ở nồng độ 1:1000. Chiều dài chồi mầm đạt tốt nhất ở tỷ lệ 1:2000 đối với dòng đơn và hỗn hợp 6 dòng. Chỉ số sức sống hiệu quả ở tỷ lệ hòa loãng 1:2000 đối với tất cả các dòng, ngoại trừ dòng PPRS03. Ngoài ra, chỉ số tăng sức sống của mầm hiệu quả ở tỷ lệ hòa loãng 1:2000 đối với dòng đơn PPDW05 (74,4%), PPDW10 (51,8%), PPSE31 (60,9%) và hỗn hợp 6 dòng vi khuẩn (66,4%). Các dòng PNSB đều cải thiện nảy mầm và sức sống mầm rau muống ở tỷ lệ pha loãng 1:2000, có tiềm năng cao trong sử dụng để kích thích sinh trưởng cây trồng.

Từ khóa: Nảy mầm, Rau muống, Sức sống mầm, Vi khuẩn quang dưỡng không lưu huỳnh màu tía

IMPACTS OF PURPLE NONSULFUR BACTERIA STRAINS ON SEED VIGOR OF WATER SPINACH

Ha Ngoc Thu^{1,2}, Nguyen Nguyen Tran^{1,2}, Ly Thi My Thu², Nguyen Duc Trong²,
Tran Trong Khoi Nguyen², Phung Thi Hang³, Do Tan Khang¹, Nguyen Quoc Khuong^{2*}

¹Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University;

²College of Agriculture, Can Tho University;

³School of Education, Can Tho University.

*Corresponding author: nqkhuong@ctu.edu.vn

Received: 15/07/2025

Revised: 18/08/2025

Accepted: 22/08/2025

ABSTRACT

Water spinach is known for its easy cultivation, short harvesting duration, and high nutrition. This study aimed to evaluate the effectiveness of strains of purple nonsulfur bacteria (PNSB) on the vigor of water spinach seeds. The experiment was completely randomized with the following dilution rates (no bacteria, 1:1000, 1:1500, and 1:2000) on bacterial applications of PPDW05, PPDW10, PPDW24, PPRS03, PPSE21, and PPSE31 strains, and the 6-strain mixture. The results revealed that at 1:2000 dilution rate, the single strain PPDW05, PPDW10, PPSE31, and 6-strain mixture produced the longest radicles (2.53, 2.23, 2.23, and 2.27 cm), while the strains PPDW24, PPRS03, and PPSE21 had the longest radicles (2.08, 2.06, and 1.89 cm) at the 1:1000 dilution rate. The highest shoots were obtained at 1:2000 for every strain and the 6-strain mixture. The vigor index was great for every strain,

except for the PPRS03. Moreover, the improved vigor index was efficient at 1:2000 dilution rate for PPDW05 (74.4%), PPDW10 (51.8%), PPSE31 (60.9%), and the 6-strain mixture (66.4%). All PNSB strains improved the germination and vigor of water spinach radicles at 1:2000 and thereby are highly potent in applications as plant growth stimulants.

Keywords: Germination, Purple nonsulfur bacteria, Seed vigor, Water spinach

1. MỞ ĐẦU

Rau muống (*Ipomoea aquatica* Forsk.) được trồng tự nhiên ở các vùng nhiệt đới của Châu Phi và Châu Á (Guo và cs., 2020). Ở Việt Nam, rau muống là loại rau ăn lá phổ biến nhất, được dùng trong thực phẩm và thức ăn chăn nuôi (Bui và cs., 2024). Rau muống có tốc độ sinh trưởng nhanh, dễ trồng và giá trị dinh dưỡng cao (Fevria và Aliciafarma, 2021, Nasichin và cs., 2020). Rau muống chứa nhiều hợp chất chuyển hóa thứ cấp có lợi như flavonoid, tannin, polyphenol, steroid, alkaloid, vitamin và khoáng chất (Najjaa và cs., 2020, Roy và cs., 2022, Bui và cs., 2024). Ngoài giá trị dinh dưỡng, rau muống cũng có nhiều hoạt tính sinh học giúp phòng ngừa ung thư, giảm lipid, chống oxy hóa, ngăn chặn quá trình đường hóa, kiểm soát đường huyết và ức chế hoạt động của enzyme α -glucosidase, góp phần đưa rau muống trở thành một loại rau ăn lá thiết yếu (El-Sawi và cs., 2017, Matsuo và cs., 2022). Rau muống được nhân giống bằng hạt và thường được trồng để lấy cả rau mầm và rau lá xanh, yêu cầu hạt giống chất lượng cao để thúc đẩy quá trình nảy mầm và cây con phát triển đồng đều. Tuy nhiên, hạt rau muống thường khó nảy mầm và khó đạt được sự phát triển tốt do lớp vỏ hạt ngủ đông (Ebert và Wu, 2019).

Giai đoạn nảy mầm là bước đầu quan trọng quyết định tỷ lệ sống và sức sinh trưởng của cây ở các giai đoạn tiếp theo (Han và Yang, 2015). Do đó, xử lý hạt giống giúp giai đoạn nảy mầm dễ dàng hơn và nâng cao năng suất cây trồng (Marthandan và cs., 2020). Các phương pháp xử lý hạt giống thông thường như ngâm nước, xử lý nhiệt hoặc rạch vỏ hạt

thường được sử dụng để phá vỡ miên trạng, thúc đẩy quá trình nảy mầm và đảm bảo cây con phát triển đồng đều (Ebert và Wu, 2019).

Gần đây, sản xuất nông nghiệp an toàn đã trở thành xu hướng toàn cầu nhằm giảm sử dụng phân bón hóa học, thuốc trừ sâu, bảo tồn đa dạng sinh học đất và các vi sinh vật có lợi trong đất mà vẫn nâng cao hiệu quả sản xuất (Riaz và cs., 2020, Castiglione và cs., 2021). Vi khuẩn quang dưỡng không lưu huỳnh màu tía (PNSB) có tiềm năng sử dụng trong nông nghiệp vì tính linh hoạt trong hoạt động trao đổi chất và khả năng phát triển trong nhiều điều kiện khác nhau như quang tự dưỡng, quang dị dưỡng và hóa dị dưỡng (Dhar và cs., 2023). PNSB cũng được nghiên cứu với nhiều vai trò tích cực khác nhau như khả năng cố định đạm (Sundar và Chao, 2022, Thu và cs., 2024a), hòa tan lân (Iwai và cs., 2022, Xuan và cs., 2024), phân giải kali (Khuong và cs., 2023a), khả năng tiết ra chất kích thích sinh trưởng như 5-aminolevulinic acid (ALA), indole-3-acetic acid (IAA), và exopolymeric substances (EPS) (Khuong và cs., 2023b), cải thiện khả năng nảy mầm của hạt đậu (Nookongbut và cs., 2020), hạt bắp lai và lúa (Lê Thị Mỹ Thu và cs., 2024). Nhiều nghiên cứu đã chứng minh rằng PNSB có khả năng tổng hợp IAA (Wu và cs., 2025, Anh và cs., 2024), qua con đường indole-3-pyruvate và con đường tryptamine (Spaepen và cs., 2007, Mujahid và cs., 2011). Fatima và cs. (2009) cũng chỉ ra rằng IAA giúp tăng tỷ lệ nảy mầm, hình thành rễ và phát triển của thân cây. Một số dòng PNSB như *Rhodopseudomonas pentothentaxigens* (Khuong và cs., 2023a), A3-5 (Wu và cs., 2025), *Cereibacter sphaeroides* M-SI-09, *Rhodopseudomonas*

thermotolerans M-So-11 và *Rhodopseudomonas palustris* M-So-14 (Thu và cs., 2024b) đã được chứng minh có khả năng tổng hợp IAA với hàm lượng đáng kể. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá hiệu quả của các dòng vi khuẩn quang dưỡng không lưu huỳnh màu tía trong cải thiện sức sống của hạt rau muống.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thời gian và địa điểm nghiên cứu

Thí nghiệm được thực hiện từ ngày 24/2/2025 đến ngày 24/3/2025 tại Khoa Khoa học cây trồng, Trường Nông nghiệp, Đại học Cần Thơ.

2.2. Vật liệu nghiên cứu

Hạt giống: Giống rau muống lá tre RADO 12 của công ty Hạt giống Rạng Đông, có thời gian sinh trưởng 30 - 35 ngày.

Nguồn vi khuẩn: Các dòng vi khuẩn quang dưỡng không lưu huỳnh màu tía gồm PPDW05, PPDW10, PPDW24, PPRS03, PPSE21 và PPSE31 được tuyển chọn từ đất vùng rẫy, bùn đáy mương và nước mương tại Cù Lao Dung (Sóc Trăng) và Đông Hải (Bạc Liêu). Các dòng này được lưu trữ tại Khoa Khoa học cây trồng, Trường Nông nghiệp, Đại học Cần Thơ.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm được bố trí theo phương pháp hoàn toàn ngẫu nhiên với 4 nghiệm thức, mỗi nghiệm thức có 4 lần lặp lại, và mỗi lặp lại là 1 đĩa. Các nghiệm thức gồm các tỷ lệ hòa loãng (Đối chứng là không vi khuẩn, 1:1000, 1:1500 và 1:2000) trên 6 dòng đơn vi khuẩn (PPDW05, PPDW10, PPDW24, PPRS03, PPSE21, PPSE31) và hỗn hợp 6 dòng vi khuẩn. Các tỷ lệ hòa loãng của mỗi dòng PNSB được sử dụng để đánh giá thông qua chỉ số nảy mầm.

2.3.2. Thực hiện thí nghiệm

Các dòng PNSB thử nghiệm được nuôi trong môi trường BIM (pH=7,0) trong điều kiện vi yếm khí sáng. Sau 48 giờ, các dòng vi khuẩn được điều chỉnh mật số tế bào vi khuẩn là 10^8 CFU/mL tương đương với giá trị OD = 0,5 ở bước sóng 660 nm.

Phương pháp hòa loãng là 1 mL của mỗi dòng PNSB đã điều chỉnh mật số và đối chứng (nước cất) được hòa loãng theo tỷ lệ thể tích lần lượt là 1000, 1500 và 2000 mL. Đối với hỗn hợp 6 dòng PNSB, với 0,17 mL cho mỗi dòng đơn được trộn lẫn để cung cấp 1,0 mL hỗn hợp.

Hạt rau muống được khử trùng bằng ethanol 70% trong 3 phút và dung dịch sodium hypochlorite 1% trong 10 phút, sau đó rửa bằng nước cất vô trùng. Sử dụng đĩa petri (100 mm × 15 mm) lót hai lớp giấy lụa ẩm ở đáy, đặt mười hạt rau muống lên trên, phủ thêm hai lớp giấy lụa. Sau đó, thêm 5 mL huyền phù của các dòng PNSB ở các tỷ lệ hòa loãng khác nhau vào từng đĩa và các đĩa petri đã thử nghiệm được ủ ở 30°C trong tủ ủ tối trong 5 ngày (Memmert ICP 450, Đức) (Mia và cs., 2012). Sau khi ủ, xác định tỷ lệ nảy mầm của hạt rau muống trên đĩa, đo chiều dài rễ và chiều dài chồi mầm của tất cả hạt nảy mầm trên mỗi lặp lại, trong đó chiều dài rễ đo từ cổ rễ tới cuối rễ và chiều dài chồi mầm đo từ cổ rễ tới đỉnh mầm (Ng và cs., 2012, Jakubus và Bakinowska, 2018). Quy trình đánh giá của vi khuẩn đến khả năng nảy mầm của hạt rau muống được thực hiện theo phương pháp của Kantha và cs. (2015) và đã được điều chỉnh.

2.3.3. Phương pháp đánh giá mức tăng sức sống hạt rau muống

Các chỉ tiêu đánh giá về nảy mầm và sinh trưởng cây con so với đối chứng như sau:

Tỷ lệ phần trăm hạt nảy mầm (%) = $\frac{\text{Số hạt nảy mầm của nghiệm thức sử dụng chế phẩm vi sinh}}{\text{Số hạt nảy mầm đối chứng}} \times 100$

Tỷ lệ phần trăm phát triển của rễ (%) = (Chiều dài trung bình của rễ mầm trong nghiệm thức sử dụng chế phẩm vi sinh / Chiều dài trung bình của rễ mầm trong nghiệm thức đối chứng) x 100

Chỉ số nảy mầm (%) = [(Tỷ lệ phần trăm hạt nảy mầm x Tỷ lệ phần trăm phát triển của rễ)]/100

Đánh giá tăng trưởng của mầm bằng các dòng PNSB gồm PPDW05, PPDW10, PPDW24, PPRS03, PPSE21 và PPSE31.

Tỷ lệ nảy mầm (%) = [(Tổng số hạt - Tổng số hạt không nảy mầm) x 100]/Tổng số hạt

Chỉ số sức sống (%) = (Trung bình chiều dài rễ mầm + Trung bình chiều dài chồi mầm) x Tỷ lệ nảy mầm

Chỉ số tăng sức sống của mầm (%) = (Chỉ số sức sống của nghiệm thức có sử dụng vi sinh - Chỉ số sức sống của đối chứng) x 100]/Chỉ số sức sống của nghiệm thức đối chứng

Xử lý số liệu: Số liệu được nhập và xử lý bằng chương trình Microsoft Office Excel 2016. Xử lý thống kê số liệu bằng phần mềm SPSS 13.0, phân tích phương sai (ANOVA) để so sánh khác biệt trung bình giữa các nghiệm thức bằng phép kiểm định Duncan.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của các dòng vi khuẩn quang dưỡng không lưu huỳnh màu tía đến chiều dài rễ mầm và chiều dài chồi mầm của hạt rau muống

Dòng đơn PPDW05 ở tỷ lệ hòa loãng 1:2000 có chiều dài rễ mầm cao nhất, với 2,53 cm. Kế đến, tỷ lệ hòa loãng 1:1500 (1,91 cm), tỷ lệ hòa loãng 1:1000 và đối chứng có chiều dài rễ mầm thấp tương đương nhau với 1,62 cm và 1,51 cm, theo thứ tự. Dòng đơn PPDW10 và PPSE31 có chiều dài rễ mầm cao nhất tại tỷ lệ hòa loãng 1:2000 (cùng giá trị 2,23 cm), tiếp theo là tỷ lệ hòa loãng 1:1500 (1,62 - 1,80 cm), thấp hơn là tỷ lệ hòa loãng 1:1000 (cùng giá trị

1,93 cm). Tất cả 3 mức hòa loãng này cao hơn so với đối chứng (1,51 cm). Bên cạnh đó, tỷ lệ hòa loãng 1:1000 của dòng đơn PPDW24 và PPRS03 có chiều dài rễ mầm cao nhất, lần lượt 2,08 cm và 2,06 cm. Tại tỷ lệ 1:1500 và 1:2000 có chiều dài rễ mầm thấp hơn dao động 1,72 - 1,83 cm và 1,65 - 1,72 cm, cao hơn so với đối chứng. Dòng đơn PPSE21 có chiều dài rễ mầm tại tỷ lệ 1:1500 tương đương với tỷ lệ 1:1000, tương tự, tỷ lệ 1:1500 cũng tương đương với tỷ lệ 1:2000, dao động 1,75 - 1,89 cm, nhưng tất cả 3 mức hòa loãng này cao hơn so với đối chứng. Đối với nghiệm thức hỗn hợp các dòng vi khuẩn, các mức tỷ lệ hòa loãng đều cao hơn so với đối chứng với chiều dài rễ cao nhất ở tỷ lệ 1:2000 (2,27 cm), kế đến là tỷ lệ 1:1500 (2,00 cm) và 1:1000 (1,84 cm) (Bảng 1).

Bổ sung dòng đơn PPDW05, PPDW10, PPSE31 và hỗn hợp 6 dòng vi khuẩn ở tỷ lệ 1:2000 hoặc bổ sung từng dòng đơn PPDW24, PPRS03 và PPSE21 ở tỷ lệ hòa loãng 1:1000 đã góp phần cải thiện chiều dài rễ mầm tốt nhất (Bảng 1). Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Iwai và cs. (2022), sử dụng hai dòng *Rhodopseudomonas* sp. Tsuru2 và *Rhodobacter* sp. Tsuru3 trong ngâm hạt lúa giúp cải thiện chiều dài rễ, diện tích bề mặt rễ, số lượng rễ so với đối chứng. Theo Garcia-Lemos và cs. (2020), bổ sung vi khuẩn kích thích sinh trưởng cây trồng *Bacillus* sp. s50 và *Paenibacillus* sp. s37 giúp rễ thứ cấp dài hơn, kích thích đáng kể sự nảy mầm của hạt *Abies nordmanniana* so với đối chứng. Nghiên cứu của Lê Thị Mỹ Thu và cs. (2024), dòng M-SI-09, M-So-11, M-So-14 và hỗn hợp 3 dòng vi khuẩn ở các tỷ lệ pha loãng (1:500, 1:1000, 1:1500, 1:2000, 1:2500 và 1:3000) đều tăng chiều dài rễ của hạt bắp lai và hạt lúa so với đối chứng.

Dòng đơn PPDW05 có chiều dài chồi mầm tương đương nhau (5,60 cm) ở tỷ lệ 1:1500 và 1:2000, và cao hơn tỷ lệ 1:1000

(5,23 cm), thấp nhất ở nghiệm thức đối chứng (4,57 cm). Đối với dòng đơn PPDW10 chiều dài chồi mầm tăng dần theo tỷ lệ hòa loãng và thấp nhất ở nghiệm thức đối chứng. Cụ thể, cao nhất ở tỷ lệ 1:2000, với 5,30 cm, kế đến là 1:1500 và 1:1000, với giá trị 5,00 cm và 4,81 cm, theo thứ tự. Chiều dài chồi mầm của các tỷ lệ hòa loãng của dòng đơn PPDW24 tương đương nhau và cao hơn so với đối chứng, dao động 5,02 - 5,14 cm so với 4,57 cm. Đối với tỷ lệ hòa loãng 1:1500 của dòng đơn PPRS03 có chiều dài chồi mầm tương đương với tỷ lệ 1:1000 và cũng tương đương với đối chứng, với 4,70 cm và 4,57 cm, theo thứ tự và cao nhất ở tỷ lệ 1:2000 (5,35 cm). Tương tự, dòng đơn PPSE21 ở tỷ lệ hòa loãng 1:2000 có chiều dài chồi mầm cao nhất, với 5,22 cm. Ngoài ra, tỷ lệ hòa loãng 1:1500 và 1:1000 của dòng đơn PPSE21 có giá trị tương đương nhau, lần lượt là 4,87 cm và 4,90 cm, thấp hơn so với tỷ lệ hòa loãng 1:2000, nhưng cao hơn so với đối chứng.

Bảng 1. Ảnh hưởng của các dòng vi khuẩn quang dưỡng không lưu huỳnh màu tía đến chiều dài rễ mầm và chiều dài chồi mầm hạt rau muống

Chỉ tiêu	Tỷ lệ hòa loãng (mL/mL)	PPDW05	PPDW10	PPDW24	PPRS03	PPSE21	PPSE31	Hỗn hợp
Chiều dài rễ mầm (cm)	Đối chứng	1,51 ^c	1,51 ^d	1,51 ^d	1,51 ^c	1,51 ^c	1,51 ^d	1,51 ^d
	1:1000	1,62 ^c	1,93 ^b	2,08 ^a	2,06 ^a	1,89 ^a	1,93 ^b	1,84 ^c
	1:1500	1,91 ^b	1,62 ^c	1,83 ^b	1,72 ^b	1,84 ^{ab}	1,80 ^c	2,00 ^b
	1:2000	2,53 ^a	2,23 ^a	1,65 ^c	1,72 ^b	1,75 ^b	2,23 ^a	2,27 ^a
	Mức ý nghĩa	*	*	*	*	*	*	*
	CV (%)	4,68	3,92	3,82	3,37	4,29	3,67	5,01
Chiều dài chồi mầm (cm)	Đối chứng	4,57 ^c	4,57 ^d	4,57 ^b	4,57 ^c	4,57 ^c	4,57	4,57 ^c
	1:1000	5,23 ^b	4,81 ^c	5,04 ^a	4,83 ^b	4,90 ^b	4,63	4,72 ^{bc}
	1:1500	5,60 ^a	5,00 ^b	5,14 ^a	4,70 ^{bc}	4,87 ^b	4,72	4,82 ^b
	1:2000	5,60 ^a	5,30 ^a	5,02 ^a	5,35 ^a	5,22 ^a	4,75	6,10 ^a
	Mức ý nghĩa	*	*	*	*	*	ns	*
	CV (%)	2,56	1,51	1,87	2,26	1,45	3,21	1,97

Hỗn hợp: Hỗn hợp 6 dòng vi khuẩn gồm PPDW05, PPDW10, PPDW24, PPRS03, PPSE21 và PPSE31; a,b,c,d: Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị mức sai khác có ý nghĩa thống kê ở mức $\alpha=0,05$

3.2. Ảnh hưởng của các dòng vi khuẩn quang dưỡng không lưu huỳnh màu tía đến tỷ lệ nảy mầm và chỉ số nảy mầm của hạt rau muống

Dòng đơn PPDW05 có tỷ lệ nảy mầm cao nhất ở tỷ lệ 1:2000, với 80,0%. Tỷ lệ

Bên cạnh đó, đối với dòng đơn PPSE31, chiều dài chồi mầm khác biệt không có ý nghĩa thống kê giữa các tỷ lệ hòa loãng, dao động 4,57 - 4,75 cm. Chiều dài chồi mầm của nghiệm thức hỗn hợp 6 dòng vi khuẩn ở tỷ lệ hòa loãng 1:1000 (4,72 cm) tương đương với nghiệm thức đối chứng (4,57 cm) và cao nhất ở tỷ lệ hòa loãng 1:2000 (6,10 cm) (Bảng 1).

Kết quả này tương đồng với nghiên cứu của Lê Thị Mỹ Thu và cs. (2024), bổ sung dòng đơn M-SI-09 và M-So-11 trên hạt lúa ở tỷ lệ hòa loãng 1:2000 có chiều dài chồi mầm hạt lúa cao nhất (3,77 cm và 3,58 cm, theo thứ tự). Nghiên cứu của Koh và Song (2007), hạt cà chua nảy mầm được xử lý bằng dòng *Rhodopseudomonas* KL9 và BL6 tăng chiều dài chồi mầm so với cây đối chứng. Dòng KL9 tăng chiều dài mầm cà chua lần lượt là 70,8% và 57,7% so với đối chứng.

hòa loãng 1:1500 và 1:1000 có tỷ lệ nảy mầm tương đương nhau, với cùng 67,5%, cao hơn nghiệm thức đối chứng (60,0%). Đối với dòng đơn PPDW10 tỷ lệ nảy mầm cao nhất ở tỷ lệ hòa loãng 1:1000 (85,0%), kế đến ở tỷ lệ hòa loãng 1:1500 và 1:2000

đạt tương đương nhau và cao hơn so với đối chứng, tương ứng 75,0% và 70,0% so với 60,0%. Tỷ lệ nảy mầm ở tỷ lệ hòa loãng 1:2000 của dòng đơn PPDW24 tương đương với tỷ lệ 1:1000, với 75,0 so với 70,0%. Bên cạnh đó, tỷ lệ hòa loãng 1:1500 cũng tương đương với 1:1000 và nghiệm thức đối chứng, dao động 70,0 - 60,0%. Dòng đơn PPRS03 với tỷ lệ hòa loãng 1:1000 và 1:1500 có tỷ lệ nảy mầm từ 75,0 đến 80,0%, cao hơn nghiệm thức đối chứng (60,0%). Tương tự, bổ sung dòng đơn PPSE21, dòng đơn PPSE31 và hỗn hợp 6 dòng vi khuẩn ở các tỷ lệ hòa loãng đều có tỷ lệ nảy mầm cao hơn so với đối chứng, dao động từ 72,5 đến 82,5% (Bảng 2).

Kết quả Bảng 2 cho thấy bổ sung dòng đơn PPSE21 và hỗn hợp 6 dòng vi khuẩn có chỉ số nảy mầm của hạt rau muống tương đương nhau giữa các tỷ lệ hòa loãng, dao động 156,1 - 157,7% và 153,2 - 181,9%, theo thứ tự. Bên cạnh đó, chỉ số nảy mầm của hạt rau muống khác biệt có ý nghĩa thống kê 5% ở các dòng đơn PPDW05, PPDW10, PPDW24, PPRS03 và PPSE31. Cụ thể, dòng đơn PPDW05 và PPSE31 có chỉ số nảy mầm cao nhất ở tỷ lệ hòa loãng 1:2000, với 224,5% và 203,3%. Bên cạnh đó, chỉ số nảy mầm của tỷ lệ hòa loãng 1:1000 tương đương 1:1500, dao động 129,7 - 137,7% (dòng đơn PPDW05) và 154,9 - 155,1% (dòng đơn PPSE31). Trái lại, bổ sung dòng đơn PPDW24 và PPRS03 ở tỷ lệ hòa loãng 1:1000 đạt chỉ số nảy mầm cao nhất, với 166,5% và 182,8%. Ngoài ra, chỉ số nảy mầm ở các tỷ lệ hòa loãng 1:1500 và 1:2000 thấp tương đương nhau với giá trị lần lượt 131,7% và 131,8% (dòng đơn PPDW24) và 128,4% và 133,4% (dòng đơn PPRS03). Bổ sung dòng đơn PPDW10 có chỉ số nảy mầm ở tỷ lệ 1:1000 và 1:2000 tương đương nhau, lần lượt là 182,0% và

172,1% trong khi tỷ lệ hòa loãng 1:1500 có chỉ số nảy mầm thấp nhất, với 121,3%.

Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Koh và Song (2007), tỷ lệ nảy mầm của hạt cà chua được xử lý bằng dòng *Rhodopseudomonas* KL9 (96,8%) cao hơn so với đối chứng không được bổ sung vi khuẩn (73,4%). Các vi khuẩn kích thích sinh trưởng thực vật *Serratia marcescens* AF8I1, *Pseudomonas putida* AF1I1, *Klebsiella aerogenes* AF3II1, *Pseudomonas fluorescens* AF8I4 và *Bacillus cereus* AF8III3 tăng tỷ lệ nảy mầm của hạt cà rốt từ 15,28 đến 56,88% (Fiodor và cs., 2023). Hạt bắp ngâm trong huyền phù vi khuẩn *Mixta theicola* SAR cũng giúp cải thiện 27% khả năng nảy mầm (Hagaggi và Mohamed, 2020). Trong các nghiên cứu của Mahdi và cs. (2020), xử lý hạt *Chenopodium quinoa* Willd bằng vi khuẩn *Bacillus licheniformis* QA1 và *Enterobacter asburiae* QF11 đã tăng tỷ lệ nảy mầm lên 116% và 132% so với đối chứng. Tương tự, Pandey và Gupta (2020) báo cáo rằng, xử lý hạt cà chua bằng dòng *Pseudomonas* sp. S3 giúp tăng tỷ lệ nảy mầm lên 111% so với đối chứng. Hạt giống lúa mạch được xử lý bằng *Pseudomonas punonensis* và *Pseudomonas plecoglossicida* đều có tỷ lệ nảy mầm hạt cao nhất là 94,44%, trong khi xử lý bằng *Pseudomonas aeruginosa* và *Alcaligenes faecalis* có tỷ lệ lần lượt là 83,11% và 77,33% so với cây đối chứng chỉ 49,99% (Divyanshu và cs., 2022). Ngoài ra, theo Brahim và cs. (2022), hai dòng vi khuẩn *Bacillus pumilus* MA9 và *Virgibacillus halodenitrificans* MA14 đã cải thiện tỷ lệ nảy mầm của hạt lúa mì nhờ khả năng tiết auxin, hòa tan lân vô cơ và tổng hợp enzyme ACC deaminase giúp kích thích sự phát triển của cây.

Bảng 2. Ảnh hưởng của các dòng vi khuẩn quang dưỡng không lưu huỳnh màu tía đến tỷ lệ nảy mầm và chỉ số nảy mầm hạt rau muống

Chỉ tiêu	Tỷ lệ hòa loãng (mL/mL)	PPDW05	PPDW10	PPDW24	PPRS03	PPSE21	PPSE31	Hỗn hợp
Tỷ lệ nảy mầm (%)	Đối chứng	60,0 ^c	60,0 ^c	60,0 ^c	60,0 ^c	60,0 ^c	60,0 ^c	60,0 ^b
	1:1000	67,5 ^b	85,0 ^a	70,0 ^{ab}	80,0 ^a	75,0 ^b	72,5 ^b	75,0 ^a
	1:1500	67,5 ^b	75,0 ^b	65,0 ^{bc}	75,0 ^{ab}	82,5 ^a	77,5 ^{ab}	72,5 ^a
	1:2000	80,0 ^a	70,0 ^b	75,0 ^a	67,5 ^{bc}	80,0 ^{ab}	82,5 ^a	72,5 ^a
	Mức ý nghĩa	*	*	*	*	*	*	*
Chỉ số nảy mầm (%)	CV (%)	5,14	5,63	6,05	7,92	5,13	5,92	6,52
	Đối chứng	-	-	-	-	-	-	-
	1:1000	129,7 ^b	182,0 ^a	166,5 ^a	182,8 ^a	156,6	154,9 ^b	153,2
	1:1500	137,7 ^b	121,3 ^b	131,7 ^b	128,4 ^b	157,7	155,1 ^b	155,4
	1:2000	224,5 ^a	172,1 ^a	131,8 ^b	133,4 ^b	156,1	203,3 ^a	181,9
	Mức ý nghĩa	*	*	*	*	ns	*	ns
	CV (%)	4,27	4,35	6,52	8,80	5,40	3,13	3,56

Hỗn hợp: Hỗn hợp 6 dòng vi khuẩn gồm PPDW05, PPDW10, PPDW24, PPRS03, PPSE21 và PPSE31; a,b,c,d: Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị mức sai khác có ý nghĩa thống kê ở mức $\alpha=0,05$

3.3. Ảnh hưởng của các dòng vi khuẩn quang dưỡng không lưu huỳnh màu tía đến chỉ số sức sống và chỉ số tăng sức sống của hạt rau muống

Đối với dòng đơn PPDW05 và PPSE31 chỉ số sức sống cao nhất ở tỷ lệ hòa loãng 1:2000, với 6,36% và 5,87%, theo thứ tự. Ở tỷ lệ hòa loãng 1:1500 và 1:1000 chỉ số sức sống tương đương nhau, với 4,82 - 5,05% và 4,71 - 4,79%, cao hơn so với đối chứng, với 3,64%. Trong khi đó, tỷ lệ hòa loãng 1:1000 của dòng đơn PPRS03 có chỉ số sức sống cao nhất, với 5,53%. Kể đến tỷ lệ hòa loãng 1:1500 và 1:2000 có chỉ số sức sống tương đương nhau, với 4,35% và 4,58%. Bổ sung dòng đơn PPDW10 với tỷ lệ hòa loãng 1:1500 có chỉ số sức sống đạt 4,18%, thấp hơn tỷ lệ hòa loãng 1:1000 và 1:2000, với 5,70% và 5,53% và cao hơn so với đối chứng (3,64%). Chỉ số sức sống của dòng đơn PPSE21 ở các tỷ lệ hòa loãng có giá trị cao tương đương nhau và cao hơn đối chứng, dao động 5,07 - 5,36%. Tương tự, dòng đơn PPDW24 ở các tỷ lệ hòa loãng cũng có giá trị cao hơn nghiệm thức đối chứng. Cụ thể, chỉ số sức sống của hạt rau muống ở tỷ lệ hòa loãng 1:1000 tương đương với 1:1500 và 2000, với 4,85 tương

đương với 4,44% và 5,00%, theo thứ tự. Đối với nghiệm thức hỗn hợp 6 dòng vi khuẩn, chỉ số sức sống cao nhất ở tỷ lệ hòa loãng 1:2000 (6,06%), kể đến là tỷ lệ 1:1000 (5,25%) và cao hơn so với tỷ lệ 1:1500 (4,75%), đối chứng là nghiệm thức có giá trị thấp nhất (Bảng 3).

Bổ sung dòng đơn PPDW05 và PPSE31 ở tỷ lệ 1:2000 có chỉ số tăng sức sống của mầm cao nhất, với 74,4% và 60,9%, theo thứ tự. Kể đến, ở tỷ lệ 1:1000 và 1:1500 chỉ số tăng sức sống của mầm thấp tương đương, lần lượt là 32,3% và 38,5% (dòng đơn PPDW05) và 29,4% và 31,5% (dòng đơn PPSE31). Chỉ số tăng sức sống của mầm đối với dòng vi khuẩn PPDW10 cao ở tỷ lệ hòa loãng 1:1000 (56,5%), tương đương với tỷ lệ hòa loãng 1:2000 (51,8%), cả hai tỷ lệ này cùng cao hơn so với tỷ lệ hòa loãng 1:1500 (14,6%). Đối với dòng đơn PPRS03, tỷ lệ hòa loãng 1:1500 và 1:2000 có chỉ số tăng sức sống của mầm tương đương nhau, lần lượt là 19,4% và 25,6%, cả hai tỷ lệ này thấp hơn so với tỷ lệ 1:1000, với 51,7%. Bên cạnh đó, chỉ số tăng sức sống của mầm của hỗn hợp 6 dòng vi khuẩn lần lượt là $66,4 > 44,0 > 30,4 > 3,64\%$, tương ứng các mức tỷ lệ hòa

loãng 1:2000, 1:1000, 1:1500 và đối chứng. Ngoài ra, bổ sung dòng đơn PPDW24 và PPSE21 có chỉ số tăng sức sống của mầm rau muống khác biệt không có ý nghĩa thống kê, dao động 21,9 - 37,2% và 39,3 - 47,2%, theo thứ tự (Bảng 3).

Theo Purwanto và cs. (2022) chủng *Rhizobacteria* vào hạt đã tăng tỷ lệ nảy mầm của hạt và chỉ số sức sống của hạt lúa. Trong đó, dòng J12 đạt chỉ số sức sống cao nhất là 8280,01. Kết quả nghiên cứu của Pandey và

Gupta (2020) cho thấy *Pseudomonas* sp. S3 tăng chỉ số sức sống của mầm cây cà chua (832,70% và 567,43%) so với các nhóm đối chứng tương ứng trong điều kiện thường và điều kiện mặn. Theo Divyanshu và cs. (2022), *Pseudomonas punonensis* giúp tăng chỉ số sức sống của hạt lúa mạch cao nhất là 2,57 lần, trong khi *Pseudomonas plecoglossicida* là 2,37 lần, *Pseudomonas aeruginosa* là 2,0 lần và *Alcaligenes faecalis* tăng 1,69 lần.

Bảng 3. Ảnh hưởng của các dòng vi khuẩn quang dưỡng không lưu huỳnh màu tía đến chỉ số sức sống và chỉ số tăng sức sống của mầm rau muống

Chi tiêu	Tỷ lệ hòa loãng (mL/mL)	PPD W05	PPDW10	PPDW24	PPRS03	PPSE21	PPSE31	Hỗn hợp
Chỉ số sức sống (%)	Đối chứng	3,64 ^c	3,64 ^c	3,64 ^c	3,64 ^c	3,64 ^b	3,64 ^c	3,64 ^d
	1:1000	4,82 ^b	5,70 ^a	4,85 ^{ab}	5,53 ^a	5,07 ^a	4,71 ^b	5,25 ^b
	1:1500	5,05 ^b	4,18 ^b	4,44 ^b	4,35 ^b	5,31 ^a	4,79 ^b	4,75 ^c
	1:2000	6,36 ^a	5,53 ^a	5,00 ^a	4,58 ^b	5,36 ^a	5,87 ^a	6,06 ^a
	Mức ý nghĩa	*	*	*	*	*	*	*
Chỉ số tăng sức sống của mầm (%)	CV (%)	4,50	4,62	6,65	9,14	5,56	3,65	3,82
	Đối chứng	-	-	-	-	-	-	-
	1:1000	32,3 ^b	56,5 ^a	32,9	51,7 ^a	39,3	29,4 ^b	44,0 ^b
	1:1500	38,5 ^b	14,6 ^b	21,9	19,4 ^b	45,7	31,5 ^b	30,4 ^c
	1:2000	74,4 ^a	51,8 ^a	37,2	25,6 ^b	47,2	60,9 ^a	66,4 ^a
Mức ý nghĩa (%)	Mức ý nghĩa	*	*	ns	*	ns	*	*
	CV (%)	50,8	31,9	42,2	54,4	41,4	54,3	38,6

Hỗn hợp: Hỗn hợp 6 dòng vi khuẩn gồm PPDW05, PPDW10, PPDW24, PPRS03, PPSE21 và PPSE31; a,b,c,d: Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị mức sai khác có ý nghĩa thống kê ở mức $\alpha=0,05$.

4. KẾT LUẬN

Ở tỷ lệ hòa loãng 1:2000 dòng đơn PPDW05, PPDW10, PPSE31 và hỗn hợp 6 dòng PPDW05, PPDW10, PPDW24, PPRS03, PPSE21, PPSE31 tăng sức sống của mầm rau muống. Nghiên cứu sâu hơn về dòng PPDW05, PPDW10, PPSE31 có tiềm năng ứng dụng trong kích thích sinh trưởng cây trồng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tài liệu tiếng Việt

Lê Thị Mỹ Thu, Trần Trọng Khôi Nguyên, Nguyễn Đức Trọng, Võ Minh Thuận, Phan Chấn Hiệp và Lê Vĩnh Thúc. (2024). Đánh giá hiệu quả của các chủng vi khuẩn quang dưỡng không lưu huỳnh màu tía hòa tan kali tới sự nảy mầm của hạt ngô và lúa. *Tạp chí*

nông nghiệp và phát triển nông thôn, 10, 25-37.

2. Tài liệu tiếng nước ngoài

- Anh, N. H., Xuan, L. N. T., Xuan, D. T., Quang, L. T. & Khuong, N. Q. (2024). Nitrogen-fixing purple nonsulfur bacteria originating from acid saline soils of a rice-shrimp farm. *Indonesian Journal of Agricultural Research*, 7(1), 14-28.
- Brahim, A. H., Ben Ali, M., Daoud, L., Jlidi, M., Akremi, I., Hmani, H., Feto, N. A., & Ben Ali, M. (2022). Biopriming of durum wheat seeds with endophytic diazotrophic bacteria enhances tolerance to *Fusarium* head blight and salinity. *Microorganisms*, 10(5), 970.
- Bui, T. H., Bui, V. L., Duong, V. H., Duong, D. T., Le, N. T., Tran, D. K., Tran, V. K., Ha, T. T. L., Phan, G. T. T., Tran, V. H., Hoang, V. K., & Tran, H. N. (2024). Transfer of natural radionuclides from soil to water

- spinach (*Ipomoea aquatica* Forssk) under flooded and unflooded conditions in Hanoi, Vietnam. *Journal of Environmental Radioactivity*, 277, 107445.
- Castiglione, A. M., Mannino, G., Contartese, V., Berteà, C. M., & Ertani, A. (2021). Microbial biostimulants as response to modern agriculture needs: Composition, role and application of these innovative products. *Plants*, 10(8), 1533.
- Dhar, K., Venkateswarlu, K., & Megharaj, M. (2023). Anoxygenic phototrophic purple non-sulfur bacteria: tool for bioremediation of hazardous environmental pollutants. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(10), 283.
- Divyanshu, K., Yadav, M., Shukla, V., Kumar, S., Tripathi, Y. N., & Upadhyay, R. S. (2022). Molecular identification and characterization of plant growth promoting rhizobacteria and their effect on seed germination and vigour index of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 16(2), 974-984.
- Ebert, A. W., & Wu, T. H. (2019). The effect of seed treatments on the germination of fresh and stored seeds of okra (*Abelmoschus esculentus*) and water spinach (*Ipomoea aquatica*). *Journal of Horticulture*, 6(254), 2376-0354.
- El-Sawi, N., Gad, M. H., Al-Seeni, M. N., Younes, S., El-Ghadban, E. M., & Ali, S. S. (2017). Evaluation of antidiabetic activity of *Ipomoea aquatica* fractions in streptozotocin induced diabetic in male rat model n. *Sohag Journal of Sciences*, 2(1), 9-17.
- Fatima, Z., Saleemi, M., Zia, M., Sultan, T., Aslam, M., Rehman, R., & Chaudhary, M. F. (2009). Antifungal activity of plant growth-promoting rhizobacteria isolates against *Rhizoctonia solani* in wheat. *African Journal of Biotechnology*, 8(2), 219-225.
- Fevria, R., & Aliciafarma, S. (2021). Comparison of nutritional content of water spinach (*Ipomoea aquatica*) cultivated hydroponically and non-hydroponically. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1940 (1), 012049.
- Fiodor, A., Ajijah, N., Dziewit, L., & Pranaw, K. (2023). Biopriming of seed with plant growth-promoting bacteria for improved germination and seedling growth. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1142966.
- Garcia-Lemos, A. M., Grosskinsky, D. K., Saleem Akhtar, S., Nicolaisen, M. H., Roitsch, T., Nybroe, O., & Veierskov, B. (2020). Identification of root-associated bacteria that influence plant physiology, increase seed germination, or promote growth of the christmas tree species *Abies nordmanniana*. *Frontiers in Microbiology*, 11, 566613.
- Guo, R., Wang, X., Han, X., Chen, X., & Wang-Pruski, G. (2020). Physiological and transcriptomic responses of water spinach (*Ipomoea aquatica*) to prolonged heat stress. *BMC genomics*, 21, 1-15.
- Hagaggi, N. S. A., & Mohamed, A. A. (2020). Enhancement of *Zea mays* (L.) growth performance using indole acetic acid producing endophyte *Mixta theicola* isolated from *Solenostemma argel* (Hayne). *South African Journal of Botany*, 134, 64-71.
- Han, C., & Yang, P. (2015). Studies on the molecular mechanisms of seed germination. *Proteomics*, 15(10), 1671-1679.
- Iwai, R., Uchida, S., Yamaguchi, S., Sonoda, F., Tsunoda, K., Nagata, H., Nagata, D., Koga, A., Goto, M., Maki, T.-a., Hayashi, S., Yamamoto, S., & Miyasaka, H. (2022). Effects of seed bio-priming by purple non-sulfur bacteria (PNSB) on the root development of rice. *Microorganisms*, 10(11), 2197.
- Jakubus, M., & Bakinowska, E. (2018). Practical applicability of germination index assessed by logistic models. *Compost Science and Utilization*, 26(2), 104-113.
- Kantha, T., Kantachote, D., & Klongdee, N. (2015). Potential of biofertilizers from selected *Rhodopseudomonas palustris* strains to assist rice (*Oryza sativa* L. subsp. Indica) growth under salt stress and to reduce greenhouse gas emissions. *Annals of Microbiology*, 65(4), 2109-2118.
- Khuong, N. Q., Sakpirom, J., Oanh, T. O., Thuc, L. V., Thu, L. T. M., Xuan, D. T., Quang, L. T. & Xuan, L. N. T. (2023a). Isolation and characterization of novel potassium-solubilizing purple nonsulfur bacteria from acidic paddy soils using culture-dependent and culture-independent techniques. *Brazilian Journal of Microbiology*, 54(3), 2333-2348.
- Khuong, N. Q., Thuc, L. V., Giang, C. T., Xuan, L. N. T., Thu, L. T. M., Isao, A. & Jun-Ichi, S. (2023b). Improvement of nutrient uptake,

- yield of black sesame (*Sesamum indicum* L.), and alluvial soil fertility in dyke by spent rice straw from mushroom cultivation as biofertilizer containing potent strains of *Rhodopseudomonas palustris*. *The Scientific World Journal*, 2023(1), 1954632.
- Koh, R. H., & Song, H. G. (2007). Effects of application of *Rhodopseudomonas* sp. on seed germination and growth of tomato under axenic conditions. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17(11), 1805-1810.
- Mahdi, I., Fahsi, N., Hafidi, M., Allaoui, A., & Biskri, L. (2020). Plant growth enhancement using rhizospheric halotolerant phosphate solubilizing bacterium *Bacillus licheniformis* QA1 and *Enterobacter asburiae* QF11 isolated from *Chenopodium quinoa* willd. *Microorganisms*, 8(6), 948.
- Marthandan, V., Geetha, R., Kumutha, K., Renganathan, V. G., Karthikeyan, A., & Ramalingam, J. (2020). Seed priming: a feasible strategy to enhance drought tolerance in crop plants. *International journal of molecular sciences*, 21(21), 8258.
- Matsuo, T., Asano, T., Mizuno, Y., Sato, S., Fujino, I., & Sadzuka, Y. (2022). Water spinach and okra sprouts inhibit cancer cell proliferation. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Animal*, 58(2), 79-84.
- Mia, M. B., Shamsuddin, Z. H., & Mahmood, M. (2012). Effects of rhizobia and plant growth promoting bacteria inoculation on germination and seedling vigor of lowland rice. *African Journal of Biotechnology*, 11(16), 3758-3765.
- Mujahid, M. D., Sasikala, C., & Ramana, C. V. (2011). Production of indole-3-acetic acid and related indole derivatives from *L-tryptophan* by *Rubrivivax benzoatilyticus* JA2. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 89, 1001-1008.
- Najjaa, H., Abdelkarim, B. A., Doria, E., Boubakri, A., Trabelsi, N., Falleh, H., Tlili, H., & Neffati, M. (2020). Phenolic composition of some Tunisian medicinal plants associated with anti-proliferative effect on human breast cancer MCF-7 cells. *The EuroBiotech Journal*, 4, 104-112.
- Nasichin, N., Fajarsukoco, F., Satria, D., Sebastian, Y., & Yulia, M. (2020). Rancang bangun alat tanam benih kangkung darat (*Ipomoea Raptana* Poir). *Jurnal Ilmiah Teknik Pertanian-TekTan*, 12(2), 116-126.
- Ng, L.C., Sariah, M., Sariam, O., Radziah, O., & Zainal-Abidin, M. A. (2012). Rice seed bacterization for promoting germination and seedling growth under aerobic cultivation system. *Australian Journal of Crop Science*, 6(1), 170-175.
- Nookongbut, P., Jingjit, N., Kantachote, D., Sukhoom, A., & Tantirungkij, M. (2020). Selection of acid tolerant purple nonsulfur bacteria for application in agriculture. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, 19(4), 774-790.
- Pandey, S., & Gupta, S. (2020). Evaluation of *Pseudomonas* sp. for its multifarious plant growth promoting potential and its ability to alleviate biotic and abiotic stress in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants. *Scientific Reports*, 10(1), 20951.
- Purwanto, P., Oktaviani, E., & Leana, N. W. A. (2022). Seed Bio-Priming to Enhance Seed Germination and Seed Vigor of Rice Using Rhizobacteria from The Northern Coast of Pemalang, Central Java, Indonesia. *Planta Tropika*, 10(2), 152-159.
- Riaz, U., Mehdi, S. M., Iqbal, S., Khalid, H. I., Qadir, A. A., Anum, W., Ahmad, M., & Murtaza, G. (2020). Bio-fertilizers: eco-friendly approach for plant and soil environment. *Bioremediation and biotechnology: sustainable approaches to pollution degradation*, 189-213.
- Roy, S., Zilani, M. N. H., Alrashada, Y. N., Islam, M. M., Akhe, F. K., Uddin, S. J., & Sarower, M. G. (2022). Profiling of bioactive compounds and antioxidant activity of aquatic weed *Ipomoea aquatica*. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 2(5), 425-435.
- Spaepen, S., Vanderleyden, J., & Remans, R. (2007). Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. *FEMS microbiology reviews*, 31(4), 425-448.
- Sundar, L. S. & Chao, Y. Y. (2022). Potential of purple non-sulfur bacteria in sustainably enhancing the agronomic and physiological performances of rice. *Agronomy*, 12(10), 2347.
- Thu, L. T. M., Xuan, L. N. T., Anh, N. H. M., Trong, N. D., Dao, N. T. X., Quang, L. T., Tho, L. T. N., Thu, H. N., Anh, N. T., Diem, N. T. T., & Khuong, N. Q. (2024a). Improving nitrogen content in soil and

- lemon balm (*Melissa officinalis* L.) yield by purple nonsulfur bacteria *Rhodopseudomonas palustris* in two consecutive seasons. *International Microbiology*, 27(6), 1821-1830.
- Thu, L. T. M., Xuan, L. N. T., Nhan, T. C., Quang, L. T., Trong, N. D., Thuan, V. M., Nguyen, T. T. K., Nguyen, P. C., Thuc, L. V. & Khuong, N. Q. (2024b). Characterization of novel species of potassium-dissolving purple nonsulfur bacteria isolated from indyked alluvial upland soil for maize cultivation. *Life*, 14(11), 1461.
- Wu, J. Y., Chen, H. W., Sundar, L. S., Tu, Y. K., & Chao, Y. Y. (2025). Exploring the potential of purple non-sulfur bacteria strains A3-5 and F3-3 in sustainable agriculture: a study on nutrient solubilization, plant growth promotion, and acidic stress tolerance. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 25(2), 2294-2313.
- Xuan, L. N. T., Thu, L. T. M., Nhan, T. C., Ngan, N. T., Tam, L. H. M., Dang, L. V., Trong, N. D., Quang, L. T., Diem, N. T. T., & Khuong, N. Q. (2024). Purple nonsulfur bacteria *rhodopseudomonas palustris* improve soil phosphorus availability and yield of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) in alluvial soils via plant and ratoon seasons. *The Open Agriculture Journal*, 18, e18743315316126.