

PHÂN LẬP, TUYỂN CHỌN VI KHUẨN HÒA TAN LÂN CÓ HIỆU QUẢ HỖ TRỢ SINH TRƯỞNG, NĂNG SUẤT VÀ CHẤT LƯỢNG RAU ĂN LÁ

Phạm Thị Hải Nghi¹, Đỗ Thị Xuân^{1,*}, Đặng Kim Thảo¹,

Phan Vương Ái Vy¹, Trần Thị Bạch Kim²,

Phạm Văn Trọng Tính³, Nguyễn Võ Châu Ngân²

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

² Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Đại học Cần Thơ

³ Khoa Phát triển Nông thôn, Đại học Cần Thơ

*Email: dtxuan@ctu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu thực hiện nhằm phân lập và tuyển chọn vi khuẩn có khả năng hòa tan lân khó tan (VK-P) hỗ trợ năng suất và chất lượng rau muống (*Ipomoea reptans* L.) và cải xanh (*Brassica juncea* L.). Kết quả, đã phân lập được 30 chủng VK-P có khả năng hòa tan lân khó tan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ và tuyển chọn được 10 chủng VK-P có chỉ số hòa tan lân cao, dao động trong khoảng 1,22 - 2,52. Sáu trong 10 chủng VK-P cao với hàm lượng lân hòa tan đạt từ 26,3 - 38,0 mg/L và hàm lượng IAA đạt từ 10,0 - 19,6 mg/L sau 9 ngày ủ. Kết quả bổ sung VK-P vào hạt rau muống và cải xanh cho thấy, chủng AG5.3 và AG2 giúp tăng tỉ lệ nảy mầm và tỉ lệ sống của 2 loại rau trong điều kiện phòng thí nghiệm cũng như giúp tăng năng suất, khối lượng thương phẩm, hàm lượng vitamin C, hàm lượng nitrate trong điều kiện thí nghiệm nhà lưới. Mật độ vi sinh vật có hại trong rau nằm trong ngưỡng cho phép theo QCVN 8-3:2012/BYT của Bộ Y tế. Kết quả giải trình tự gen 16S rRNA cho thấy chủng AG5.3 có độ tương đồng 99,71% với vi khuẩn *Enterobacter* sp. AG5.3 và chủng AG2 có độ tương đồng 100% với vi khuẩn *Acinetobacter* sp. AG2. Hai chủng VK-P này có tiềm năng sử dụng trong canh tác rau muống và cải xanh ở điều kiện nhà lưới.

Từ khóa: *Acinetobacter* sp., cải xanh, *Enterobacter* sp., rau muống, vi khuẩn hòa tan lân.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tại Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), diện tích đất canh tác nông nghiệp thuộc nhóm đất phèn chiếm 1,6 triệu ha và khoảng 800 ha diện tích đất nhiễm mặn [1, 2]. Canh tác nông nghiệp, đặc biệt là trồng rau màu đang gặp trở ngại do tình trạng cố định lân (P) trong đất [3]. Do đó, nông dân thường cung cấp phân P cho cây trồng vượt hơn nhu cầu của cây. Theo thời gian, lượng phân P cung cấp thừa có thể đưa đến sự tích lũy P cao trong đất [4] vì thế việc kích hoạt lượng P bị cố định trong đất có ý nghĩa đối với sinh trưởng cây trồng cũng như mang lại hiệu quả sử dụng P trong canh tác nông nghiệp.

Vi khuẩn hòa tan lân (phosphorus solubilizing bacteria) là nhóm vi khuẩn hiện diện tại vùng rễ của thực vật [5], có khả năng phân hủy P hữu cơ và hòa tan P vô cơ thành dạng P hòa tan mà thực

vật có thể sử dụng [6]. Bên cạnh chức năng hòa tan lân, các vi sinh vật này có thể thúc đẩy sự phát triển của cây trồng bằng cách cố định nitơ, sản xuất phytohormone, hỗ trợ hấp thu chất dinh dưỡng, tăng cường khả năng chống chịu với điều kiện bất lợi của môi trường và ức chế mầm bệnh. Trong đó, các chủng vi khuẩn hòa tan lân thuộc chi *Acinetobacter* và *Enterobacter* có vai trò quan trọng trong nông nghiệp bền vững nhờ vào khả năng chuyển hóa các dạng lân khó tan như $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, FePO_4 và AlPO_4 thành dạng dễ tiêu cho cây thông qua cơ chế tiết axit hữu cơ, enzyme phosphatase, proton H^+ , phosphatase [7, 8] và khả năng sinh hormone sinh trưởng thực vật trên một số đối tượng cây trồng như rau ăn lá, đậu phộng và đậu nành [9 - 11].

Với các đặc tính có lợi của nhóm vi khuẩn chức năng, việc bổ sung VK-P là một giải pháp

giúp tối ưu việc sử dụng lân của cây trồng, đồng thời thúc đẩy sự sinh trưởng và phát triển của cây trồng do vi khuẩn sản sinh các chất kích thích sinh trưởng cho cây trồng [12]. Tuy nhiên, vai trò của các nhóm vi khuẩn có khả năng hòa tan lân tại vùng rễ các loại cây trồng trên nền đất phèn tại thành phố Cần Thơ và tỉnh An Giang vẫn chưa được khai thác. Do đó, nghiên cứu được thực hiện nhằm phân lập và tuyển chọn được các chủng vi khuẩn có khả năng hòa tan lân cao và có tiềm năng trong việc hỗ trợ sinh trưởng, năng suất cây rau.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Tám mẫu đất vùng rễ của cây lúa (*Oryza sativa* L.), năng (*Eleocharis atropurpurea* Retz.), trầm (*Melaleuca cajuputi* Powell) và cây khóm (*Ananas comosus* L. Merr.) được thu tại các xã Vĩnh Thuận Đông, Long Mỹ, Hỏa Lựu, thành phố Cần Thơ và bảy mẫu đất vùng rễ cây lúa (*Oryza sativa* L.), chuối (*Musa sapientum* L.), diên điển (*Sesbania sesban*), dừa (*Calappa nucifera* L.) và vú sữa (*Chrysophyllum cainito* L.) được thu tại xã Vĩnh Hòa, tỉnh An Giang từ tháng 9 đến tháng 12 năm 2024. Tại mỗi địa điểm, mẫu đất vùng rễ của cây trồng được thu ở độ sâu 0 - 20 cm, lấy 4 vị trí khác nhau trong vườn hoặc trong ruộng theo đường zigzag và gộp lại thành một mẫu đại diện cho một địa điểm. Các mẫu đất sau khi thu được bảo quản trong điều kiện mát và vận chuyển về phòng thí nghiệm Vi sinh vật nông nghiệp, Bộ môn Công nghệ Vi sinh vật, Đại học Cần Thơ.

Hạt giống: Hạt giống rau muống lá tre (*Ipomoea reptans* L.) RADO 12 và hạt giống cải bẹ xanh mỡ RADO 57 (*Brassica juncea* L.) do Công ty Rạng Đông sản xuất, với thời gian thu hoạch rau muống là 25 - 30 ngày và cải xanh là 30 - 35 ngày.

Đất phục vụ thí nghiệm: Đất mặt trồng lúa được phơi khô và được bảo quản tại phòng thí nghiệm được nghiền nhỏ, rây qua mắt rây 2 mm. Thành phần hóa học trong đất được xác định gồm: pH = 4,38; EC = 0,331 (mS/cm); %CHC = 0,35%; Pts (%P₂O₅) = 0,12%; Nts (%) = 0,11%.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp phân lập vi khuẩn hòa tan lân từ đất vùng rễ

Tại phòng thí nghiệm, vi khuẩn có khả năng hòa tan lân khó tan (VK-P) từ các mẫu đất được phân lập theo phương pháp của Cao Thị Mỹ Tiên (2020) [13]. Các khuẩn lạc được mô tả hình thái khuẩn lạc và hình thái tế bào vi khuẩn theo hệ thống phân loại vi khuẩn học của Bergey (1994) [14]. Các khuẩn lạc khác biệt về hình thái khuẩn lạc và hình thái tế bào được xem là các chủng vi khuẩn đơn và được trữ trong môi trường NBRIP ở điều kiện 8°C cho đến khi thực hiện thí nghiệm.

2.2.2. Phương pháp định tính khả năng hòa tan lân của vi khuẩn

Chuẩn bị khuẩn lạc: Các chủng VK-P được nuôi tăng sinh trên môi trường NBRIP đặc đến 72 giờ ở nhiệt độ 37°C trong tủ ủ và tiến hành thu từng khuẩn lạc đơn lẻ để thực hiện khảo sát định tính khả năng hòa tan lân khó tan trên môi trường NBRIP, các chủng VK-P được thực hiện lặp lại 3 lần trên 3 đĩa riêng biệt và ghi nhận khả năng hòa tan lân sau 5 ngày ủ. Khả năng hòa tan lân của VK-P được tính theo chỉ số hòa tan lân [15] và được trình bày như sau:

$$SI = (\text{đường kính khuẩn lạc} + \text{đường kính vòng phân giải}) / \text{đường kính khuẩn lạc}$$

2.2.3. Phương pháp định lượng khả năng hòa tan lân và sinh IAA của vi khuẩn

Chuẩn bị nguồn chủng: Các chủng VK-P có chỉ số hòa tan lân cao được tuyển chọn và được nuôi tăng sinh trên môi trường NBRIP đặc trong 3 ngày, sau đó tiến hành thu sinh khối và sử dụng môi trường NBRIP lỏng được tiệt trùng để pha loãng và hiệu chỉnh mật độ 10⁶ cfu/ml tương đương 6 log cfu/mL bằng phương pháp đo độ đục huyền phù vi khuẩn ở bước sóng 600 nm kết hợp với phương pháp đếm nhỏ giọt [16].

Thí nghiệm được bố trí theo thể thức hoàn toàn ngẫu nhiên với 10 chủng vi khuẩn VK-P, mỗi chủng được nuôi riêng lẻ trong bình tam giác 250 mL (Duran, Đức) chứa 50 mL môi trường NBRIP lỏng đã được tiệt trùng. Đối với thí nghiệm định lượng IAA, môi trường NBRIP được bổ sung L-tryptophan với nồng độ 100 mg/L. Nghiệm thức đối chứng (ĐC) chỉ chứa môi trường NBRIP tương ứng và mỗi nghiệm thức được lặp lại 3 lần. Dịch nuôi thu tại các thời điểm 3, 5, 7, 9 NSU và ly tâm ở 10.000 vòng/phút trong 5 phút để thu phần dịch nổi. Phần dịch nổi được sử dụng để xác định hàm lượng P₂O₅ bằng

phương pháp so màu molybdate ở bước sóng 880 nm [13]. Đối với thí nghiệm định lượng indole-3-acetic axit (IAA), mẫu được ly tâm ở 13.000 vòng/phút trong 10 phút, sau đó phần dịch nổi được sử dụng để xác định hàm lượng IAA bằng phương pháp so màu Salkowski ở bước sóng 530 nm [12]. Mật độ các chủng VK-P tương ứng với các thời điểm thu mẫu được xác định bằng phương pháp nhỏ giọt [16].

2.2.4. Phương pháp đánh giá khả năng hỗ trợ của các chủng vi khuẩn VK-P và sinh IAA đến tỉ lệ nảy mầm và sinh trưởng của rau mầm

Chuẩn bị nguồn chủng: Sáu chủng VK-P có khả năng hòa tan lân và sinh IAA hiệu quả được tuyển chọn và được nuôi tăng sinh như mô tả ở mục 2.2.3.

Chuẩn bị hạt giống: Hạt giống rau muống và cải xanh được khử trùng bề mặt bằng cồn 70% trong 1 phút, ngâm qua đêm trong nước cất tiệt trùng, sau đó ngâm hạt vào huyền phù vi khuẩn có mật số 10^6 cfu/mL trong 3 giờ. Hạt được chuyển vào hộp nhựa có lót khăn giấy tiệt trùng, bổ sung nước cất tiệt trùng để duy trì độ ẩm. Thí nghiệm được bố trí theo thể thức hoàn toàn ngẫu nhiên gồm 7 nghiệm thức (6 chủng VK-P và 1 ĐC), 3 lần lặp lại, mỗi lần lặp gồm 50 hạt. Các hộp được ủ trong tối ở 32 - 34°C và độ ẩm 65 - 70%. Tỷ lệ nảy mầm được xác định sau 3 ngày sau bố trí (NSBT) theo công thức:

Tỷ lệ nảy mầm (%) = $(\text{Số hạt nảy mầm} / \text{Tổng số hạt}) \times 100$.

Sau đó, các hộp tiếp tục được bổ sung nước cất tiệt trùng định kỳ và ủ đến 7 NSBT để xác định tỷ lệ sống của cây.

2.2.5. Đánh giá khả năng hỗ trợ của vi khuẩn VK-P đến sinh trưởng của cải xanh, rau muống ở điều kiện nhà màng

Chuẩn bị nguồn chủng: Ba chủng AG5.3, TT02.3 và AG2 được tuyển chọn từ thí nghiệm được mô tả ở mục 2.2.4 và hạt giống rau muống và cải xanh được chuẩn bị và được chủng với vi khuẩn như mô tả ở mục 2.2.4. Đất được tiệt trùng uớt hai lần (121°C, 1 atm, 20 phút/lần, cách nhau 24 giờ), sau đó cho vào chậu nhựa (25 x 30 cm, 10 kg đất/chậu) và điều chỉnh ẩm độ khoảng 65% trước khi bố trí thí nghiệm.

Thí nghiệm được bố trí theo thể thức hoàn toàn ngẫu nhiên gồm 3 nghiệm thức được chủng

với 3 chủng VK-P và nghiệm thức ĐC, mỗi nghiệm thức lặp lại 5 lần. Hạt rau muống và cải xanh được áo với dịch huyền phù của vi khuẩn và tiến hành gieo trực tiếp vào chậu với mật độ lần lượt 50 và 10 hạt/chậu; sau khi cây xuất hiện lá thật đầu tiên, tỉa còn 20 cây rau muống/chậu và 5 cây cải xanh/chậu cho từng thí nghiệm. Phân bón được áp dụng theo công thức khuyến cáo cho rau muống (100N - 48P₂O₅ - 24K₂O kg/ha) và cải xanh (70N - 48P₂O₅ - 24K₂O kg/ha), bón vào giai đoạn 10 và 20 ngày sau trồng theo Cao Ngọc Điệp và cs (2021) [17]. Sau 30 ngày, tiến hành thu hoạch và đánh giá các chỉ tiêu sinh trưởng, năng suất thương phẩm, khối lượng khô và chất lượng của rau [18].

2.2.6. Phương pháp đánh giá chất lượng rau

Rau muống và cải xanh sau khi thu về được rửa sạch, để ráo và nghiền nhỏ để tiến hành đo hàm lượng đường tổng (độ Brix) bằng máy ATAGON-1α (Nhật Bản), hàm lượng vitamin C được xác định theo phương pháp chuẩn độ với chất chỉ thị màu 2,6-dichlorophenolindophenol (DCPIP) theo TCVN 6427-2:1998 [19], xác định hàm lượng NO₃⁻ bằng phương pháp so màu trên máy quang phổ ở bước sóng 410 nm theo TCVN 8742:2011 [20], định lượng *Coliforms*, *E. coli* theo TCVN 7924-2:2008 [21] và *Salmonella* theo TCVN 10780-1:2017 [22].

2.2.7. Định danh vi khuẩn

Các chủng VK-P có hiệu quả hỗ trợ sinh trưởng, năng suất và chất lượng của hai loại cây rau được nuôi cấy trên môi trường NBRIP đặc, sau đó sử dụng các khuẩn lạc để tách chiết ADN theo phương pháp của Cao Thị Mỹ Tiên (2020) [13] và giải trình tự tại vùng gen 16S rRNA sử dụng cặp mồi 27F/1492R do Công ty TNHH DNA SEQUENCING, Việt Nam. Kết quả giải trình tự của các chủng VK-P được so sánh trên cơ sở dữ liệu Genbank (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov>) để định danh vi khuẩn.

2.3. Xử lý số liệu

Các số liệu được tổng hợp bằng phần mềm Microsoft Excel 2016. Thực hiện phân tích thống kê mô tả bằng phần mềm Minitab phiên bản 16, phân tích phương sai One-Way ANOVA để đánh giá sự khác biệt về giá trị trung bình của các nghiệm thức, kiểm định Tukey's để so sánh các giá trị trung bình ở độ tin cậy 95% và 99%.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân lập vi khuẩn hòa tan lân từ đất vùng rễ

Từ 15 mẫu đất đã phân lập được 30 chủng vi khuẩn hòa tan lân (VK-P) trên môi trường NBRIP chứa $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Phần lớn khuẩn lạc có dạng tròn đều (20/30), bờ không đều (10/30), với độ nổi đa

dạng gồm: Lài, mô, phẳng, nổi, gò và miệng núi lửa. Màu sắc khuẩn lạc dao động từ trong, trắng đục, trắng ngà đến ngà vàng; kích thước từ 0,4 - 4,0 mm sau 3 ngày nuôi cấy. Quan sát hình thái tế bào cho thấy 27/30 chủng có dạng que ngắn, 2/30 dạng cầu và 1/30 dạng que đôi; kết quả nhuộm Gram xác định 26/30 chủng là Gram âm và 4/30 chủng là Gram dương (Bảng 1).

Bảng 1. Đặc điểm hình thái khuẩn lạc và tế bào của các chủng vi khuẩn

STT	Chủng vi khuẩn	Gram	Hình thái tế bào	Khuẩn lạc				
				Hình dạng	Độ Nổi	Bìa	Màu sắc	Kích thước (mm)
1	LM1.2	-	Que ngắn	Tròn lớn	Lài	Nguyên	Trắng ngà	2,0
2	LM2.12	+	Cầu	Tròn, không đều	Phẳng	Răng cưa	Hơi vàng	2,2
3	LM2.13	-	Que ngắn	Tròn, không đều	Núi lửa	Gợn sóng	Hơi vàng	0,9
4	LM2.4	-	Cầu	Tròn nhỏ	Lài	Nguyên	Trong	1,8
5	LM2.41	-	Que ngắn	Không đều	Phẳng	Uốn lượn	Trong	2,1
6	VV1.7	-	Que ngắn	Tròn lớn	Mô	Nguyên	Trắng đục	3,0
7	VV3.7	-	Que ngắn	Tròn	Nổi	Nguyên	Trắng đục	1,7
8	VV3.9	-	Que ngắn	Tròn	Nổi	Nguyên	Trắng đục sữa, ngà vàng nhạt	1,5
9	VV3.12	+	Cầu	Tròn, không đều	Phẳng	Răng cưa	Vàng	3,0
10	HTD4.3	-	Que ngắn	Tròn lớn	Gò	Nguyên	Trắng trong	4,0
11	TT01.2	-	Que ngắn	Tròn nhỏ, không đều	Mô	Nguyên	Trong	1,2
12	TT02.2	-	Que ngắn	Không đều	Lài	Nguyên	Trắng ngà	4,0
13	TT02.3	-	Que ngắn	Tròn lớn	Mô	Nguyên	Trong	2,0
14	TT02.4	-	Cầu	Tròn lớn	Mô	Nguyên	Trong	2,1
15	AG1	-	Cầu	Tròn nhỏ, không đều	Nổi	Gợn sóng	Ngà vàng	1,5
16	AG1.1	-	Que ngắn	Tròn	Nổi	Nguyên	Trắng ngà	2,1
17	AG1.4	-	Que ngắn	Tròn lớn	Gò	Nguyên	Trắng đục	2,5
18	AG1.7	-	Que ngắn	Tròn lớn	Lài	Nguyên	Trắng đục	2,5
19	AG2	-	Que ngắn	Tròn nhỏ	Lài	Răng cưa	Hơi vàng	2,0
20	AG2.1	-	Que dài	Tròn lớn	Mô	Nguyên	Trắng đục	2,3

21	AG2.3	-	Que ngắn	Tròn	Mô	Nguyên	Trong	1,0
22	AG3.1	+	Que ngắn	Tròn	Phẳng	Nguyên	Trắng đục ngà vàng nhạt	0,4
23	AG4	-	Que ngắn	Tròn nhỏ	Mô	Nguyên	Trắng ngà, đục	1,8
24	AG4.1	-	Que ngắn	Tròn lớn	Gò	Nguyên	Đục	3,0
25	AG4.2	-	Que ngắn	Tròn, không đều	Nổi	Gợn sóng	Vàng nhạt ngà cam	0,8
26	AG4.5	+	Que ngắn	Tròn, không đều	Phẳng	Chia thùy	Cam nhạt	2,5
27	AG5.2	-	Que ngắn	Không đều	Phẳng	Uốn lượn	Trong	4,0
28	AG5.3	-	Que ngắn	Tròn nhỏ	Phẳng	Nguyên	Ngà vàng	2,2
29	VT1	-	Que ngắn	Tròn	Nổi	Nguyên	Trắng ngà	2,5
30	VT2	-	Que ngắn	Tròn	Phẳng	Nguyên	Trắng ngà	1,1

3.2. Định tính khả năng hòa tan lân khó tan của các chủng vi khuẩn

Kết quả định tính cho thấy, 30 chủng VK-P đều có khả năng hòa tan lân với chỉ số hòa tan (SI) dao động từ 1,00 - 2,52 sau 5 ngày ủ. Trong đó, chủng AG2.1 có giá trị SI cao nhất (2,52), tiếp theo là AG2 (2,23), khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các chủng còn lại (Bảng 2). Tám chủng: VV1.7, HTD4.3, AG1, AG1.4, AG4, AG4.1, AG5.3 và TT02.3 có giá trị SI dao động từ 1,22 - 1,97, cao hơn các chủng còn lại. Chỉ số

SI của các chủng trong nghiên cứu có xu hướng thấp hơn một số nghiên cứu trên đất trồng xoài, đậu tương (*Phaseolus vulgaris* L.) [23, 24], nguyên nhân có thể do sự khác biệt về biểu loại đất canh tác, loại cây trồng và thời gian thu mẫu. Từ kết quả này, 10 chủng có khả năng hòa tan lân cao gồm: AG1.4, AG2.1, AG1, AG4, VV1.7, HTD4.3, AG4.1, AG2, AG5.3 và TT02.3 với chỉ số hòa tan lân từ 1,22 - 2,52 được tuyển chọn cho các thí nghiệm tiếp theo.

Bảng 2. Đường kính vòng phân giải lân và chỉ số hòa tan lân của các chủng vi khuẩn sau 5 ngày ủ

Chủng vi khuẩn	Đường kính khuẩn lạc (mm)	Đường kính vòng phân giải lân (mm)	Chỉ số hòa tan lân (SI)
LM1.2	5,47 ± 0,06	0,00e	1,00e
LM2.12	4,00 ± 0,10	0,00e	1,00e
LM2.13	4,17 ± 0,21	0,00e	1,00e
LM2.4	6,87 ± 0,06	0,00e	1,00e
LM2.41	5,47 ± 0,06	0,00e	1,00e
VV1.7	5,17 ± 0,06	1,20d	1,23e
VV3.7	4,17 ± 0,21	0,00e	1,00e
VV3.9	3,10 ± 0,10	0,00e	1,00e
VV3.12	4,90 ± 0,17	0,00e	1,00e
HTD4.3	4,97 ± 0,06	4,83b	1,97c
TT01.2	4,97 ± 0,06	0,00e	1,00e
TT02.2	5,03 ± 0,06	0,00e	1,00e
TT02.3	5,43 ± 0,06	1,20d	1,22e
TT02.4	5,97 ± 0,06	0,00e	1,00e

AG1	3,47 ± 0,06	3,35c	1,97c
AG1.1	4,20 ± 0,25	0,00e	1,00e
AG1.4	6,97 ± 0,06	5,53b	1,79cd
AG1.7	5,50 ± 0,00	0,00e	1,00e
AG2	4,03 ± 0,06	4,97b	2,23b
AG2.1	4,93 ± 0,06	7,50a	2,52a
AG2.3	6,33 ± 0,29	0,00e	1,00e
AG3.1	5,56 ± 0,12	0,00e	1,00e
AG4	5,93 ± 0,06	4,67b	1,79cd
AG4.1	5,87 ± 0,06	5,03b	1,86cd
AG4.2	4,40 ± 0,17	0,00e	1,00e
AG4.5	4,83 ± 0,29	0,00e	1,00e
AG5.2	4,00 ± 0,00	0,00e	1,00e
AG5.3	4,90 ± 0,00	2,97c	1,61d
VT1	6,67 ± 0,29	0,00e	1,00e
VT2	2,33 ± 0,12	0,00e	1,00e
Mức ý nghĩa	-	*	*
CV (%)	-	4,2	3,1

*Ghi chú: Trong cùng một cột, các giá trị trung bình có chữ theo sau giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 5% qua phép thử Tukey's; *: Khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức ở mức ý nghĩa 5%.*

3.3. Định lượng khả năng hòa tan lân của các chủng vi khuẩn

Kết quả khảo sát hàm lượng lân hòa tan (P_{ht}) theo thời gian cho thấy, 10 chủng VK-P có tiềm

năng hòa tan P cao với hàm lượng P_{ht} tăng dần theo thời gian và đạt cao nhất vào thời điểm 9 NSU. Với cùng xu hướng, mật độ VK-P và hàm lượng IAA cũng gia tăng và đạt cao nhất ở giai đoạn 9 NSU.

Bảng 3. Hàm lượng lân hòa tan, mật độ của các chủng vi khuẩn và hàm lượng IAA sinh ra theo thời gian ủ

Nghiệm thức	Hàm lượng lân hòa tan (mg/L)				Mật độ vi khuẩn hòa tan lân (log cfu/mL)				Hàm lượng IAA (mg/L)			
	3 NSU	5 NSU	7 NSU	9 NSU	3 NSU	5 NSU	7 NSU	9 NSU	3 NSU	5 NSU	7 NSU	9 NSU
AG1.4	1,82c	11,8e	17,5f	19,6e	7,69a	9,30a	8,54cd	8,37b	2,08a-c	5,83de	12,5fg	10,6ef
AG2.1	1,04f	9,36f	19,8e	20,8e	7,60b	8,58c	8,34fg	8,43ab	1,88b-d	6,05cd	12,7ef	14,4d
AG1	2,41ab	26,9a	30,2c	31,1bc	7,15f	8,35d	8,19h	8,14c	2,31a	6,68b	12,8ef	11,0e
AG4	1,25e	7,30g	10,8g	11,3f	7,50cd	8,76b	8,28gh	8,18c	1,96b-d	5,25ef	13,6c	10,4f
VV1.7	1,62d	17,2c	25,7d	26,3d	7,32e	8,60c	8,47de	8,22c	1,82c-d	6,61bc	14,6b	10,0f
HTD4.3	1,89c	15,4d	25,0d	27,9cd	7,67a	8,33d	8,65b	8,16c	2,15ab	7,09b	13,1de	10,4f
AG4.1	1,86c	10,7ef	20,2e	21,2e	7,18f	8,18e	8,36fg	7,33d	1,85cd	5,14f	13,4cd	9,39g
AG2	2,31b	23,5b	33,5b	35,1ab	7,52cd	8,59c	9,11a	8,41b	1,58e	5,73d-f	12,1g	15,3c
AG5.3	2,59a	24,1b	37,7a	38,0a	7,56bc	8,12e	8,43ef	8,52a	1,75de	5,44d-f	18,4a	19,6a
TT02.3	2,24b	23,5b	32,6b	37,1a	7,57bc	9,21a	8,63bc	8,35b	1,83c-e	9,15a	14,4b	18,1b
Mức ý nghĩa	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CV(%)	5,16	6,9	12,6	12,7	2,69	4,27	3,29	4,40	12,9	12,1	14,1	9,60

*Ghi chú: Trong cùng một cột, các giá trị trung bình có chữ theo sau giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 5% qua phép thử Tukey's; NSU: Ngày sau ủ; *: Khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức ở mức ý nghĩa 5%.*

Tại thời điểm 3 NSU, chủng AG5.3 có khả năng hòa tan lân cao nhất với 2,59 mg/L, khác biệt không có ý nghĩa so với chủng AG1 với 2,41 mg/L, nhưng đạt cao hơn và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các chủng còn lại ($p < 0,05$) (Bảng 3). Mật độ của chủng VK AG5.3 cũng đạt cao với 7,56 log cfu/mL, điều này thể hiện sự tương đồng và là cơ sở giải thích cho khả năng hòa tan lân cao của chủng AG5.3. Cùng thời điểm, hàm lượng IAA sinh ra cao nhất ở chủng AG1 với 2,31 mg/L. Tại thời điểm 5 NSU, chủng AG1 cho hiệu quả cao nhất với hàm lượng lân hòa tan đạt 26,9 mg/L, tiếp đến là chủng AG2, AG5.3 và TT02.3 với hàm lượng P_{ht} từ 23,5 - 24,1 mg/L, cao hơn và khác biệt thống kê so với các chủng VK còn lại. Hàm lượng IAA ghi nhận cao nhất ở chủng TT02.3 với 9,15 mg/L, khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các chủng VK còn lại ($p < 0,05$). Ngoài ra, mật độ VK-P của các chủng cũng gia tăng và đạt 8,12 - 9,21 log cfu/mL. Tại thời điểm 7 NSU, hàm lượng P_{ht} và IAA của chủng AG5.3 đạt cao nhất với lần lượt 37,7 mg/L và 18,4 mg/L, tương ứng với mật số 8,43 log cfu/mL. Tại thời điểm 9 NSU, chủng AG5.3, TT02.3 có hàm lượng P_{ht} đạt cao nhất ($p < 0,05$), lần lượt là 38,0 mg/L và 37,1 mg/L, so với các chủng VK-P còn lại, nhưng khác biệt không có ý nghĩa so với chủng AG2 (35,1 mg/L). Hàm lượng IAA sinh ra bởi chủng AG5.3 đạt cao nhất với 19,6 mg/L ($p < 0,05$) và mật độ của chủng AG5.3 tiếp tục tăng đến 8,52 log cfu/mL, đạt cao nhất so với các chủng còn lại ($p < 0,05$) (Bảng 3). Nhìn chung, hàm lượng P_{ht} và IAA đạt cao nhất ở thời điểm 9 NSU với các chủng AG2, AG5.3 và TT02.3, cùng với đó mật độ vi khuẩn hòa tan lân đạt cực đại ở 5 NSU và được duy trì mật độ cao hơn mật độ chủng đầu vào (6 log cfu/mL) ở thời điểm kết thúc thí nghiệm (9 NSU).

Theo Phạm Thị Miên và Phan Minh Thu (2021) [25], vi khuẩn hòa tan lân chủ yếu thông qua việc tiết axit hữu cơ làm giảm pH môi trường, từ đó giải phóng P bằng cơ chế thay thế H^+ cho Ca^{2+} . Kết quả nghiên cứu cho thấy, ở 8/10 chủng VK-P (trừ AG2.1 và AG5.3), hàm lượng IAA và mật độ vi khuẩn đạt cực đại ở 5 NSU rồi giảm dần, trong khi hàm lượng lân hòa tan vẫn tiếp tục tăng, có thể do sự phân hủy tế bào vi khuẩn giải phóng P vào môi trường [26]. Xu hướng này tương đồng với nghiên cứu trên *Enterobacter* sp. của Cao Thị Mỹ Tiên (2020) [13]; Lebrazi và cs (2020) [27]. Kết quả khẳng định, các chủng VK-P vừa có khả năng hòa tan lân vừa tổng hợp IAA nên có tiềm năng thúc đẩy sinh trưởng cây trồng. Dựa trên khả năng hòa tan lân và sinh IAA, 6 chủng HTD4.3, AG1, AG2, TT02.3, VV1.7 và AG5.3 được tuyển chọn khảo sát ảnh hưởng đến khả năng nảy mầm của hạt giống trong điều kiện phòng thí nghiệm.

3.4. Đánh giá ảnh hưởng của các chủng vi khuẩn hòa tan lân lên khả năng nảy mầm của rau muống và cải xanh trong điều kiện phòng thí nghiệm

Kết quả ở bảng 4 cho thấy, các nghiệm thức bổ sung vi khuẩn đều không ảnh hưởng bất lợi đến sự nảy mầm của hạt rau muống, với tỷ lệ nảy mầm đạt 94,7 - 98,7%, cao hơn có ý nghĩa thống kê so với ĐC (90%; $p < 0,01$) sau 3 ngày bố trí (NSBT). Tại thời điểm 7 NSBT, tỷ lệ sống của cây ở các nghiệm thức có chủng vi khuẩn đạt cao hơn ĐC, trong đó chủng AG2 đạt cao nhất (96,0%), tương đương với TT02.3 (94,7%). Kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu của Hyder và cs (2020) [28], cho thấy VK-P có khả năng thúc đẩy sự nảy mầm của hạt.

Bảng 4. Ảnh hưởng của các chủng vi khuẩn đối với sự nảy mầm và tỉ lệ sống của rau muống và cải xanh

Nghiệm thức	Cây rau muống		Cải xanh	
	Tỉ lệ nảy mầm 3 NSBT (%)	Tỉ lệ sống 7 NSBT (%)	Tỉ lệ nảy mầm 3 NSBT (%)	Tỉ lệ sống 7 NSBT (%)
ĐC	90,0b	80,7d	76,3c	72,0c
HTD4.3	95,0a	85,3c	78,7bc	74,3bc
AG1	97,3a	92,7b	82,0ab	74,0bc
AG2	98,7a	96,0a	81,3abc	76,0bc
TT02.3	95,3a	94,7ab	80,0bc	77,3b

VV1.7	94,7a	86,7c	81,3abc	73,3bc
AG5.3	96,7a	87,3c	86,0a	84,7a
Mức ý nghĩa	**	**	**	**
CV (%)	3,10	6,02	4,06	5,62

Ghi chú: Trong cùng một cột, các giá trị theo sau bởi các chữ cái giống nhau biểu thị sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê theo kiểm định Tukey's. **: Khác biệt ở mức 1%; ĐC: Đối chứng; NSBT: Ngày sau bố trí.

Tỷ lệ nảy mầm của hạt cải xanh ở các nghiệm thức bổ sung vi khuẩn dao động từ 78,7 - 86,0%, cao hơn và khác biệt ý nghĩa thống kê so với ĐC. Tại thời điểm 7 NSBT, tỷ lệ sống đạt 74,0 - 84,7%, trong đó chủng AG5.3 cho hiệu quả cao nhất với tỷ lệ nảy mầm và tỷ lệ sống lần lượt là 86,0% và 84,7%. Hiệu quả này có thể liên quan đến khả năng sinh IAA từ vi khuẩn giúp kích thích sự phát triển rễ, tăng khả năng hấp thu nước và dinh dưỡng, từ đó nâng cao sức sống của cây con [29]. Dựa trên kết quả này, ba chủng AG2, TT02.3 và AG5.3 được tuyển chọn để đánh giá trong điều kiện nhà lưới.

3.5. Đánh giá ảnh hưởng của các chủng vi khuẩn hòa tan lên đến năng suất và chất lượng của cây rau muống và cải xanh ở điều kiện nhà lưới

Cây rau muống: Bảng 5 và hình 1A cho thấy, các nghiệm thức chủng vi khuẩn hỗ trợ rõ rệt sinh trưởng và năng suất rau muống so với nghiệm thức ĐC. Cụ thể, chiều cao cây, đường kính thân và số lá của rau muống đạt lần lượt 47,7 - 49,0 cm; 0,503 - 0,560 cm; 8,40 - 8,50 lá/cây, cao hơn

và khác biệt có ý nghĩa thống kê so với nghiệm thức ĐC (37,3 cm; 0,311 cm; 7,30 lá/cây). Kết quả là khối lượng thương phẩm và khối lượng khô tăng lên, đạt 132,6 - 135,2 g/chậu và 8,51 - 9,79 g/chậu, khác biệt có ý nghĩa thống kê so với nghiệm thức ĐC (115,4 g/chậu và 7,94 g/chậu), ngoại trừ khối lượng khô ở nghiệm thức TT02.3.

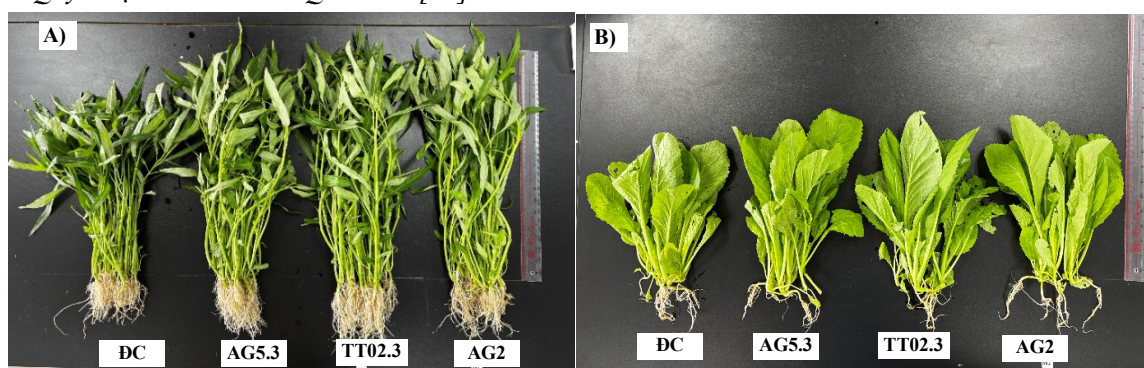
Kết quả ở bảng 5 cho thấy, độ Brix của rau muống dao động khoảng 2,22 - 2,36 và khác biệt không ý nghĩa giữa các nghiệm thức ($p > 0,05$). Ngược lại, hàm lượng vitamin C tăng đáng kể khi bổ sung vi khuẩn, trong đó nghiệm thức bổ sung AG2 đạt cao nhất với hàm lượng vitamin C là 59,4 mg/100 g, tiếp theo là AG5.3 và TT02.3 lần lượt là 55,0 - 55,1 mg/100 g. Dư lượng nitrate trong rau muống dao động 100,5 - 121,9 mg/kg, đều thấp hơn ngưỡng cho phép theo Quyết định số 99/2008/QĐ-BNN [30]. Đồng thời, các nghiệm thức bổ sung VK-P có mật số *Coliforms* và *E. coli* thấp hơn so với ĐC, kết quả cũng ghi nhận không phát hiện *Salmonella* trong tất cả các mẫu rau muống.

Bảng 5. Hiệu quả của các chủng vi khuẩn hòa tan lên đến năng suất và chất lượng của rau muống ở giai đoạn thu hoạch

Nghiệm thức	CC cây (cm)	ĐK thân (cm)	Số lá (số lá/cây)	KLTP (g/chậu)	KL khô (g/chậu)	Brix (%Brix)	Vitamin C (mg/100 g)	Nitrate ⁽¹⁾ (mg/kg)	<i>Coliforms</i> (MPN/g)	<i>E. coli</i> ⁽²⁾ (MPN/g)	<i>Salmonella</i> ⁽²⁾ (cfu/gkk)
Rau muống											
ĐC	37,3b	0,311d	7,30b	115,4b	7,94c	2,22	49,8c	121,9a	358,0a	80,0a	KPH
AG5.3	49,0a	0,519b	8,40a	130,5a	9,09ab	2,32	55,0b	100,5b	188,0b	43,2b	KPH
TT02.3	47,9a	0,503c	8,50a	130,2a	8,51bc	2,32	55,1b	121,0a	194,0b	33,0bc	KPH
AG2	47,7a	0,560a	8,50a	130,4a	9,79a	2,36	59,4a	121,3a	123,2b	25,4c	KPH
Mức ý nghĩa	**	**	*	**	**	ns	**	**	**	**	-
CV (%)	3,46	11,1	5,74	5,76	10,8	4,56	6,57	8,54	8,33	12,5	-
Cải xanh											
ĐC	20,3c	6,39c	6,50b	55,2c	3,44c	4,84a	29,0b	122,3a	264,0a	64,2a	KPH
AG5.3	26,0a	8,46ab	8,10a	62,1ab	4,70ab	4,42ab	37,5a	115,7b	86,0b	49,2ab	KPH
TT02.3	23,8b	7,72b	8,00a	59,9bc	4,30b	4,10b	36,7a	112,7b	58,8bc	28,4bc	KPH

AG2	26,1a	8,64a	8,20a	67,5a	5,24a	2,0c	37,6a	114,4b	33,20c	22,2c	KPH
Mức ý nghĩa	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	-
CV (%)	3,77	8,40	6,87	8,84	12,3	16,6	10,6	3,61	19,1	12,9	-

Ghi chú: Trong cùng một cột, các giá trị theo sau bởi các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê theo kiểm định Tukey's. * là khác biệt ở mức $p < 0,05$; ** là khác biệt ở mức $p < 0,01$; ns là khác biệt không có ý nghĩa thống kê; ĐC: Đối chứng; CC: Chiều cao; ĐK: Đường kính; KL: Khối lượng; KLTP: Khối lượng thương phẩm; KPH: Không phát hiện; (1): Hàm lượng NO_3^- trong rau muống là 300 mg/kg; (2): Mật độ *E. coli* (cfu/g) trong rau ăn sống là 10^2 và *Salmonella* là KPH theo Quyết định số 99/2008/QĐ-BNN [30].



Hình 1. Sinh khối rau muống (A) và cải xanh (B) ở giai đoạn thu hoạch

Cây cải xanh: Bảng 5 và Hình 1B cho thấy, sự sinh trưởng của cải xanh ở các nghiệm thức bổ sung VK-P gia tăng so với nghiệm thức ĐC. Tương tự như ảnh hưởng của vi khuẩn trên rau muống, cây cải xanh được bổ sung VK-P có chiều cao đạt 23,8 - 26,1 cm, cao hơn và khác biệt có ý nghĩa với cải xanh ở nghiệm thức ĐC (20,3 cm). Tương tự, chiều rộng lá (7,72 - 8,46 cm) và số lá (8,00 - 8,20 lá/cây) của cải xanh đều tăng cao so với nghiệm thức ĐC (6,39 cm; 6,50 lá/cây) ($p < 0,01$). Nhờ đó, khối lượng thương phẩm và khối lượng khô tăng lên, đạt lần lượt 59,9 - 67,5 g/chậu và 4,30 - 5,24 g/chậu. Trong đó, nghiệm thức bổ sung chủng AG2 có khối lượng thương phẩm đạt 67,5 g/chậu, khối lượng rau khô đạt 5,24 g/chậu và đạt cao hơn so với bổ sung VK TT02.3 ($p < 0,05$), nhưng đạt tương đương với hiệu quả của chủng VK AG5.3 trên cải xanh.

Hàm lượng đường tan (độ Brix) của cải xanh dao động từ 2,0 - 4,84 %Brix, trong đó nghiệm thức chủng vi khuẩn VK-P có độ Brix thấp hơn (2,00 - 4,42 %Brix) so với nghiệm thức ĐC (4,84 %Brix). Điều này có thể do lượng đường tạo ra từ quá trình quang hợp được cây sử dụng cho việc phân chia, kéo dài tế bào và hình thành mô mới [31] và tạo vật chất khô thay vì tích lũy trong lá

[32]. Hàm lượng vitamin C trong cải xanh dao động từ 29,0 - 37,6 mg/100 g, trong đó các nghiệm thức được chủng với VK-P có hàm lượng vitamin C cao hơn và khác biệt so với ĐC. Mật độ vi sinh môi trường trong cải xanh ở nghiệm thức chủng VK-P luôn thấp hơn so với ĐC và không ghi nhận sự hiện diện của *Salmonella* trong cải xanh. Bên cạnh đó, kết quả ở bảng 5 cho thấy, dư lượng nitrate trong cải xanh từ 114,4 - 122,3 mg/kg và nằm trong ngưỡng cho phép về hàm lượng nitrate trong rau theo Quyết định số 99/2008/QĐ-BNN là < 500 mg/kg [30]. Từ kết quả ở bảng 5 cho thấy, nghiệm thức chủng vi khuẩn AG2 và AG5.3 mang lại hiệu quả cao giúp gia tăng sinh trưởng, năng suất và đảm bảo chất lượng rau muống và cải xanh. Do đó, chủng AG2 và AG5.3 được tuyển chọn để giải trình tự vùng gene 16S rRNA.

3.6. Định danh vi khuẩn

Kết quả giải trình tự vùng gene 16S rRNA của 02 chủng vi khuẩn AG5.3 và AG2 so sánh với các trình tự trong cơ sở dữ liệu GenBank trong NCBI bằng công cụ BLAST cho thấy, trình tự chủng vi khuẩn có khả năng hòa tan lần AG5.3 có độ tương đồng 99,71% với trình tự của các vi khuẩn thuộc chi *Enterobacter*. Chủng vi khuẩn

AG2 có độ tương đồng 100% với các vi khuẩn thuộc chi *Acinetobacter*. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh khả năng hòa tan lân của các chủng thuộc chi *Enterobacter* và *Acinetobacter* [33, 34].

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã phân lập và tuyển chọn được 2 chủng vi khuẩn có khả năng hòa tan lân vô cơ và sinh chất kích thích sinh trưởng thực vật (IAA) từ đất vùng rễ cây trồng tại thành phố Cần Thơ và tỉnh An Giang là *Enterobacter* sp. AG5.3 và *Enterobacter* sp. AG2. Hai chủng VK-P này có tiềm năng trong hỗ trợ sinh trưởng và năng suất của rau muống và cải xanh trong điều kiện canh tác nhà lưới.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Cần Thơ, mã số: CTCST2024-05-02.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Dương Thanh Nhã, Võ Quang Minh và Ngô Ngọc Hưng (2010). Một số đặc điểm hình thái phẫu diện của đất phèn ở Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học, Đại học Cần Thơ*, (14): 243 - 249.
- [2]. Hồ Quang Đức, Nguyễn Văn Đạo và Trương Xuân Cường (2013). Đánh giá sự biến động đất mặn, đất phèn vùng đồng bằng sông Hồng và đồng bằng sông Cửu Long sau 30 năm sử dụng. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam*, 339 - 353.
- [3]. Hossain, M. B. (2022). Phosphorus in soils and its management effects on crop, soil and water. *World Journal of Agriculture and Soil Science*, 8(2): 2 - 9. DOI: 10.33552/WJASS. 2022.08.000685.
- [4]. Nature Plants (2022). Approaching peak phosphorus. *Nature Plants*, 8, 979. <https://doi.org/10.1038/s41477-022-01247-2>.
- [5]. Shrivastava, M., Srivastava, P. C. & D'souza, S. F. (2018). Phosphate-solubilizing microbes: Diversity and phosphates solubilization mechanism. In role of rhizospheric microbes in soil: Volume 2: *Nutrient Management and Crop Improvement* (pp. 137 - 165). Singapore: Springer Singapore.
- [6]. Rawat, P., Das, S., Shankhdhar, D. & Shankhdhar, S. C. (2021). Phosphate-solubilizing microorganisms: Mechanism and their role in

phosphate solubilization and uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1): 49 - 68.

[7]. Mujumdar, S., Bhoyar, J., Akkar, A., Hundekar, S., Agnihotri, N., Jaybhay, P. & Bhuyan, S. (2023). *Acinetobacter*: A versatile plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). In *Plant-microbe interaction-recent advances in molecular and biochemical approaches* (pp. 327 - 362). Academic Press.

[8]. Wang, J., Deng, Z., Zhu, S., Yue, J., Tian, F., He, Y., Wu, Z. & Li, C. (2025). Dissolution of *Enterobacter hormaechei* WU-15 and passivation of Al^{3+} and Fe^{3+} regulate the migration and conversion of phosphorus in biochar-based phosphate fertilizer. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(3), 116886.

[9]. Trần Thị Giang, Nguyễn Thị Quyên và Cao Ngọc Điệp (2014). Phân lập và nhận diện vi khuẩn vùng rễ kích thích sự sinh trưởng (PGPR) từ một số loại rau ăn lá trồng tại thành phố Cần Thơ. *Tạp chí Khoa học, Đại học Cần Thơ*, 35, 65 - 73.

[10]. Bùi Thanh Đạo, Ngô Thanh Phong và Cao Ngọc Điệp (2021). Phân lập và nhận diện vi khuẩn nội sinh có khả năng cố định đạm, hòa tan lân và tổng hợp IAA trong cây đậu phộng (lạc) (*Arachis hypogaea* L.) trồng tại 3 huyện miền núi tỉnh Bình Định. *Tạp chí Khoa học, Đại học Cần Thơ*, 57(6): 125 - 131.

[11]. He, D. & Wan, W. (2021). Phosphate-solubilizing bacterium *Acinetobacter pittii* gp-1 affects rhizosphere bacterial community to alleviate soil phosphorus limitation for growth of soybean (*Glycine max*). *Frontiers in Microbiology*, 12, 737116.

[12]. Santoyo, G., de Oliveira Mendes, G., del Carmen Orozco-Mosqueda, M., Morales-Sandoval, P. H., Parra-Cota, F. I., de Los Santos-Villalobos, S., Li, H., Li, Z., López-Arredondo, D. & Herrera-Estrella, L. R. (2025). Phosphorus-solubilizing microorganisms: Advances in nutrient uptake mechanisms, plant growth promotion, and sustainable agriculture. *Microbiological Research*, 128419.

[13]. Cao Thị Mỹ Tiên (2020). Phân lập và tuyển chọn chủng vi khuẩn bản địa có khả năng hòa tan lân khó tan trong đất trồng lúa ở một số

huyện thuộc tỉnh Sóc Trăng. Luận văn Thạc sĩ ngành Công nghệ sinh học. Đại học Cần Thơ.

[14]. Bergey, D. H. (1994). Bergey's manual of determinative bacteriology. *Lippincott Williams & Wilkins*.

[15]. Paul, D. & Sinha, S. N. (2017). Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacterium *Pseudomonas aeruginosa* KUPSB12 with antibacterial potential from river Ganga, India. *Annals of Agrarian Science*, 15(1): 130 - 136.

[16]. Hoben, H. J. & Somasegaran, P. (1982). Comparison of the pour, spread, and drop plate methods for enumeration of *Rhizobium* spp. in inoculants made from presterilized peat. *Applied and environmental microbiology*, 44(5): 1246 - 1247.

[17]. Cao Ngọc Diệp, Nguyễn Thanh Tùng, Nguyễn Văn Anh và Trần Thị Giang (2011). Hiệu quả của phân hữu cơ - vi sinh trên năng suất và chất lượng rau xanh trồng trên đất phù sa tại tỉnh Long An. *Tạp chí Khoa học, Trường Đại học Cần Thơ*, 18b, 18 - 28.

[18]. Nguyễn Lê Phương, Nguyễn Võ Châu Ngân, Nguyễn Hữu Chiêm (2018). Khảo sát sự tích lũy nitrat trong rau muống (*Ipomoea aquatica*) và cải xanh (*Brassica juncea* L.) khi tưới bằng nước thải từ hầm ủ biogas. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Việt Nam*, 61(2): 47 - 54.

[19]. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6427-2:1998. Rau quả và các sản phẩm rau quả – Xác định hàm lượng axit ascorbic - Phần 2: Phương pháp thông thường.

[20]. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 8742:2011. Cây trồng - Xác định nitrat và nitrit bằng phương pháp so màu.

[21]. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 7924-2:2008 (ISO 16649-2:2001). Vi sinh vật trong thực phẩm và thức ăn chăn nuôi - Phương pháp định lượng *Escherichia coli* dương tính β -glucuronidaza – Phần 2: Kỹ thuật đếm khuẩn lạc ở 44°C sử dụng 5-bromo-4-clo-3-indolyl β -D-glucuronid.

[22]. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 10780-1:2017 (ISO 6579-1:2017). Vi sinh vật trong chuỗi thực phẩm - Phương pháp phát hiện, định lượng và xác định typ huyết thanh của *Salmonella* - Phần 1: Phương pháp phát hiện *Salmonella* spp..

[23]. Giang Cẩm Tú, Võ Lê Huyền Trang và Lê Thanh Khang (2024). Phân lập và tuyển chọn vi khuẩn chịu mặn tại huyện Cần Giờ, Thành phố Hồ Chí Minh có hoạt tính cố định đạm và hòa tan lân. *Tạp chí Khoa học, Đại học Cần Thơ*, 60, 438 - 447.

[24]. Kiprotich, K., Muoma, J., Omayio, D. O., Ndombi, T. S. & Wekesa, C. (2023). Molecular characterization and mineralizing potential of phosphorus solubilizing bacteria colonizing common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizosphere in Western Kenya. *International Journal of microbiology*, 1, 1 - 10.

[25]. Phạm Thị Miên và Phan Minh Thu (2021). Vi sinh vật chuyển hóa lân khó tan trong đất và tiềm năng áp dụng trong nông nghiệp. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*, 19(8): 1028 - 1038.

[26]. Mine, A. H., Coleman, M. L. & Colman, A. S. (2021). Phosphorus release and regeneration following laboratory lysis of bacterial cells. *Frontiers in microbiology*, 12, 641700.

[27]. Lebrazi, S., Niehaus, K., Bednarz, H., Fadil, M., Chraïbi, M. & Fikri-Benbrahim, K. (2020). Screening and optimization of indole-3-acetic acid production and phosphate solubilization by rhizobacterial strains isolated from *Acacia cyanophylla* root nodules and their effects on its plant growth. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 18(71): 1 - 12.

[28]. Hyder, S., Gondal, A. S., Rizvi, Z. F., Ahmad, R., Alam, M. M., Hannan, A., Ahmed, W., Fatima, N. & Inam-ul-Haq, M. (2020). Characterization of native plant growth promoting rhizobacteria and their anti-oomycete potential against *Phytophthora capsici* affecting chilli pepper (*Capsicum annum* L.). *Scientific Reports*, 10(13859): 1 - 15.

[29]. Pérez-García, L. A., Sáenz-Mata, J., Fortis-Hernández, M., Navarro-Muñoz, C. E., Palacio-Rodríguez, R. & Preciado-Rangel, P. (2023). Plant-growth-promoting rhizobacteria improve germination and bioactive compounds in cucumber seedlings. *Agronomy*, 13(315): 1 - 10.

[30]. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2008). *Quyết định số 99/2008/QĐ-BNN ngày 15 tháng 10 năm 2008 ban hành Quy định quản lý sản xuất, kinh doanh rau, quả và chè an toàn*.

[31]. Lastdrager, J., Hanson, J. & Smeekens, S. (2014). Sugar signals and the control of plant growth and development. *Journal of Experimental botany*, 65(3): 799 - 807.

[32]. Becker, C. & Kläring, H. P. (2016). CO₂ enrichment can produce high red leaf lettuce yield while increasing most flavonoid glycoside and some caffeic acid derivative concentrations. *Food chemistry*, 199, 736 - 745.

[33]. Sokolova, E. A., Khlistun, I. V., Mishukova, O. V., Tromenschleger, I. N., Chumanova, E. V. & Voronina, E. N. (2025).

Strain-specific phosphate mobilization in *Enterobacter*: Organic acid production and genomic architecture of solubilization mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences*, 27(322): 1 - 23.

[34]. Chakraborty, S., Upare, R. & Das, S. (2026). Mitigation of lead-induced soil toxicity and plant growth promotion by phosphate-solubilizing bacterium *Enterobacter hormaechei* KR2215 isolated from mangrove rhizosphere. *Journal of Environmental Sciences*, 186, 834 - 856.

ISOLATION AND SELECTION OF PHOSPHATE-SOLUBLE BACTERIA CAPABLE OF PROMOTING THE GROWTH, YIELD AND QUALITY OF LEAFY VEGETABLES

Pham Thi Hai Nghi¹, Do Thi Xuan¹, Dang Kim Thao¹,

Phan Vuong Ai Vy¹, Tran Thi Bach Kim²,

Pham Van Trong Tinh³, Nguyen Vo Chau Ngan²

¹ Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University

² College of Environment & Natural Resources, Can Tho University

³ Faculty of Rural Development, Can Tho University

Abstract

The study aimed to isolate and select phosphate-solubilizing bacteria (VK-P) to improve the yield and quality of water spinach (*Ipomoea reptans* L.) and green mustard (*Brassica juncea* L.). The research results isolated 30 VK-P strains capable of solubilizing insoluble calcium phosphate Ca₃(PO₄)₂ and 10 strains with high phosphate-solubilization indices (1.22 - 2.52) which were selected. Six strains showed strong phosphate-solubilizing activity (26.3 - 38.0 mg L⁻¹) and produced 10.0 - 19.6 mg L⁻¹ indole-3-acetic acid after 9 days of incubation. Among them, AG5.3 and AG2 strain stimulated the germination rate of the seed under laboratory conditions. The water spinach and green mustard inoculated with these two bacterial strains increased significantly in yield, marketable weight, high vitamin C content and nitrate content. The densities of harmful environmental microorganisms within permissible limits according to QCVN 8-3:2012/BYT of the Ministry of Health. The AG5.3 and AG2 were chosen to identify using a region of 16S rRNA gene sequencing, which showed that isolate AG5.3 shared 99.71% sequence similarity with *Enterobacter* sp. AG5.3, whereas isolate AG2 exhibited 100% sequence similarity with *Acinetobacter* sp. AG2. These two VK-P isolates showed considerable potential as bioinoculants for greenhouse cultivation of water spinach and green mustard.

Keywords: *Acinetobacter* sp., *Enterobacter* sp., green mustard, phosphorus solubilizing bacteria, water spinach.

Ngày nhận bài: 16/4/2026

Ngày chuyển phản biện: 24/4/2026

Ngày thông qua phản biện: 27/5/2026

Ngày duyệt đăng: 10/6/2026