Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ
Số chuyên đề: Khoa học tự nhiên Đồng bằng sông Cửu Long
ISSN 1859-2333 | e-ISSN 2815-5599

DOI:10.22144/ctujos.2026.194

TUYỂN CHỌN VÀ ĐỊNH DANH DÒNG NẤM HÒA TAN LÂN CHỊU MẶN TỪ ĐẤT VÙNG RỄ CÂY LÚA HOANG (*Oryza rufipogon*)

Dương Hoàng Yến Nhi[1], Cao Mẫn Quân[1], Võ Thị Ngọc Thơ[1,2], Nguyễn Thị Pha[1], Đỗ Tấn Khang[1], Trương Thị Bích Vân[1], Bùi Thanh Liêm[1], Nguyễn Phạm Anh Thi[1], Nguyễn Chánh Tín[1] và Trần Thị Giang[1,*]

[1]*Viện Công nghệ Sinh học và Thực phẩm, Đại học Cần Thơ, Việt Nam*
[2]*Trường Đại học Võ Trường Toản, Việt Nam*
**Tác giả liên hệ (Corresponding author): ttgiang@ctu.edu.vn*

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 08/06/2026
Sửa bài (Revised): 07/08/2026
Duyệt đăng (Accepted): 25/08/2026

Title: *Selection and identification of salt-tolerant phosphate-solubilizing fungal strains from the rhizosphere soil of wild rice (Oryza rufipogon)*

Author(s): *Duong Hoang Yen Nhi[1], Cao Man Quan[1], Vo Thi Ngoc Tho[1,2], Nguyen Thi Pha[1], Do Tan Khang[1], Truong Thi Bich Van[1], Bui Thanh Liem[1], Nguyen Pham Anh Thi[1], Nguyen Chanh Tin[1] and Tran Thi Giang[1,*]*

Affiliation(s): *[1]Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University, Viet Nam; [2]Vo Truong Toan University, Viet Nam*

TÓM TẮT

Lân là nguyên tố thiết yếu tham gia vào nhiều quá trình sinh lý và sinh hóa của cây trồng, nhưng phần lớn lân trong đất tồn tại ở dạng cố định. Kết quả nghiên cứu này đã phân lập được 31 dòng nấm hòa tan lân từ đất vùng rễ cây lúa hoang (Oryza rufipogon) tại thành phố Cần Thơ. Định tính khả năng hòa tan lân với chỉ số PSI dao động từ 1,04 đến 1,93. Qua kết quả định lượng lân hòa tan, dòng nấm OM9.2 thể hiện khả năng hòa tan lân mạnh nhất, đạt 1.041,36 mg/L sau ngày thứ 10. Việc định danh phân tử vùng ITS cho thấy dòng nấm OM9.2 có mối quan hệ gần nhất với chi Talaromyces trên cơ sở dữ liệu NCBI. Bên cạnh đó, dòng nấm OM9.2 có khả năng chịu mặn đến nồng độ muối NaCl 6‰. Đồng thời, khả năng hòa tan lân của dòng nấm đạt giá trị cao nhất ở nồng độ muối NaCl 2‰, với hàm lượng lân hòa tan trên 1.300 mg/L sau 15 ngày nuôi cấy.

Từ khóa: *Đất vùng rễ, chịu mặn, nấm hòa tan lân, Oryza rufipogon, Talaromyces*

ABSTRACT

Phosphorus is an essential element involved in many physiological and biochemical processes in plants; however, most phosphorus in soil exists in insoluble forms. Thirty-one phosphate-solubilizing fungal strains were isolated on NBRIP medium from the rhizosphere soil of wild rice (Oryza rufipogon) in Can Tho City in this study. Qualitative evaluation of phosphate-solubilizing ability showed PSI values ranging from 1.04 to 1.93. Based on quantitative analysis of soluble phosphorus, fungal strain OM9.2 exhibited the highest phosphate-solubilizing capacity, reaching 1,041.36 mg/L on day 10. Molecular identification using the ITS region revealed that strain OM9.2 showed the highest similarity to the Talaromyces genus in the NCBI database. In addition, strain OM9.2 demonstrated salt tolerance up to 6‰ NaCl. Notably, at 2‰ NaCl, this strain achieved the highest phosphate solubilization, exceeding 1300 mg/L on day 15.

Keywords: *Oryza rufipogon, phosphate-solubilizing fungi, rhizophere soil, salt tolerance, Talaromyces*

1. GIỚI THIỆU

Lân đóng vai trò quan trọng trong nhiều quá trình sinh lý, sinh hóa và trao đổi chất của cây, bao gồm quang hợp, chuyển hóa năng lượng, phân chia tế bào, sinh tổng hợp, phát triển hệ rễ và hô hấp (Khan et al., 2010). Lân cũng là thành phần cấu tạo của các phân tử sinh học quan trọng như ATP, acid nucleic và phospholipid. Tuy nhiên, lân hòa tan bón vào đất dưới dạng phân bón dễ bị cố định, nên việc bón phân lân trong thời gian dài đã dẫn đến sự tích tụ các loại lân khó tan (Alori et al., 2017). Lân trong đất phần lớn tồn tại ở dạng bị cố định bởi Ca^{2+} trong đất kiềm hoặc Fe^{3+}, Al^{3+} trong đất chua, dẫn đến cây trồng khó hấp thu (Alori et al., 2017; Rawat et al., 2021). Sự thiếu hụt lân hòa tan không chỉ làm giảm năng suất cây trồng mà còn là thách thức lớn đối với việc xây dựng một nền nông nghiệp bền vững, giảm lượng phân bón hóa học trong canh tác.

Các vi sinh vật trong đất, đặc biệt là nấm có vai trò quan trọng trong việc hòa tan lân khó tan. Chúng có khả năng tiết ra lượng lớn các acid hữu cơ (acid fomic, oxalic) và đạt hiệu suất hòa tan lân cao hơn nhiều so với các nhóm vi khuẩn (Rizvi et al., 2021). Hệ sợi nấm không chỉ tạo áp suất cơ học để xâm nhập trực tiếp vào các khoáng chất PO_4^{3-} khó tan (Gadd, 2021) mà còn phát triển mạng lưới vi sợi kéo dài hàng mét, vượt xa phạm vi hoạt động của các khuẩn lạc vi khuẩn. Đặc biệt, nấm hòa tan lân có tính ổn định cao và duy trì khả năng phân giải lân ổn định qua nhiều chu kỳ nuôi cấy (Yadav et al., 2020). Việc ứng dụng các chủng nấm hòa tan lân không chỉ giúp nâng cao hiệu quả sử dụng phân bón, góp phần tăng hàm lượng lân dễ tiêu trong đất mà còn làm tăng đáng kể khả năng hấp thu lân của cây trồng (Nacoon et al., 2020; Adnan et al., 2020).

Lúa hoang (*Oryza rufipogon*) thuộc chi *Oryza*, bao gồm 24 loài, trong đó có hai loài lúa trồng (*Oryza sativa* và *Oryza glaberrima)* và 22 loài lúa hoang khác. Các loài lúa hoang này phân bố chủ yếu ở châu Á, châu Phi, châu Đại Dương và châu Mỹ, cũng như các vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới khác tại 77 quốc gia (Li & Jiong, 2024). Theo nghiên cứu của Phượng và ctv. (2005), mặc dù số lượng loài lúa hoang ở khu vực Đồng bằng sông Cửu Long còn hạn chế nhưng sự đa dạng di truyền trong mỗi loài lại rất cao, tạo điều kiện thuận lợi cho việc khai thác và sử dụng trong các chương trình chọn giống lúa. Do đó, việc phân lập nấm hòa tan lân từ đất vùng rễ cây lúa hoang nhằm làm tăng tính đa dạng của các dòng nấm, đồng thời có thể tuyển chọn được dòng nấm tiềm năng ứng dụng trong canh tác nông nghiệp. Việc đánh giá khả năng chịu mặn của các dòng nấm phân lập nhằm mở rộng tiềm năng ứng dụng của chúng trên các vùng đất chịu ảnh hưởng của xâm nhập mặn, qua đó góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng vi sinh vật trong sản xuất nông nghiệp ở điều kiện đất mặn.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phân lập các dòng nấm có khả năng hòa tan lân

Mười hai mẫu đất vùng rễ cây lúa hoang được thu thập từ các xã/phường thuộc thành phố Cần Thơ (TPCT), bao gồm Đông Hiệp, Thới Long, Nhơn Ái, Trường Long, Trường Thành, Thới Lai và Ô Môn (Bảng 1). Các mẫu đất được thu thập trên địa bàn các khu vực không chịu ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn. Các mẫu được cho vào túi ni lông đã tiệt trùng và sau đó được bảo quản ở nhiệt độ lạnh (4ºC) đến khi thực hiện thí nghiệm.

Trong đó, 10 g đất vùng rễ cây lúa hoang đã được cân và chuyển vào bình tam giác chứa 90 mL nước cất đã tiệt trùng. Hỗn hợp được lắc 150 vòng/phút trong 2 giờ để tách các hạt đất và đồng nhất quần thể vi sinh vật. Sau đó, dung dịch gốc được pha loãng thành dãy thập phân các nồng độ 10^{-1}, 10^{-2} và 10^{-3}. Mẫu được lấy từ mỗi độ pha loãng và được trải lên môi trường thạch NBRIP (glucose 10 g/L, $Ca_3(PO_4)_2$ 5 g/L, $MgCl_2.6H_2O$ 5 g/L, $MgSO_4.7H_2O$ 0,25 g/L, KCl 0,2 g/L, $(NH_4)_2SO_4$ 0,1 g/L, agar 20 g/L, pH 7,0±0,2) (Nautiyal, 1999) để phát hiện nấm hòa tan lân. Đặc điểm nhận diện nấm hòa tan lân dựa trên sự xuất hiện của vòng halo trong suốt xung quanh khuẩn lạc sau 2 - 4 ngày ủ ở 30°C. Vòng halo hình thành xung quanh khuẩn lạc có thể là kết quả của hoạt động tiết enzyme phosphatase hoặc sự sản sinh các acid hữu cơ của nấm. Các acid hữu cơ làm giảm pH môi trường, góp phần hòa tan $Ca_3(PO_4)_2$ không tan thành các dạng phospho dễ hòa tan, từ đó tạo nên vùng halo bao quanh khuẩn lạc (Rawat et al., 2021). Các khuẩn lạc tạo vòng halo được cấy chuyền nhiều lần để thu được dòng thuần. Dòng nấm được xác định là thuần khi các lần cấy chuyền liên tiếp đều tạo khuẩn lạc có hình thái đại thể đồng nhất, không xuất hiện khuẩn lạc khác biệt và có đặc điểm hình thái vi thể (sợi nấm, bào tử) đồng nhất khi quan sát dưới kính hiển vi. Sau khi được xác nhận là thuần, các dòng nấm được quan sát và mô tả đặc điểm hình thái đại thể và vi thể.

Bảng 1. Các địa điểm thu mẫu đất vùng rễ cây lúa hoang trên địa bàn TPCT

STT	Ký hiệu mẫu đất	Địa điểm thu mẫu trước khi sáp nhập	Tên địa danh sau khi sáp nhập	Tọa độ
1	CD4	Xã Đông Hiệp, huyện Cờ Đỏ, TPCT	Xã Đông Hiệp, TPCT	10.09500°N, 105.49100°E
2	OM8	Phường Long Hưng, quận Ô Môn, TPCT	Phường Thới Long, TPCT	10.14700°N, 105.57700°E
3	OM9	Phường Long Hưng, quận Ô Môn, TPCT	Phường Thới Long, TPCT	10.12900°N, 105.59300°E
4	OM12	Phường Long Hưng, quận Ô Môn, TPCT	Phường Thới Long, TPCT	10.15600°N, 105.57800°E
5	PD32	Xã Nhơn Ái, huyện Phong Điền, TPCT	Xã Nhơn Ái, TPCT	9.98600°N, 105.64900°E
6	PD36	Xã Trường Long, huyện Phong Điền, TPCT	Xã Trường Long, TPCT	9.97700°N, 105.62200°E
7	TL1	Xã Tân Thạnh, huyện Thới Lai, TPCT	Xã Trường Thành, TPCT	10.09600°N, 105.57700°E
8	TL2	Xã Tân Thạnh, huyện Thới Lai, TPCT	Xã Trường Thành, TPCT	10.08700°N, 105.58500°E
9	TL3	Thị trấn Thới Lai, TPCT	Xã Thới Lai, TPCT	10.08700°N, 105.57900°E
10	TL6	Thị trấn Thới Lai, TPCT	Xã Thới Lai, TPCT	10.07100°N, 105.56100°E
11	TL27	Xã Thới Thạnh, huyện Thới Lai, TPCT	Phường Ô Môn, TPCT	10.09700°N, 105.60500°E
12	TL28	Xã Định Môn, huyện Thới Lai, TPCT	Xã Trường Thành, TPCT	10.06800°N, 105.60400°E

2.2. Định tính khả năng hòa tan lân của các dòng nấm đã phân lập

Các dòng nấm được cấy riêng lẻ dưới dạng khuẩn lạc đơn trên môi trường thạch NBRIP và ủ ở 30°C. Mỗi dòng được bố trí 3 đĩa lặp lại. Sau 2 ngày ủ, sự hình thành vòng halo xung quanh khuẩn lạc được theo dõi. Đường kính vòng halo được đo và khả năng hòa tan lân được đánh giá thông qua việc tính chỉ số hòa tan lân (PSI) theo công thức:

$$\mathrm{PSI} = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{B}}$$

Trong đó, A là đường kính tổng (khuẩn lạc + vòng halo, tính bằng mm) và B là đường kính khuẩn lạc (mm) (Yasmin & Bano, 2011).

2.3. Định lượng khả năng hòa tan lân của các dòng nấm đã phân lập

Phương pháp Molybdatenum blue (Abs_{840}) (Pradhan & Pokhrel, 2013) được sử dụng để xây dựng đường chuẩn và xác định hàm lượng lân hòa tan trong dung dịch. Các dòng nấm được cấy trên thạch nghiêng NBRIP và ủ trong 72 giờ. Sau đó, mật độ bào tử 10^5 CFU/mL được chuẩn hóa bằng buồng đếm Neubauer. 0,2 mL dung dịch sau khi đồng nhất được chủng vào ống falcon chứa 20 mL môi trường NBRIP lỏng. Hàm lượng lân hòa tan được đo vào các ngày 5, 10, 15 và 20. Vi khuẩn được nuôi cấy, thu và ly tâm ở 5.000 vòng/phút trong 5 phút. Phần dịch nổi sau ly tâm được thu và cho phản ứng với thuốc thử ammonium molybdate 2,5% để tạo phức màu. Sau khi ủ hỗn hợp phản ứng trong 30 - 45 phút ở nhiệt độ phòng, độ hấp thụ quang được đo tại bước sóng 840 nm.

2.4. Định danh dòng nấm có khả năng hòa tan lân tốt nhất

Vùng ITS thuộc rDNA của dòng nấm được khuếch đại bằng kỹ thuật PCR sử dụng cặp mồi đặc hiệu ITS1 và ITS4 (White et al., 1990). Phản ứng PCR được thực hiện với các điều kiện sau: bước biến tính ban đầu ở 95°C trong 3 phút; tiếp theo là 30 chu kỳ gồm biến tính ở 95°C trong 30 giây, bắt cặp ở 55°C trong 30 giây và kéo dài mạch ở 72°C trong 1,5 phút; cuối cùng là bước kéo dài mạch cuối ở 72°C trong 5 phút (Girija et al., 2023). Sau đó, sản phẩm PCR được giải trình tự bằng hệ thống Applied Biosystems. Trình tự thu được so sánh mức độ tương đồng với cơ sở dữ liệu gen của NCBI bằng chương trình BLASTN.

2.5. Đánh giá khả năng hòa tan lân trong điều kiện mặn của dòng nấm đã định danh

Muối NaCl được bổ sung lần lượt với các nồng độ 0‰, 2‰, 4‰ và 6‰ vào môi trường NBRIP lỏng để đánh giá khả năng chịu mặn của dòng nấm đã định danh. Phương pháp Molybdatenum blue (Abs_{840}) (Pradhan & Pokhrel, 2013) được tiến hành để định lượng hàm lượng lân hòa tan của dòng nấm qua các ngày 5, 10, 15 và 20. Các bước còn lại được thực hiện tương tự như Mục 2.3.

2.6. Xử lý số liệu

Dữ liệu được xử lý bằng phần mềm Microsoft Excel 2016. Phân tích phương sai (ANOVA) một nhân tố và hai nhân tố bằng phần mềm thống kê Minitab 16. Cây phát sinh loài được xây dựng bằng phần mềm MEGA 12.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

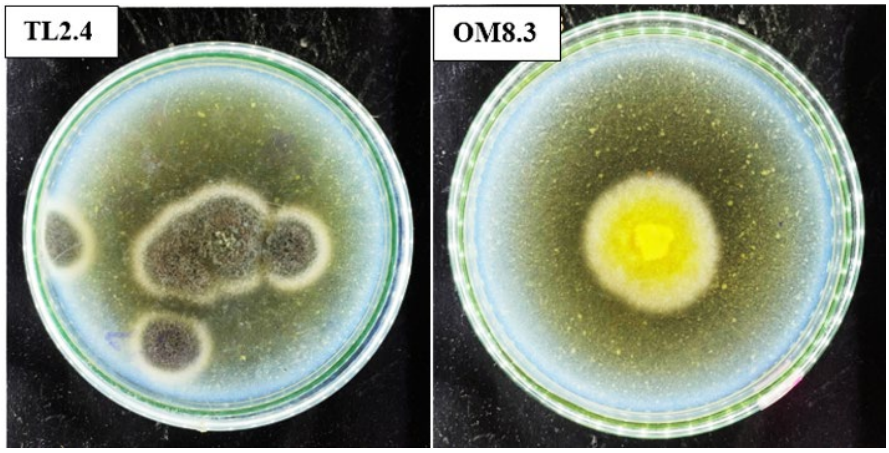
3.1. Kết quả phân lập các dòng nấm có khả năng hòa tan lân

Ba mươi mốt dòng nấm có khả năng hòa tan lân đã được phân lập từ mười hai mẫu đất khác nhau. Đặc điểm hình thái đại thể và vi thể của các dòng nấm được ghi nhận trong Bảng 2 và Hình 1. Tất cả dòng nấm phân lập từ đất vùng rễ cây lúa hoang đều có khuẩn lạc dạng hình tròn, bề mặt khuẩn lạc nhô cao trên môi trường và bìa khuẩn lạc dạng sợi phát triển nhanh sau 2 đến 4 ngày nuôi cấy trên môi trường thạch NBRIP. Việc quan sát đặc điểm vi thể cho thấy có 28/31 dòng (90,32%) có sợi nấm phân nhánh, có vách ngăn. Trong khi 3 dòng (9,68%), gồm OM8.3, TL2.3 và TL3.4, có sợi nấm phân nhánh và không có vách ngăn. Về đặc điểm bào tử, 26 dòng nấm tạo bào tử hình cầu, 2 dòng có bào tử hình bầu dục và 3 dòng không tạo bào tử. Nhiều nghiên cứu đã phân lập được các dòng nấm chỉ phát triển hệ sợi nhưng không sinh bào tử từ nhiều nguồn gốc khác nhau. Chúng được xếp vào nhóm Agonomycetes (hay được gọi là Mycelia sterilia) (Promputtha et al., 2005). Nghiên cứu của Coutinho et al. (2011) đã phân lập được 318 dòng nấm hòa tan lân từ khu vực bán khô hạn trồng dưa lưới (*Cucumis melo* L. cv. gold mine) thuộc 23 chi nấm sợi đã được biết đến như: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* và một số dòng thuộc Mycelia sterilia.

Bảng 2. Đặc điểm hình thái đại thể và vi thể của 31 dòng nấm đã phân lập

STT	Dòng nấm	Đặc điểm màu sắc khuẩn lạc	Đặc điểm hình thái vi thể	
			Khuẩn ty	Hình dạng bào tử
1	CD4.2	Trắng, nâu đậm	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
2	OM8.2	Trắng, nâu đậm	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
3	OM8.3	Trắng, vàng	Phân nhánh, không có vách ngăn	Không có bào tử
4	OM9.2	Trắng, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
5	OM12.3	Trắng, nâu đậm	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
6	OM12.4	Trắng, nâu đậm	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
7	OM12.5	Trắng, nâu đậm	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
8	OM12.6	Trắng, nâu đậm	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
9	PD32.5	Trắng, cam, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
10	PD36.1	Xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Bầu dục
11	PD36.4	Trắng, nâu đậm	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
12	PD36.5	Trắng, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
13	PD36.6	Trắng, nâu đậm	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
14	PD36.7	Trắng, nâu đậm	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
15	TL1.1	Trắng, vàng, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
16	TL1.4	Trắng, vàng, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
17	TL2.1	Trắng, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
18	TL2.2	Trắng, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
19	TL2.3	Trắng, vàng	Phân nhánh, không có vách ngăn	Không có bào tử
20	TL2.4	Trắng, xanh, đỏ	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
21	TL2.6	Trắng, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
22	TL2.7	Trắng, vàng, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
23	TL3.2	Trắng, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
24	TL3.3	Trắng, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
25	TL3.4	Trắng, vàng	Phân nhánh, không có vách ngăn	Không có bào tử

STT	Dòng nấm	Đặc điểm màu sắc khuẩn lạc	Đặc điểm hình thái vi thể	
			Khuẩn ty	Hình dạng bào tử
26	TL3.5	Trắng, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
27	TL6.2	Trắng, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
28	TL27.1	Trắng, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
29	TL27.2	Trắng, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
30	TL27.3	Trắng, cam, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Cầu
31	TL28.4	Trắng, xanh	Phân nhánh, có vách ngăn	Bầu dục



Hình 1. Đặc điểm khuẩn lạc của các dòng nấm phân lập từ đất vùng rễ cây lúa hoang

Kết quả quan sát cho thấy có sự khác biệt về màu sắc khuẩn lạc giữa các dòng nấm phân lập. Bảng 2 cho thấy có chín dòng nấm với khuẩn lạc bìa màu trắng và chuyển dần sang nâu đậm ở trung tâm, trong khi mặt dưới khuẩn lạc vẫn giữ màu trắng. Bên cạnh đó, 12 dòng nấm có bìa màu trắng và trung tâm màu xanh, nhưng mặt dưới có màu cam. Ngoài ra, một số dòng có khuẩn lạc màu trắng với trung tâm chuyển sang màu vàng hoặc màu cam, sau thời gian nuôi cấy kéo dài, sẽ chuyển sang màu xanh do quá trình sinh bào tử làm cho màu khuẩn lạc thay đổi. Một dòng nấm có khuẩn lạc màu xanh và một dòng có khuẩn lạc thay đổi màu sắc từ bìa màu trắng chuyển dần sang xanh và cuối cùng là màu đỏ ở trung tâm. Nghiên cứu của Yang et al. (2022) trên dòng nấm hòa tan lân F9 được cấy trên môi trường PDA cho thấy trong 120 giờ, khuẩn lạc ban đầu có màu trắng, dần chuyển sang màu xanh đậm và cuối cùng là màu xanh xám có viền trắng. Nghiên cứu khác của Raut et al. (2022) đã mô tả đặc điểm khuẩn lạc của 5 dòng nấm hòa tan lân phân lập từ rễ cây ớt với màu sắc bao gồm trắng và đen, hình thành bào tử với màu nâu, đen và xanh lục.

3.2. Kết quả định tính khả năng hòa tan lân của các dòng nấm

Kết quả trình bày trong Bảng 3 cho thấy chỉ số PSI của các dòng nấm phân lập dao động từ 1,04 đến 1,93. Dựa trên giá trị PSI của các dòng nấm sau hai ngày ủ, có chín dòng nấm gồm OM9.2, PD36.1, TL1.1, TL2.1, TL2.2, TL2.4, TL3.3, TL3.5 và TL6.2 thể hiện khả năng hòa tan lân cao hơn có ý nghĩa thống kê so với các dòng còn lại. Trong đó, dòng TL2.1 (1,93) có chỉ số hòa tan lân cao nhất. Tiếp đến là các dòng TL1.1 (1,81), OM9.2 (1,79), TL6.2 (1,71) và TL3.3 (1,69) cũng cho thấy khả năng hòa tan lân hiệu quả với chỉ số PSI trên 1,6. Các dòng TL2.2, PD36.1, TL2.4 và TL3.5 cũng ghi nhận giá trị PSI ở mức trên 1,5.

Bảng 3. Chỉ số hòa tan lân PSI của các dòng nấm đã phân lập

STT	Dòng nấm	PSI	STT	Dòng nấm	PSI
1	CD4.2	$1,33\pm0,13^{c-i}$	17	TL2.1	$1,93\pm0,13^{a}$
2	OM8.2	$1,14\pm0,04^{f-i}$	18	TL2.2	$1,59\pm0,20^{a-e}$
3	OM8.3	$1,37\pm0,11^{c-i}$	19	TL2.3	$1,46\pm0,16^{b-g}$
4	OM9.2	$1,79\pm0,10^{ab}$	20	TL2.4	$1,55\pm0,06^{a-e}$
5	OM12.3	$1,04\pm0,00^{i}$	21	TL2.6	$1,44\pm0,07^{b-h}$
6	OM12.4	$1,11\pm0,02^{f-i}$	22	TL2.7	$1,32\pm0,18^{d-i}$

STT	Dòng nấm	PSI	STT	Dòng nấm	PSI
7	OM12.5	1,09±0,03^{ghi}	23	TL3.2	1,45±0,06^{b-h}
8	OM12.6	1,14±0,17^{f-i}	24	TL3.3	1,69±0,19^{a-d}
9	PD32.5	1,49±0,10^{b-f}	25	TL3.4	1,35±0,14^{c-i}
10	PD36.1	1,57±0,14^{a-e}	26	TL3.5	1,54±0,23^{a-e}
11	PD36.4	1,10±0,04^{ghi}	27	TL6.2	1,71±0,18^{abc}
12	PD36.5	1,31±0,03^{d-i}	28	TL27.1	1,25±0,06^{e-i}
13	PD36.6	1,10±0,06^{f-i}	29	TL27.2	1,36±0,10^{c-i}
14	PD36.7	1,10±0,02^{f-i}	30	TL27.3	1,30±0,03^{d-i}
15	TL1.1	1,81±0,24^{ab}	31	TL28.4	1,06±0,04^{hi}
16	TL1.4	1,40±0,08^{c-i}			
P			< 0,001		
CV (%)			8,79		

Ghi chú: Các giá trị trong bảng là trung bình của 3 lần lặp lại. Các ký tự khác nhau theo sau các giá trị trên cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa về mặt thống kê với độ tin cậy 95%.

Kết quả định tính khả năng hòa tan lân của các dòng nấm cho thấy tất cả các dòng nấm khảo sát đều có khả năng hòa tan lân vô cơ trên môi trường thạch NBRIP; tuy nhiên, hiệu quả hòa tan khác nhau và tùy thuộc vào từng loài nấm. Sự khác biệt về khả năng hình thành vòng halo có thể do sự khác nhau trong khả năng sản sinh acid hữu cơ và enzyme phosphatase là những yếu tố đóng vai trò quan trọng trong quá trình hòa tan lân (Sharma et al., 2013; Sembiring & Sbrina, 2022).

Theo Ong et al. (2024), sự đa dạng của nấm vùng rễ từ *Nanhaia speciosa* và khả năng hòa tan lân khó tan cũng như các hợp chất hữu cơ, giá trị PSI trên môi trường Pikoveskaya's (PVK) ghi nhận dao động từ 2,08 đến 2,22. Hai dòng hiệu quả nhất trong nghiên cứu này là *Trichoderma virens* Tv-LHOP3 và *Trichoderma koningiopsis* Tk-LHOP1, với giá trị PSI cao nhất lần lượt là 2,22 và 2,18. Tương tự, nghiên cứu của Islam et al. (2019) cho thấy kết quả giá trị PSI của 16 dòng nấm phân lập trên môi trường PKV dao động từ 1,42 đến 2,24, trong đó dòng *Penicillium oxalicum* SI-16URAgr có PSI cao nhất đạt 2,24, dòng *Aspergillus nevius* SI-3URAgr có PSI thấp nhất đạt 1,42.

Một nghiên cứu khác của Majumder et al. (2019) đã đánh giá tiềm năng hòa tan lân của 17 dòng *Talaromyces pinophilus* trên môi trường PVK và ghi nhận giá trị PSI dao động từ 1,05 đến 1,46. Sự khác biệt về chỉ số PSI giữa các nghiên cứu cho thấy thành phần đất ở các vùng sinh thái khác nhau có thể ảnh hưởng đến hoạt động hòa tan lân của các quần thể vi sinh vật. Ngoài ra, các vi sinh vật hòa tan lân được phân lập từ những môi trường khắc nghiệt như đất mặn, đất kiềm, đất nghèo dinh dưỡng hoặc khu vực có điều kiện nhiệt độ khắc nghiệt thường thể hiện hiệu quả hòa tan lân cao hơn khi được đánh giá trong điều kiện môi trường ôn hòa hơn (Zhu et al., 2011).

3.3. Kết quả định lượng hàm lượng lân hòa tan của các dòng nấm đã phân lập

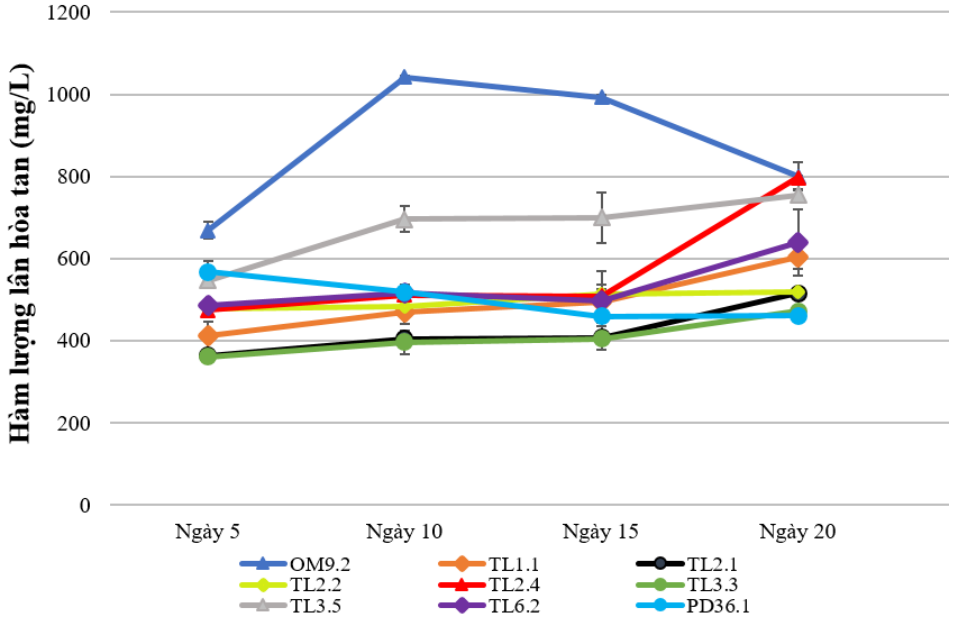
Theo kết quả trình bày trong Hình 2, hàm lượng lân hòa tan của 9 dòng nấm biến động đáng kể theo thời gian. Vào ngày thứ 5, dòng OM9.2 cho hàm lượng lân hòa tan cao nhất đạt 669,11 mg/L. Trong khi đó, các dòng TL1.1, TL2.1 và TL3.3 có khả năng hòa tan lân thấp nhất, lần lượt là 412,73, 364,13 và 361,53 mg/L.

Đến ngày thứ 10, khả năng hòa tan lân của các dòng nấm bắt đầu tăng (dao động từ 397,31 mg/L đến 1.041,36 mg/L) phản ánh giai đoạn nấm đã thích nghi với môi trường nuôi cấy và tăng cường chuyển hóa lân. Dòng nấm OM9.2 đạt nồng độ lân hòa tan cao nhất là 1.041,36 mg/L và tăng 372,25 mg/L so với ngày thứ 5. Các dòng nấm còn lại, khả năng hòa tan lân vẫn ở mức trung bình, hàm lượng lân hòa tan ghi nhận dưới 800 mg/L nhưng giá trị nhìn chung cao hơn so với ngày thứ 5.

Đến ngày thứ 15, khả năng hòa tan lân của một số dòng nấm tiếp tục tăng và một số dòng ghi nhận giá trị lân hòa tan giảm so với ngày thứ 10. Sự khác biệt về xu hướng hòa tan lân giữa các dòng nấm cho thấy mỗi dòng có đặc điểm sinh trưởng và khả năng thích nghi với môi trường nuôi cấy khác nhau. Các dòng TL1.1, TL2.1, TL2.2, TL2.4, TL3.3, TL3.5 và TL6.2 vẫn tiếp tục gia tăng hàm lượng lân hòa tan đến ngày thứ 15, cho thấy các dòng này có tốc độ sinh trưởng chậm hơn hoặc vẫn đang ở giai đoạn hoạt động mạnh của quá trình hòa tan lân. Riêng dòng PD36.1 có xu hướng hòa tan lân giảm từ ngày thứ 10 đến ngày thứ 15. Dòng OM9.2 tuy hàm lượng lân hòa tan có xu hướng giảm nhưng vẫn là dòng hòa tan lân đạt giá trị cao nhất trong tất cả các dòng

nấm khảo sát (992,73 mg/L). Đối với các dòng OM9.2 và PD36.1, hàm lượng lân hòa tan giảm sau ngày thứ 10 có thể do nguồn dinh dưỡng trong môi trường dần cạn kiệt, sự tích lũy các chất chuyển hóa trong quá trình sinh trưởng và sự thay đổi pH do tích lũy acid hữu cơ, từ đó làm giảm hoạt động hòa tan lân (Sharma et al., 2013; Li et al., 2016).

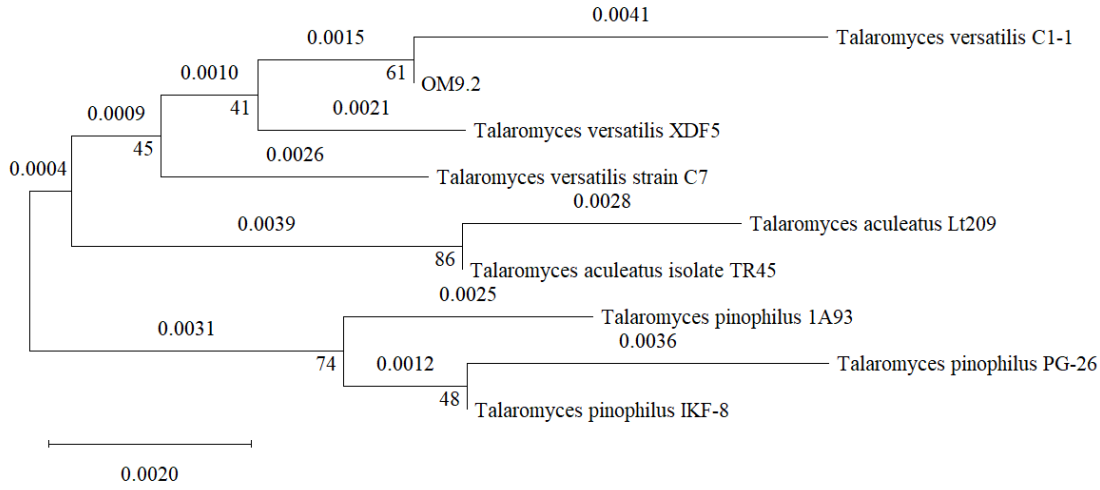
Đến ngày thứ 20, hàm lượng lân hòa tan có sự biến động rõ rệt. Hàm lượng lân của các dòng nấm OM9.2 và PD36.1 vẫn tiếp tục giảm, trong đó dòng OM9.2 giảm xuống còn 800,54 mg/L (giảm 192,19 mg/L so với ngày 15). Các dòng nấm còn lại vẫn tiếp tục tăng khả năng hòa tan lân. Tuy nhiên, hàm lượng lân hòa tan ghi nhận vẫn ở mức tương đối thấp, dưới 800 mg/L. Nghiên cứu của Majumder et al. (2019) cho thấy tất cả các dòng *Talaromyces pinophilus* phân lập đều có khả năng hòa tan lân trong môi trường chứa $Ca_3(PO_4)_2$, trong đó dòng NBRC6345 được ghi nhận với hàm lượng lân hòa tan cao nhất đạt 574,8 mg/L P (tương đương 1.761,5 mg/L PO_4^{3-}) sau 6 ngày ủ. Một nghiên cứu khác của Singh et al. (2011) đã phân lập và đánh giá hiệu quả hòa tan lân của các dòng *Aspergillus niger* từ vùng Bắc Cực, ghi nhận khả năng hòa tan tối đa đạt 285 µg/mL P (tương đương 873,4 mg/L PO_4^{3-}) sau 7 ngày ủ. Điều này cho thấy sự đa dạng về khả năng hòa tan lân của các dòng nấm đã phân lập trong các nghiên cứu. Khả năng hòa tan lân phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố, bên cạnh đó, yếu tố nguồn gốc phân lập cũng quyết định đến khả năng thích nghi và hòa tan lân của các dòng nấm (Nasr et al., 2021). Qua kết quả định tính và định lượng lân hòa tan, dòng nấm OM9.2 thể hiện khả năng hòa tan lân ổn định và vượt trội hơn so với các dòng nấm còn lại nên được tuyển chọn để tiến hành định danh bằng phương pháp sinh học phân tử.



Hình 2. Hàm lượng lân hòa tan của các dòng nấm tuyển chọn

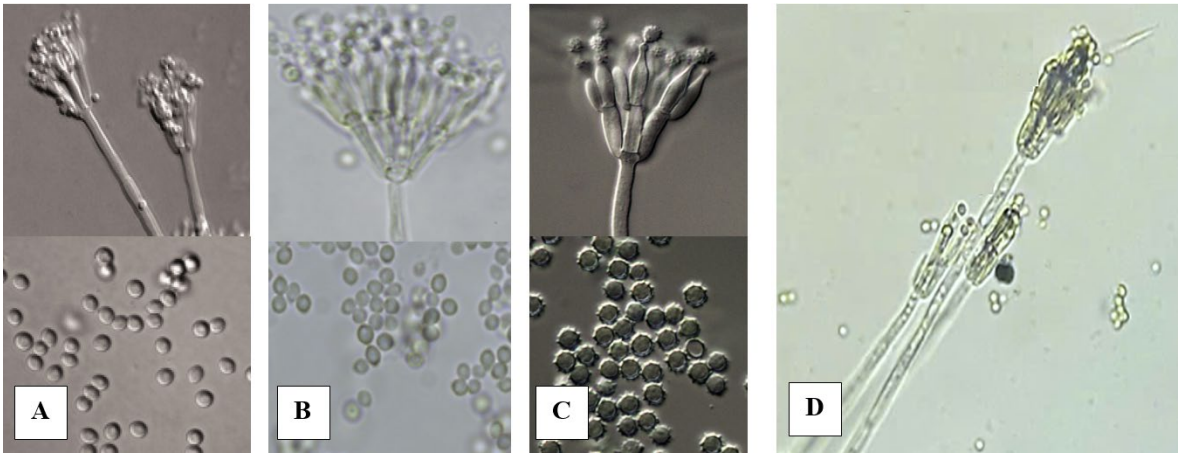
3.4. Kết quả định danh dòng nấm OM9.2

Kết quả phân tích BLASTN của dòng nấm OM9.2 trên cơ sở dữ liệu NCBI cho thấy dòng nấm này có mối quan hệ gần gũi với các loài thuộc chi *Talaromyces* sp. Trình tự nucleotide của dòng nấm đã được lưu trữ trên GenBank với mã số truy cập PV931936. Dòng nấm OM9.2 được xếp cùng nhánh với *Talaromyces versatilis* C1-1 với giá trị hỗ trợ bootstrap là 61%, cho thấy dòng nấm trong nghiên cứu có quan hệ phát sinh loài gần với *Talaromyces versatilis* (Hình 3). Tuy nhiên, giá trị bootstrap ở mức trung bình cho thấy mức độ hỗ trợ của nhánh này chưa cao, do đó việc định danh nên được xem xét kết hợp với đặc điểm hình thái. Kết quả so sánh ở Hình 4 cho thấy có sự tương đồng về màu sắc khuẩn lạc, hình dạng bào tử, đặc điểm sợi nấm giữa dòng OM9.2 và các loài *Talaromyces pinophilus*, *Talaromyces aculeatus*, *Talaromyces versatilis*.



Hình 3. Cây phát sinh chủng loại thể hiện mối quan hệ giữa dòng nấm OM9.2 và các dòng nấm từ GenBank

Ghi chú: Cây phát sinh chủng loại được xây dựng dựa trên dữ liệu từ NCBI bằng phần mềm MEGA12. Giá trị bootstrap được thiết lập với 1.000 lần lặp lại. Thanh tỷ lệ (scale bar = 0,0020) biểu thị khoảng cách di truyền.



Hình 4. Đặc điểm sợi nấm quan sát dưới kính hiển vi của hai dòng nấm

Ghi chú: Talaromyces versatilis (A) (Heo et al., 2019), Talaromyces pinophilus (B) (Stephen & Zeljko, 2019), Talaromyces aculeatus (C) (Yilmaz et al., 2014) và OM9.2 (D).

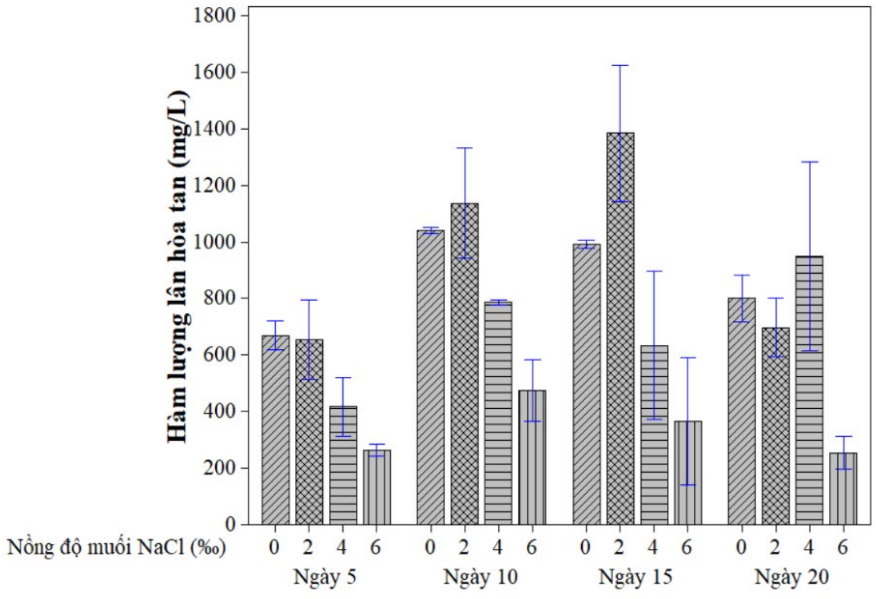
Tuy chưa có nhiều nghiên cứu cho thấy dòng nấm *Talaromyces versatilis* có khả năng hòa tan lân nhưng một số nghiên cứu cho thấy *Talaromyces versatilis* có khả năng sản xuất các enzyme có lợi như xylanase và endo-1,3(4)-β-glucanase, được ứng dụng trong sản xuất thức ăn chăn nuôi (EFSA FEEDAP Panel, 2013). Nghiên cứu của Lafond et al. (2014) cho thấy *Talaromyces versatilis* còn có khả năng sinh enzyme xylanase giúp phân giải cellulose và hemicellulose. Bên cạnh đó, một số loài khác thuộc chi *Talaromyces* đã được chứng minh là có khả năng hòa tan lân hiệu quả. Nghiên cứu của Majumder et al. (2019) đã đánh giá khả năng hòa tan lân của 17 dòng *Talaromyces pinophilus* nhằm xác định điều kiện tối ưu cho sản xuất phân bón thân thiện với môi trường. Trong đó, $Ca_3(PO_4)_2$ là dạng lân được hòa tan hiệu quả nhất, tiếp theo là $AlPO_4$ và $FePO_4$. Các dòng *Talaromyces pinophilus* SI-17URAgr, NBRC6345 và NBRC100533 thể hiện khả năng hòa tan lân mạnh đối với $Ca_3(PO_4)_2$, trong khi dòng SI-19URAgr có khả năng hòa tan cả $AlPO_4$ và $FePO_4$. Một nghiên cứu khác của Suleman et al. (2022) đã phân lập và nhận diện các dòng nấm hòa tan lân từ đất vùng rễ cây khoai mỡ, ngô, khóm và chuối. Trong đó, dòng nấm *Talaromyces aculeatus* phân lập cho kết quả định lượng lân hòa tan đạt

125,6 mg/L P (tương đương 385,1 mg/L PO_4^{3-}). Nhìn chung, kết quả nghiên cứu đã cung cấp thêm những dữ liệu về tiềm năng hòa tan lân của các loài thuộc chi *Talaromyces*, góp phần làm phong phú nguồn thông tin phục vụ các nghiên cứu tiếp theo.

3.5. Kết quả đánh giá khả năng chịu mặn của dòng nấm OM9.2

Kết quả thử nghiệm được thể hiện ở Hình 5, nhìn chung dòng nấm OM9.2 có khả năng chịu nồng độ muối NaCl lên đến 6‰. Ở nồng độ muối NaCl 2‰ dòng nấm OM9.2 thể hiện khả năng hòa tan lân tương đối tốt vào ngày thứ 15, hàm lượng lân đạt ở mức trên 1.300 mg/L (cao hơn so với nồng độ muối NaCl 0‰). Khả năng hòa tan lân của dòng nấm OM9.2 tăng khi ở nồng độ muối NaCl 2‰ có thể do đây là mức mặn nhẹ, kích thích đáp ứng thích nghi của nấm và tăng cường tiết acid hữu cơ, từ đó làm giảm pH môi trường và thúc đẩy quá trình hòa tan lân khó tan. Nghiên cứu của Srinivasan et al. (2012) cũng cho thấy khi các chủng vi sinh vật hòa tan lân phân lập từ đất nhiễm mặn được ghi nhận có khả năng hòa tan lân tăng ở một khoảng nồng độ NaCl thích hợp trước khi giảm ở nồng độ muối cao hơn. Theo đó, chủng nấm *Aspergillus* sp. PSFNRH-2 cho thấy khả năng hòa tan lân tăng dần khi nồng độ NaCl tăng từ 0,002 M đến 1,0 M và đạt hàm lượng lân hòa tan cao nhất là 17,21% tại thời điểm 9 ngày sau nuôi cấy. Khi nồng độ NaCl tiếp tục tăng lên đến 2,0 M, khả năng hòa tan lân của chủng nấm này giảm dần.

Đến ngày thứ 20, hàm lượng lân hòa tan giảm dần dưới mức 1.000 mg/L. Khi môi trường được bổ sung nồng độ muối NaCl 4‰ hàm lượng lân hòa tan của dòng nấm OM9.2 bắt đầu có sự giảm mạnh (dưới 800 mg/L) và thấp hơn so với nồng độ đối chứng (0‰). Điều này cho thấy dòng nấm OM9.2 bị ức chế bởi nồng độ muối cao (stress mặn), từ đó ảnh hưởng đến quá trình sinh trưởng của nấm và gây hạn chế quá trình hòa tan lân (Joshi et al., 2021). Ở nồng độ này, hàm lượng lân hòa tan đạt đỉnh vào ngày thứ 10 và bắt đầu giảm dần đến ngày thứ 15. Khi môi trường dần cạn kiệt chất dinh dưỡng, dẫn đến pha suy vong của tế bào, tích lũy chất độc (Aliyat et al., 2022) và pH môi trường giảm làm cho hàm lượng lân hòa tan giảm (Sanchez-Gonzalez et al., 2023). Tuy nhiên, đến ngày thứ 20, hàm lượng lân hòa tan bắt đầu tăng trở lại và trên mức 800 mg/L. Kết quả này phản ánh sự tái thích nghi sinh lý của nấm, đồng thời các bào tử của nấm bị phân hủy có thể tạo ra các lân nội bào dẫn đến việc làm tăng hàm lượng lân hòa tan (Cao et al., 2023).



Hình 5. Hàm lượng lân hòa tan của dòng nấm OM9.2 tại các nồng độ muối NaCl khác nhau

Tiếp đến là môi trường được bổ sung nồng độ muối 6‰, với điều kiện stress mặn cao đã gây ảnh hưởng lớn đến sự sinh trưởng và khả năng hòa tan lân của dòng nấm OM9.2. Do đó, hàm lượng lân hòa tan được ghi nhận tại nồng độ muối này tương đối thấp (dưới 500 mg/L). Tuy nhiên, ở nồng độ muối này, nấm vẫn có thể sinh trưởng dù bị ảnh hưởng bởi stress mặn.

Nghiên cứu của Fan et al. (2022) đã tiến hành thử nghiệm khả năng chịu mặn và hòa tan lân của

dòng nấm *Penicillium oxalicum* F2 và *Aspergillus niger* F19 trong điều kiện các nồng độ muối NaCl khác nhau. Kết quả cho thấy dòng nấm F2 có thể chịu được nồng độ muối lên đến 7% và F19 có thể chịu được nồng độ muối đến 9%. Bên cạnh đó, khả năng hòa tan lân của 2 dòng nấm này cũng đạt giá trị lần lượt là 480,96 mg/L và 772,69 mg/L PO_4^{3-}. Kết quả trên cho thấy hiệu quả hòa tan lân của dòng nấm OM9.2 tốt hơn so với 2 dòng nấm F2 và F19 nhưng khả năng chịu mặn lại kém hơn. Tóm lại, các thử nghiệm cho thấy tiềm năng dòng nấm OM9.2 có thể được ứng dụng trong canh tác nông nghiệp tại các vùng đất chịu ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn, có độ mặn từ thấp đến trung bình. Điều này có ý nghĩa quan trọng trong việc định hướng canh tác nông nghiệp thích ứng với biến đổi khí hậu, an toàn và thân thiện với môi trường.

4. KẾT LUẬN

Từ mười hai mẫu đất thu thập tại TPCT, 31 dòng nấm có khả năng hòa tan lân đã được phân lập. Kết quả định tính khả năng hòa tan lân cho thấy chỉ số hòa tan lân (PSI) dao động từ 1,04 đến 1,93. Trong đó, chín dòng thể hiện giá trị PSI cao nhất gồm OM9.2, TL1.1, TL2.1, TL2.2, TL2.4, TL3.3, TL3.5, TL6.2 và PD36.1. Kết quả định lượng cho thấy dòng OM9.2 có khả năng hòa tan lân mạnh nhất, đạt 1.041,36 mg/L vào ngày thứ 10. Kết quả định danh dòng nấm OM9.2 cho thấy có quan hệ gần gũi với chi *Talaromyces*. Dòng nấm OM9.2 có thể hòa tan lân chịu mặn với nồng độ muối NaCl 6‰. Khả năng hòa tan lân hiệu quả nhất ở nồng độ muối NaCl 2‰ với hàm lượng lân hòa tan ghi nhận đạt giá trị trên 1.300 mg/L vào ngày thứ 15. Kết quả trên cho thấy hiệu quả hòa tan lân và tiềm năng ứng dụng của dòng nấm OM9.2 vào canh tác nông nghiệp, đặc biệt có ý nghĩa với những vùng chịu ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn.

LỜI CẢM TẠ

Nghiên cứu được tài trợ kinh phí từ đề tài khoa học và công nghệ cấp Thành phố Cần Thơ "Thu thập, bảo tồn, phát triển nguồn gen vi sinh vật trong quần thể lúa hoang dại tại Thành phố Cần Thơ", số hợp đồng 10/HĐ-SKHCN.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Adnan, M., Fahad, S., Zamin, M., Shah, S., Mian, I. A., Danish, S., Zafar-Ul-Hye, M., Battaglia, M. L., Naz, R. M. M., Saeed, B., Saud, S., Ahmad, I., Yue, Z., Brtnicky, M., Holatko, J., & Datta, R. (2020). Coupling phosphate-solubilizing bacteria with phosphorus supplements improve maize phosphorus acquisition and growth under lime induced salinity stress. *Plants*, *9*(7), 900. https://doi.org/10.3390/plants9070900

Aliyat, F. Z., Maldani, M., El Guilli, M., Nassiri, L., & Ibijbijen, J. (2022). Phosphate-solubilizing bacteria isolated from phosphate solid sludge and their ability to solubilize three inorganic phosphate forms: Calcium, iron, and aluminum phosphates. *Microorganisms*, *10*(5), 980. https://doi.org/10.3390/microorganisms10050980

Alori, E. T., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, *8*, 971. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971

Cao, T., Luo, Y., Shi, M., Tian, X., & Kuzyakov, Y. (2023). Microbial interactions for nutrient acquisition in soil: Miners, scavengers, and carriers. *Soil Biology and Biochemistry*, *188*, 109215. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2023.109215

Coutinho, F. P., Cavalcanti, M. A. de Q., & Yano-Melo, A. M. (2011). Phosphate-solubilizing fungi isolated from a semiarid area cultivated with melon (*Cucumis melo* L. cv. gold mine). *Acta Botanica Brasilica*, *25*(4), 929–931. https://doi.org/10.1590/s0102-33062011000400020

EFSA FEEDAP Panel (EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed). (2013). Scientific opinion on Rovabio® Excel (endo-1,3(4)-beta-glucanase and endo-1,4-beta-xylanase) as a feed additive for chickens and turkeys for fattening, laying hens, piglets (weaned) and pigs for fattening, ducks, guinea fowls, quails, geese, pheasants and pigeons. *EFSA Journal*, *11*(7), 3321. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3321

Fan, Y. H., Wang, J., Shang, S., Li, X. P., Zhang, Y. M., & Wu, T. (2022). Salt-tolerant, Phosphate-dissolving and growth-promoting fefects of two rhizosphere fungi and their classification and identification. *Chinese Journal of Soil Science*, 2022, *53*(1), 127 - 134. https://doi.org/10.19336/j.cnki.trtb.2021033005

Gadd, G. M. (2021). Fungal bioweathering. *Current Biology*, *31*(24), R1557–R1563. https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.10.041

Girija, G. K., Tseng, L. C., Chen, Y. L., Meng, P. J., Hwang, J. S., & Ho, Y. N. (2023). Microbiome variability in invasive coral (*Tubastraea aurea*) in response to diverse environmental stressors. *Frontiers in Marine Science*, *10*, 1234137. https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1234137

Heo, I., Hong, K., Yang, H., Lee, H. B., Choi, Y. J.,

& Hong, S. B. (2019). Diversity of *Aspergillus*, *Penicillium*, and *Talaromyces* species isolated from freshwater environments in Korea. *Mycobiology*, *47*(1), 12-19. https://doi.org/10.1080/12298093.2019.1572262

Islam, M. K., Sano, A., & Majumder, M. S. I. (2019). Isolation and molecular characterization of phosphate solubilizing filamentous fungi from subtropical soils in Okinawa. *Applied Ecology and Environmental Research*, *17*(4), 9145-9157. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1704_91459157

Joshi, G., Kumar, V. & Brahmachari, S. K. (2021). Screening and identification of novel halotolerant bacterial strains and assessment for insoluble phosphate solubilization and IAA production. *Bulletin of the National Research, 45*, 83. https://doi.org/10.1186/s42269-021-00545-7

Khan, M. A., Tania, M., Zhang, D. Z., & Chen, H. C. (2010). Antioxidant enzymes and cancers. *Chinese Journal of Cancer Research*, *22*, 87-92. https://doi.org/10.1007/s11670-010-0087-7

Lafond, M., Guais, O., Maestracci, M., Bonnin, E., & Giardina, T. (2014). Four GH11 xylanases from the xylanolytic fungus *Talaromyces versatilis* act differently on (arabino)xylans. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *98*(14), 6339–6352. https://doi.org/10.1007/s00253-014-5606-x

Li, J. Q., & Jiong, F. (2024). Genomic diversity and evolutionary mechanisms in the *Oryza* genus: a comparative analysis. *Genomics and Applied Biology*, *15*(1), 54-63. https://doi.org/10.5376/gab.2024.15.0008

Li, Z., Bai, T., Dai, L., Wang, F., Tao, J., Meng, S., Hu, Y., Wang, S., & Hu, S. (2016). A study of organic acid production in contrasts between two phosphate solubilizing fungi: *Penicillium oxalicum* and *Aspergillus niger*. *Scientific Reports*, *6*, 25313. https://doi.org/10.1038/srep25313

Majumder, M. S. I., Islam, M. K., Akamine, H., Sano, A., Onjo, M., & Hossain, M. A. (2019). Comparative study of phosphate solubilization potential of *Talaromyces pinophilus* strains. *Applied Ecology and Environmental Research*, *17*(6), 14973-14984. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1706_1497314984

Nacoon, S., Jogloy, S., Riddech, N., Mongkolthanaruk, W., Kuyper, T. W., & Boonlue, S. (2020). Interaction between phosphate solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on growth promotion and tuber inulin content of *Helianthus tuberosus* L. *Scientific Reports*, *10*, 4916. https://doi.org/10.1038/s41598-020-61846-x

Nasr, S. H., Mousa, A. S. M., Yasser, M. M., Marzouk, M. A. (2021). Antagonistic potential of some phosphate solubilizing fungi against some phyto-pathogenic fungi. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, *10*, 70. https://doi.org/10.1186/s43088-021-00159-y

Nautiyal, C. S. (1999). An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, *170*(1), 265-270. https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1999.tb13383.x

Ong, P. X., Nguyen, T. V., Bui, L. T., Nguyet, N. T. M., Do, K. T., Tran, G. H., Cao, P. B., Chu, H. D., Pham, N. B., Phan, T. V, La, H. V. (2024). Diversity of rhizospheric fungi from *Nanhaia speciosa* and their capacity to degrade insoluble phosphate and organic manners. *Biodiversitas*, *25*, 3585-3595. https://doi.org/10.13057/biodiv/d251020

Phượng, P. V., Tuấn, T. T., & Hirata, Y. (2005). Đa dạng di truyền của hai loài lúa hoang (*Oryza rufipogon* and *O. officinalis*) ở vùng Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, *4*, 46-55. https://sj.ctu.edu.vn/ql/docgia/tacgia-12451/baibao-4882.html

Pradhan, S., & Pokhrel, M. R. (2013). Spectrophotometric determination of phosphate in sugarcane juice, fertilizer, detergent and water samples by molybdenum blue method. *Scientific World*, *11*(11), 58-62. https://doi.org/10.3126/sw.v11i11.9139

Promputtha, I., Jeewon, R., Lumyong, S., McKenzie, E. H. C., & Hyde, K. D. (2005). Ribosomal DNA fingerprinting in the identification of non sporulating endophytes from *Magnolia liliifera* (*Magnoliaceae*). *Fungal Diversity*, *20*, 167-186.

Raut, M., Waghmare, S. J., & Deshmukh, D. P. (2022). Isolation and morphological study of *Azotobacter* and phosphate solubilizing fungal isolates. *The Pharma Innovation Journal*, *11*(10), 880–886.

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. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00342-7

Rizvi, A., Ahmed, B., Khan, M. S., Umar, S., & Lee, J. (2021). Sorghum-phosphate solubilizers interactions: Crop nutrition, biotic stress alleviation, and yield optimization. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 746780. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.746780

Sanchez-Gonzalez, M. E., Mora-Herrera, M. E., Wong-Villarreal, A., De La Portilla-López, N., Sanchez-Paz, L., Lugo, J., Vaca-Paulín, R., Del

Aguila, P., & Yañez-Ocampo, G. (2023). Effect of pH and carbon source on phosphate solubilization by bacterial strains in Pikovskaya medium. *Microorganisms*, *11*(1), 49. https://doi.org/10.3390/microorganisms11010049

Sembiring, M., & Sabrina, T. (2022). Diversity of phosphate solubilizing bacteria and fungi from andisol soil affected by the eruption of Mount Sinabung, North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, *23*(2), 714-720. https://doi.org/10.13057/biodiv/d230216

Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., & Gobi, T. A. (2013). Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*, *2*, 587. https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587

Singh, S. M., Yadav, L. S., Singh, S. K., Singh, P., Singh, P. N., & Ravindra, R. (2011). Phosphate solubilizing ability of two arctic *Aspergillus niger* strains. *Polar Research*, *30*(1), 7283. https://doi.org/10.3402/polar.v30i0.7283

Srinivasan, R., Yandigeri, M. S., Kashyap, S., & Alagawadi, A. R. (2012). Effect of salt on survival and P-solubilization potential of phosphate solubilizing microorganisms from salt affected soils. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *19*(4), 427–434. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.05.004

Stephen, W. P., & Zeljko, J. (2019). The *Talaromyces pinophilus* species complex. *Fungal Biology*, *123*, 745-762. https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.06.007

Suleman, D., Sani, A., Suaib, S., Ambardini, S., Yanti, N. A., Boer, D., Yusuf, D. N., & Faad, H. (2022). Isolation and identification of potential bio-inoculants based on phosphate solubilizing molds from different plant rhizospheres. *KnE Life Sciences*, *7*(3), 99–109. https://doi.org/10.18502/kls.v7i3.11111

White, T. J., Bruns, T., Lee, S., & Taylor, J. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In M. A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky, & T. J. White (Eds.), *PCR protocols: A guide to methods and applications* (pp. 315–322). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-372180-8.50042-1

Yadav, L. S., Kushwaha, V., & Jain, A. (2020). Isolation and screening of phosphate solubilising fungi from Okra rhizosphere soil and their effect on the growth of Okra plant (*Abelmoschous esculentus* L.). *Tropical Plant Research*, *7*(2), 277–284. https://doi.org/10.22271/tpr.2020.v7.i2.033.

Yang, T., Li, L., Wang, B., Tian, J., Shi, F., Zhang, S., & Wu, Z. (2022). Isolation, mutagenesis, and organic acid secretion of a highly efficient phosphate-solubilizing fungus. *Frontiers in Microbiology*, *13*, 793122. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.793122

Yasmin, H., & Bano, A. (2011). Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from rhizosphere soil of weeds of Khewra salt range and Attock. *Pakistan Journal of Botany*, *43*(3), 1663-1668.

Yilmaz, N., Visagie, C. M., Houbraken, J., Frisvad, J. C., & Samson, R. A. (2014). Polyphasic taxonomy of the genus *Talaromyces*. *Studies in Mycology*, *78*, 175–341. https://doi.org/10.1016/j.simyco.2014.08.001

Zhu, F., Qu, L., & Hong, X. (2011). Isolation and characterization of a phosphate - solubilizing halophilic bacterium *Kushneria* sp. YVWA18 from Daqiao on the Coast of Yellow Sea of China. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, *2011*(1), 615032. https://doi.org/10.1155/2011/615032