

Khảo sát một số đặc điểm sinh học của chủng xạ khuẩn *Streptomyces diastatochromogenes* VNUA27 sử dụng trong kiểm soát nấm bệnh hại cây chuối

Nguyễn Thị Thanh Mai¹, Nguyễn Thị Thu², Trần Văn Tuấn³, Phạm Hồng Hiền⁴, Nguyễn Xuân Cảnh^{2*}

¹Trung tâm Sinh học Thực nghiệm, Viện Ứng dụng Công nghệ, 25 Lê Thánh Tông, phường Phan Chu Trinh, quận Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam

²Khoa Công nghệ Sinh học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam, thị trấn Trâu Quỳ, huyện Gia Lâm, Hà Nội, Việt Nam

³Khoa Sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 334 Nguyễn Trãi, phường Thanh Xuân Trung, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

⁴Ban Khoa học và Hợp tác Quốc tế, Viện Khoa học Nông nghiệp Việt Nam, xã Vĩnh Quỳnh, huyện Thanh Trì, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 8/2/2023; ngày chuyển phản biện 13/2/2023; ngày nhận phản biện 10/3/2023; ngày chấp nhận đăng 13/3/2023

Tóm tắt:

Nhằm mục đích sử dụng chủng xạ khuẩn *Streptomyces diastatochromogenes* VNUA27 (chủng xạ khuẩn VNUA27) để sản xuất chế phẩm phòng trừ nấm gây bệnh trên cây chuối, nghiên cứu này tập trung vào xác định khả năng đối kháng nấm bệnh hại cây chuối và một số đặc điểm sinh học của chủng xạ khuẩn VNUA27. Bằng phương pháp đồng nuôi cấy và khuếch tán đĩa thạch đã xác định được chủng xạ khuẩn VNUA27 có khả năng đối kháng phổ rộng với các nấm *C. musa*, *C. gloeosporioides* và *A. alternata* gây bệnh trên cây chuối với tỷ lệ đối kháng lần lượt là 71,89±3,86%, 60,00±1,24% và 55,38±3,39%. Đồng thời, kết quả nghiên cứu cũng xác định chủng xạ khuẩn VNUA27 có khả năng tổng hợp siderophore, các enzym ngoại bào (cellulase, chitinase, xylanase, pectinase, protease), phân giải phosphate khó tan và tổng hợp IAA (axit phytohormone indole-3-acetic). Chủng xạ khuẩn VNUA27 có khả năng sinh trưởng, phát triển tối ưu ở các khoảng chịu đựng tương đối rộng: nhiệt độ 25-37°C, pH 6-11, nồng độ NaCl 0-2% và có khả năng sử dụng nhiều nguồn cacbon và nitơ khác nhau.

Từ khóa: bệnh hại cây chuối, enzym ngoại bào, nấm, phân giải phosphate, siderophore, xạ khuẩn.

Chỉ số phân loại: 4.6

1. Đặt vấn đề

Xạ khuẩn là nguồn tài nguyên sinh vật quan trọng tạo ra các chất chuyển hoá chuyên biệt đa dạng về cấu trúc và thể hiện một loạt các hoạt tính sinh học. Hơn 7.000 chất chuyển hoá đã được phân lập từ chi *Streptomyces* và khoảng 3.000 chất chuyển hoá từ các chi xạ khuẩn hiếm [1]. Với kích thước bộ gen trung bình trên 5 Mb xạ khuẩn đã sử dụng 0,8-3,0 Mb trong bộ gen để tạo ra chất chuyển hoá chuyên biệt [2]. Các hợp chất này đóng vai trò quan trọng trong việc phòng trừ các tác nhân gây bệnh trên thực vật [3, 4]. Trong tương tác với thực vật, xạ khuẩn sử dụng các chất khoáng từ sinh quyển và tạo ra các hợp chất có lợi cho cây trồng. Sắt là một thành phần thiết yếu đối với nhiều quá trình sinh học, trong tự nhiên một số xạ khuẩn có khả năng sinh ra siderophore để hoà tan sắt khó tan trong môi trường cung cấp dinh dưỡng sắt cho cây [5]. IAA cũng được tìm thấy trong số các hợp chất được tạo ra từ xạ khuẩn. Sản xuất IAA của vi sinh vật hoạt động như một trong những cơ chế quan trọng ảnh hưởng đến sinh lý thực vật và kích thích tăng trưởng trong quá trình tương tác giữa thực vật và vi sinh vật [6]. Cùng với đó, xạ khuẩn còn có khả năng phân giải phosphate khó tan và sinh ra một số enzym ngoại bào có khả năng xử lý một lượng lớn các phụ phẩm nông nghiệp trong đất góp phần cải tạo đất, thúc đẩy phát triển cây trồng [7].

Nghiên cứu gần đây của của D.T. Sơn và cs (2022) [8] đã chỉ ra

rằng, chủng xạ khuẩn VNUA27 có khả năng đối kháng mạnh với nấm *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc TR4), một tác nhân gây bệnh thiệt hại nhất trên cây chuối. Dịch nuôi cấy chủng xạ khuẩn VNUA27 đã ức chế sự phát triển hệ sợi và sự nảy mầm của bào tử nấm Foc TR4. Nghiên cứu đã cho thấy, chủng VNUA27 rất có tiềm năng ứng dụng trong phòng trừ bệnh héo vàng panama trên chuối tại Việt Nam [8]. Tuy nhiên, trong thực tế một chủng vi sinh vật tiềm năng được xác định và sử dụng khi chúng có hoạt tính phổ rộng cũng như thích nghi với các điều kiện sống khác nhau [9]. Do đó, mở rộng nghiên cứu đánh giá các điều kiện sinh trưởng, khả năng đối kháng nấm bệnh phổ rộng và sinh chất kích thích sinh trưởng cây trồng là “chìa khoá” để chọn lọc và phát triển các chủng vi sinh vật có tiềm năng ứng dụng trong thực tiễn.

Với mục đích ứng dụng chủng xạ khuẩn VNUA27 vào sản xuất chế phẩm phòng trừ bệnh trên cây chuối, chúng tôi tập trung nghiên cứu khả năng đối kháng của chủng xạ khuẩn VNUA27 với các nấm gây bệnh trên chuối: *Colletotrichum musae*, *C. gloeosporioides* gây bệnh thán thư [10-13] và nấm *Alternaria alternata* gây bệnh bạc lá [14, 15]; đánh giá khả năng sinh chất kích thích sinh trưởng thực vật như IAA, khả năng sinh tổng hợp siderophore, phân giải phosphate khó tan; xác định các đặc điểm nuôi cấy của chủng xạ khuẩn VNUA27.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

*Tác giả liên hệ: Email: nxcanh@vnua.edu.vn

Characterisation of *Streptomyces diastatochromogenes* VNUA27 used for controlling fungal pathogens causing banana plant diseases

Thi Thanh Mai Nguyen¹, Thi Thu Nguyen², Van Tuan Tran³, Hong Hien Pham⁴, Xuan Canh Nguyen^{2*}

¹Center for Experimental Biology, National Center for Technological Progress, 25 Le Thanh Tong Street, Phan Chu Trinh Ward, Hoan Kiem District, Hanoi, Vietnam

²Faculty of Biotechnology, Vietnam National University of Agriculture, Trau Quy Town, Gia Lam District, Hanoi, Vietnam

³Faculty of Biology, University of Science, Vietnam National University - Hanoi, 334 Nguyen Trai Street, Thanh Xuan Trung Ward, Thanh Xuan District, Hanoi, Vietnam

⁴Department of Science and International Cooperation, Vietnam Academy of Agricultural Sciences, Vinh Quynh Commune, Thanh Tri District, Hanoi, Vietnam

Received 8 February 2023; revised 10 March 2023; accepted 13 March 2023

Abstract:

In this study, the biological characteristics and anti-fungal pathogen activities of the *Streptomyces* VNUA27 were studied to produce the bioproduct used for preventing fungal pathogens in bananas. The fungal pathogens used in this study were isolated from banana-affected wilts, and the antifungal activities of the actinomycetes were assessed using the co-culture and agar well diffusion methods. The results showed that *Streptomyces* VNUA27 exhibited a broad-spectrum antifungal activity with an inhibition rate of $71.89 \pm 3.86\%$, 60.00 ± 1.24 , and $55.38 \pm 3.39\%$ against *C. musa*, *C. gloeosporioides*, and *A. alternata*, respectively. Additionally, this research demonstrated that VNUA27 could produce siderophore, extracellular enzymes (cellulase, chitinase, xylanase, pectinase and protease), phosphate solubilisation, and IAA production. *Streptomyces* VNUA27 could grow optimally within relatively wide tolerance ranges, including temperature of 25-37°C, pH values of 6-11, and NaCl concentration of 0-2%, and they could assimilate many various carbon and nitrogen sources.

Keywords: banana disease, extracellular enzyme, fungi, phosphate solubilisation, siderophore, *Streptomyces*.

Classification number: 4.6

2.1. Đối tượng

Chủng xạ khuẩn VNUA27 và các chủng nấm gây bệnh trên chuối: *C. musa*, *C. gloeosporioides*, *A. alternata* là sản phẩm kế thừa từ đề tài khoa học và công nghệ tiềm năng cấp Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn (mã số ĐTTN.13/21) và được lưu giữ tại Khoa Công nghệ Sinh học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Khảo sát khả năng đối kháng nấm bệnh hại cây chuối: Đánh giá khả năng kháng nấm bệnh của chủng xạ khuẩn VNUA27 được thực hiện theo phương pháp đồng nuôi cấy [16] và khuếch tán đĩa thạch [17]. Hoạt tính đối kháng nấm của chủng xạ khuẩn VNUA27 trong cả 2 phương pháp này được xác định bằng tỷ lệ phần trăm ức chế sự phát triển hệ sợi nấm (PIRG) theo công thức sau:

$$\text{PIRG} = (R_1 - R_2) / R_1 \times 100$$

trong đó R_1 là đường kính của hệ sợi nấm trong đĩa đối chứng; R_2 đường kính của hệ sợi nấm trong đĩa thí nghiệm.

Xác định khả năng sinh các enzym ngoại bào: chitinase, cellulase, xylanase, protease, pectinase được xác định bằng cách cấy xạ khuẩn trên môi trường có bổ sung các nguồn cơ chất khác nhau. Sau 7 ngày nuôi cấy, hoạt tính enzym ngoại bào được phát hiện khi xuất hiện vòng sáng quanh khuẩn lạc sau khi nhuộm [18].

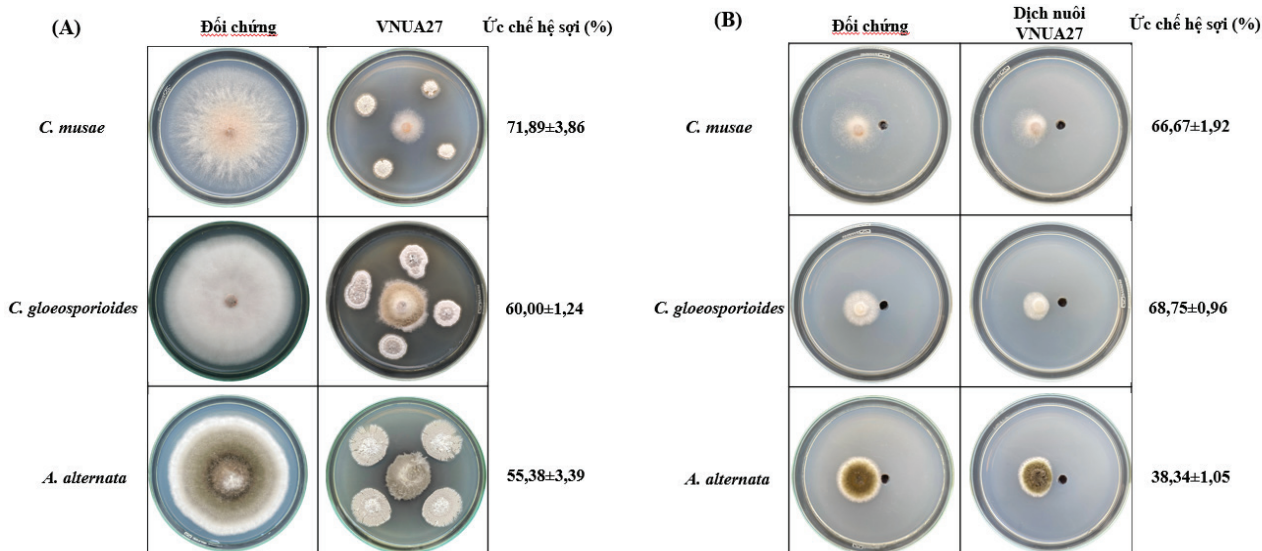
Xác định khả năng sinh siderophore được thực hiện theo phương pháp của B. Schwyn và J.B. Neilands (1987) [19]: Đặt khối thạch (đường kính 5 mm) có chứa các khuẩn lạc của chủng xạ khuẩn lên trên môi trường thạch Chrome azurol S (CAS). Sau 14 ngày nuôi cấy tại 30°C, sự xuất hiện vòng sáng xung quanh khối thạch của chủng xạ khuẩn chứng tỏ chủng có khả năng sinh siderophore.

Xác định khả năng sinh tổng hợp IAA được thực hiện theo phương pháp Salkowski [20]: Lượng IAA ($\mu\text{g/ml}$) trong dịch nuôi cấy của chủng xạ khuẩn VNUA27 được xác định bằng phương pháp so màu sử dụng thuốc thử Salkowski ở bước sóng 530 nm. Đường chuẩn IAA được dựng với các mẫu có nồng độ IAA chuẩn khác nhau (chất chuẩn IAA mua của Hãng Sigma). Phương trình đường chuẩn IAA như sau:

$$y = 0,022x + 0,0028$$

Xác định khả năng phân giải phosphate khó tan: Đặt khối thạch (đường kính 5 mm) có chứa các khuẩn lạc của chủng xạ khuẩn VNUA27 lên trên môi trường Pikovskayas (PKV). Sau 14 ngày nuôi ở 30°C, xác định khả năng phân giải phosphate của vi sinh vật nghiên cứu thông qua sự hình thành vòng sáng xung quanh khối thạch [21].

Nghiên cứu một số đặc điểm sinh trưởng, phát triển của chủng xạ khuẩn VNUA27: Đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ, pH, nồng độ NaCl đến sự sinh trưởng và phát triển của chủng xạ khuẩn



Hình 1. Kết quả kháng nấm phổ rộng của chủng xạ khuẩn VNUA27 với một số nấm gây bệnh trên chuối. (A) Phương pháp đồng nuôi cấy; (B) Phương pháp khuếch tán đĩa thạch.

VNUA27 được thực hiện theo phương pháp của B. Zhang và cs (2018) [22].

Đánh giá khả năng sử dụng các nguồn cacbon và nitơ của chủng xạ khuẩn VNUA27: Nuôi cấy chủng xạ khuẩn VNUA27 trong các bình tam giác chứa 50 ml môi trường ISP9 lỏng có bổ sung 1% các nguồn đường khác nhau [23], gồm: glucose, maltose, D-fructose, D-galactose, lactose, D-ribose, D-manitol, sorbitol, cellulose, xylose hoặc môi trường Starch nitrate lỏng [24] với các nguồn nitơ gồm: cao thịt bò, NH_4Cl , peptone, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, KNO_3 , NH_4NO_3 , L-asparagine, L-tyrosine, glycine trên máy lắc với tốc độ 200 vòng/phút ở 30°C trong 7 ngày. Khả năng sử dụng các nguồn cacbon và nitơ của chủng xạ khuẩn VNUA27 được xác định thông qua sinh khối được hình thành sau thời gian nuôi cấy bằng cách dùng giấy lọc thu sinh khối, sấy ở 50°C trong 12 giờ, cân sinh khối và đánh giá.

Xử lý số liệu: Số liệu thí nghiệm được thu thập, xử lý và vẽ biểu đồ bằng phần mềm GraphPad Prism 9. Kết quả mỗi thí nghiệm được thể hiện là giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn (SD) sau 3 lần lặp lại ngẫu nhiên.

3. Kết quả và bàn luận

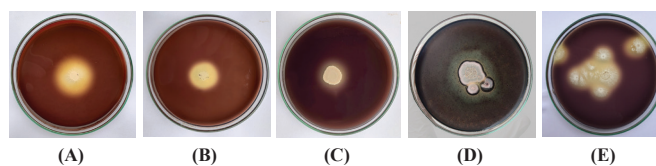
3.1. Khảo sát khả năng đối kháng nấm bệnh hại cây chuối của chủng xạ khuẩn VNUA27

Nhiều kết quả nghiên cứu đã công bố cho biết, các vùng trồng chuối lớn thường là những vùng trồng chuyên canh và cùng một thời điểm cây chuối có thể bị nhiễm nhiều loại nấm bệnh khác nhau. Chủng xạ khuẩn VNUA27 đã được nghiên cứu và xác định có khả năng đối kháng mạnh với nấm *Foc* TR4 [8]. Bằng phương

pháp đồng nuôi cấy nấm *C. musa*, *C. gloeosporioides*, *A. alternata* gây bệnh trên chuối và chủng xạ khuẩn VNUA27 cho thấy, chủng xạ khuẩn VNUA27 có hoạt tính đối kháng nấm *C. musa* đạt 71,89±3,86%, *C. gloeosporioides* đạt 60,00±1,24% và nấm *A. alternata* đạt 55,38±3,39% (hình 1A). Bằng phương pháp khuếch tán đĩa thạch, tỷ lệ phần trăm đối kháng các chủng nấm gây bệnh đạt lần lượt là 66,67±1,92, 68,75±0,96 và 38,34±1,05% (hình 1B). Tỷ lệ đối kháng này cao hơn rất nhiều so với công bố của N.T. Vân và cs (2019) [25], tương đương với nghiên cứu của Y. Wei và cs (2020) [9].

3.2. Khả năng sinh enzyme ngoại bào của chủng xạ khuẩn VNUA27

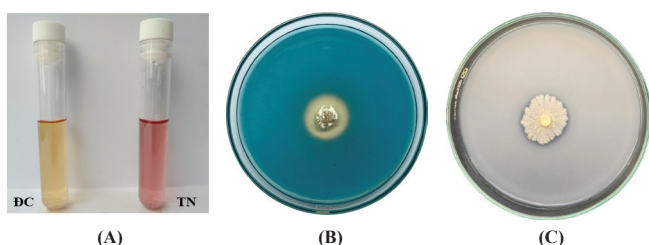
Xạ khuẩn đối kháng nấm bệnh thông qua cơ chế đối kháng trực tiếp hoặc gián tiếp như tổng hợp chất kháng sinh, sinh enzyme ngoại bào, cạnh tranh dinh dưỡng và kích thích sinh trưởng cây trồng [26]. Khảo sát khả năng tổng hợp enzyme ngoại bào của chủng xạ khuẩn VNUA27 đã xác định chủng xạ khuẩn nghiên cứu có khả năng tổng hợp chitinase, cellulase, xylanase, protease và pectinase. Kết quả hình 2 cho thấy, chủng xạ khuẩn VNUA27 có khả năng sinh các enzyme ngoại bào.



Hình 2. Khả năng tổng hợp enzyme ngoại bào của chủng xạ khuẩn VNUA27. (A) Chitinase; (B) Cellulase; (C) Xylanase; (D) Protease; (E) Pectinase.

3.3. Khả năng tổng hợp các hợp chất hỗ trợ sinh trưởng cây trồng

Kiểm tra khả năng sinh IAA của chủng xạ khuẩn VNUA27 sau khi ủ dịch ly tâm với thuốc thử Salkowski và so màu ở bước sóng 530 nm cho kết quả là 19,10 µg/ml. Kết quả này cao hơn so các nghiên cứu gần đây của M. Sari và cs (2021) [27], P. Kawicha và cs (2020) [6]. Thí nghiệm thử khả năng sinh siderophore và phân giải phosphate khó tan đều thấy, sau 14 ngày nuôi cấy trên môi trường CAS và PKV, xung quanh khuẩn lạc của chủng xạ khuẩn VNUA27 đã xuất hiện vòng sáng. Như vậy, chủng xạ khuẩn VNUA27 có khả năng sinh siderophore và phân giải phosphate khó tan. Kết quả này cho thấy, chủng xạ khuẩn VNUA27 có khả năng hình thành các hợp chất hỗ trợ sinh trưởng cây trồng. Kết quả được thể hiện ở hình 3.



Hình 3. Kết quả khảo sát khả năng hình thành các hợp chất hỗ trợ sinh trưởng cây trồng của chủng xạ khuẩn VNUA27. (A) Khả năng sinh IAA; (B) Khả năng sinh siderophore; (C) Khả năng phân giải phosphate khó tan.

3.4. Một số đặc điểm sinh trưởng, phát triển của chủng xạ khuẩn VNUA27

Khảo sát các điều kiện sinh trưởng, phát triển của chủng xạ khuẩn VNUA27 đã xác định được khoảng pH chịu đựng của chủng này là tương đối rộng (pH 4-12), chủng phát triển tối ưu ở pH kiềm cao (pH 6-11). Đặc điểm này rất có ý nghĩa trong sản xuất chế phẩm phòng trừ nấm bệnh hại cây chuối bởi pH kiềm không phù hợp với sự phát triển của mầm bệnh [28]. Bên cạnh đó, chủng

xạ khuẩn VNUA27 còn có khả năng sinh trưởng và phát triển trong khoảng chịu đựng của nhiệt độ và nồng độ NaCl tương đối rộng lần lượt là 20-40°C và 0-4%, trong đó chủng phát triển tối ưu ở nhiệt độ 25-37°C và ở nồng độ NaCl 0-2%. Kết quả nghiên cứu các điều kiện sinh trưởng, phát triển của chủng xạ khuẩn VNUA27 được thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Điều kiện sinh trưởng và phát triển của chủng xạ khuẩn VNUA27.

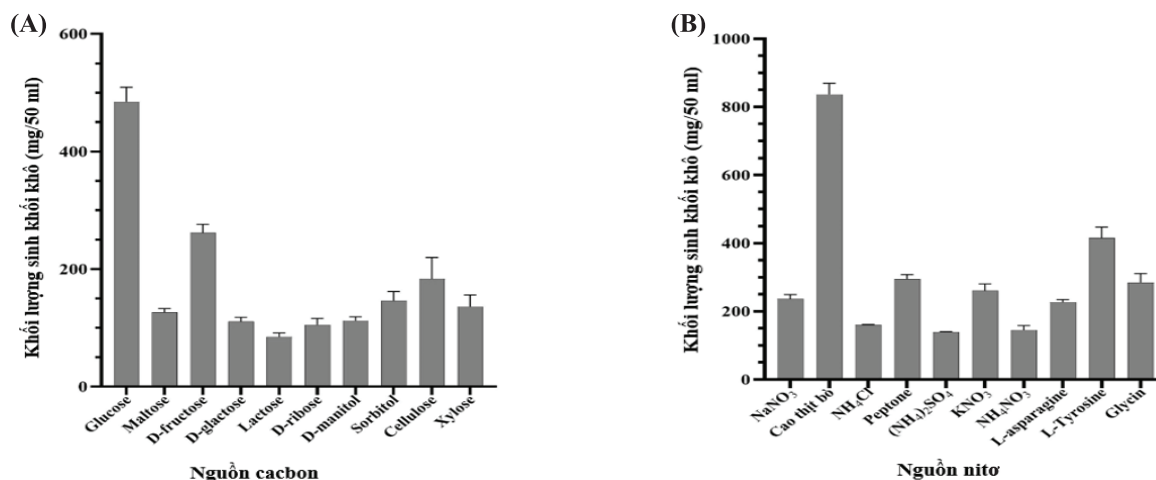
Yếu tố	Khoảng tối ưu	Khoảng chịu đựng
Nhiệt độ (°C)	25-37	20-40
pH	6-11	4-12
Nồng độ NaCl (%)	0-2	0-4

3.5. Khảo sát khả năng sử dụng các nguồn cacbon và nitơ khác nhau

Đánh giá khả năng sinh trưởng của chủng xạ khuẩn VNUA27 trên các nguồn cacbon và nitơ cho thấy, chủng xạ khuẩn này có khả năng sinh trưởng trên nhiều nguồn cacbon và nitơ thử nghiệm khác nhau. Tuy nhiên, chủng xạ khuẩn VNUA27 phát triển tốt nhất trên nguồn cacbon là glucose, D-fructose, cellulose; nguồn nitơ là: cao thịt bò, L-tyrosine, pepton. Việc khảo sát khả năng sử dụng các nguồn cacbon và nitơ khác nhau là cơ sở ban đầu giúp lựa chọn được nguồn nguyên liệu lên men phù hợp nhất cho sinh trưởng của chủng xạ khuẩn VNUA27. Kết quả khảo sát được thể hiện ở hình 4.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xác định được chủng xạ khuẩn VNUA27 có khả năng đối kháng mạnh, đối kháng phổ rộng với các loại nấm: *C. musa*, *C. gloeosporioides* và *A. alternata* gây bệnh trên cây chuối lần lượt là 71,89±3,86%, 60,00±1,24% và 55,38±3,39%. Đồng thời, chủng xạ khuẩn này có khả năng sinh tổng hợp các enzym ngoại bào (chitinase, cellulase, xylanase, protease và pectinase),



Hình 4. Khả năng sinh trưởng của chủng xạ khuẩn VNUA27 trên các nguồn cacbon và nitơ khác nhau. (A) Nguồn cacbon; (B) Nguồn nitơ.

sinh các chất kích thích sinh trưởng cây trồng: IAA đạt 19,10 µg/ml, siderophore và phân giải phosphate khó tan. Chủng xạ khuẩn VNUA27 có khả năng sinh trưởng, phát triển tối ưu trong khoảng chịu đựng tương đối rộng: nhiệt độ (25-37°C), pH (6-11), NaCl (0-2%); sử dụng đa dạng các nguồn cacbon và nitơ khác nhau. Với các đặc điểm sinh học được công bố trong nghiên cứu này thì việc sử dụng chủng xạ khuẩn VNUA27 vào sản xuất chế phẩm vi sinh trong phòng trừ bệnh do nấm gây ra trên cây chuối có tính khoa học và ý nghĩa thực tiễn cao. Đây là vấn đề cấp thiết trong quản lý dịch bệnh trên cây chuối theo hướng hiệu quả, bền vững và thân thiện với môi trường.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện với sự hỗ trợ chủng giống từ đề tài khoa học và công nghệ tiềm năng cấp Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn mã số ĐTTN.13/21. Nguyễn Thị Thanh Mai được tài trợ bởi Chương trình học bổng đào tạo thạc sỹ, tiến sỹ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số VINIF.2022.TS071. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R.H. Baltz (2008), "Renaissance in antibacterial discovery from actinomycetes", *Curr. Opin. Pharmacol.*, **8**(5), pp.557-563, DOI: 10.1016/j.coph.2008.04.008.
- [2] R.H. Baltz (2017), "Gifted microbes for genome mining and natural product discovery", *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, **44**(4-5), pp.573-588, DOI: 10.1007/s10295-016-1815-x.
- [3] D. Qi, L. Zou, D. Zhou, et al. (2019), "Taxonomy and broad-spectrum antifungal activity of *Streptomyces* sp. SCA3-4 isolated from rhizosphere soil of *Opuntia stricta*", *Frontiers in Microbiol.*, **10**, DOI: 10.3389/fmicb.2019.01390.
- [4] M. Girao, I. Ribeiro, T. Ribeiro, et al. (2019), "Actinobacteria isolated from *Laminaria ochroleuca*: A source of new bioactive compounds", *Frontiers in Microbiol.*, **10**, DOI: 10.3389/fmicb.2019.00683.
- [5] A. Baakza, A.K. Vala, B.P. Dave, et al. (2004), "A comparative study of siderophore production by fungi from marine and terrestrial habitats", *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **311**(1), pp.1-9, DOI: 10.1016/j.jembe.2003.12.028.
- [6] P. Kawicha, A. Laopha, W. Chamnansing, et al. (2020), "Biocontrol and plant growth-promoting properties of *Streptomyces* isolated from vermicompost soil", *Indian Phytopathology*, **73**(4), pp.655-666, DOI: 10.1007/s42360-020-00267-2.
- [7] A. Ali, N. Kurnia, A. Asrini Nurani Ulfah, et al. (2021), "Diversity of endophytic actinomycetes producing indole-3-acetic acid and *in vitro* evaluation of plant growth-promoting activity on *Brassica oleracea* L.", *Tropical Agricultural Science*, **44**(2), pp.275-292.
- [8] D.T. Son, N.T.T. Mai, N.T. Thu, et al. (2022), "Research on the antagonistic properties of the actinomycete strain *Streptomyces* sp. VNUA27", *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, **20**(8), tr.1042-1053 (in Vietnamese)
- [9] Y. Wei, Y. Zhao, D. Zhou, et al. (2020), "A newly isolated *Streptomyces* sp. YYS-7 with a broad-spectrum antifungal activity improves the banana plant resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4", *Frontiers in Microbiol.*, **11**, DOI: 10.3389/fmicb.2020.01712.
- [10] S.M. Williamson, M. Guzman, D.H. Marin, et al. (2008), "Evaluation of *Pseudomonas syringae* strain ESC-11 for biocontrol of crown rot and anthracnose of banana", *Biol. Control*, **46**(3), pp.279-286, DOI: 10.1016/j.biocontrol.2008.05.016.
- [11] M. Maqbool, A. Ali, S. Ramachandran, et al. (2010), "Control of postharvest anthracnose of banana using a new edible composite coating", *Crop Prot.*, **29**(10), pp.1136-1141, DOI: 10.1016/j.cropro.2010.06.005.
- [12] K. Alemu (2014), "Importance and pathogen spectrum of crown rot of banana in Jimma town, southwestern Ethiopia", *J. Biol. Agric. Healthcare*, **4**(23), pp.106-111.
- [13] N. Riera, D. Ramirez-Villacis, N. Barriga-Medina, et al. (2014), "First report of banana anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides* in Ecuador", *Plant Disease*, **103**(4), DOI: 10.1094/PDIS-01-18-0069-PDN.
- [14] V. Parkunan, S. Li, E.G. Fonsah, et al. (2013), "First report of alternaria leaf spot of banana caused by *Alternaria alternata* in the United States", *Plant Disease*, **97**(8), DOI: 10.1094/PDIS-01-13-0007-PDN.
- [15] B.Z. Fu, Z.H. Zhang, L.H. Wang, et al. (2014), "First report of leaf spot caused by *Alternaria alternata* on Chinese dwarf banana in China", *Plant Disease*, **98**(5), DOI: 10.1094/PDIS-08-13-0831-PDN.
- [16] M. Sadeghian, G.H.S. Bonjar, G.R.S. Sirchi (2016), "Pos harvest biological control of apple bitter rot by soil-borne actinomycetes and molecular identification of the active antagonist", *Postharvest Biology and Technology*, **112**, pp.46-54, DOI: 10.1016/j.postharvbio.2015.09.035.
- [17] C. Phuakjaiphaeo, C.I. Chang, O. Ruangwong, et al. (2016), "Isolation and identification of an antifungal compound from endophytic *Streptomyces* sp. CEN 26 active against *Alternaria brassicicola*", *Letters in Applied Microbiology*, **63**(1), pp.38-44, DOI: 10.1111/lam.12582.
- [18] L.T. Hien, D.V. Loi, V.T. Van, et al. (2014), "Isolation and selection of actinomycete strains (*Streptomyces* spp.) resistant to plant fungal pathogens", *Journal of Science and Development*, **12**(5), pp.656-664 (in Vietnamese)
- [19] B. Schwyn, J.B. Neillands (1987), "Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores", *Analytical Biochemistry*, **160**(1), pp.47-56, DOI: 10.1016/0003-2697(87)90612-9.
- [20] S.A. Gordon, R.P. Weber (1951), "Colorimetric estimation of indoleacetic acid", *Plant Physiol.*, **26**(1), pp.192-195, DOI: 10.1104/pp.26.1.192.
- [21] C.S. Nautiyal (1999), "An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms", *FEMS Microbiology Letters*, **170**(1), pp.265-270, DOI: 10.1111/j.1574-6968.1999.tb13383.x.
- [22] B. Zhang, S. Tang, X. Chen, et al. (2018), "*Streptomyces qaidamensis* sp. nov., isolated from sand in the Qaidam Basin, China", *The Journal of Antibiotics*, **71**(10), pp.880-886, DOI: 10.1038/s41429-018-0080-9.
- [23] E.B. Shirling, D. Gottlieb (1966), "Methods for characterization of *Streptomyces* species", *International Journal of Systematic Bacteriology*, **16**(3), pp.313-340.
- [24] N.X. Canh, H.T. Cuong, N.T. Dinh, et al. (2016), "Research on actinomycete strains with the ability to oppose *Vibrio parahaemolyticus* bacteria causing disease in shrimp", *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, **14**(11), pp.1809-1816.
- [25] N.T. Van, D.T.N. Mai, H.T. Yen, et al. (2019), "Investigating the ability of actinomycetes isolated from Cuc Phuong and Ba Be National Parks to resist 4 types of plant-pathogenic fungi", *Journal of Biotechnology*, **17**(3), pp.527-535 (in Vietnamese)
- [26] H.J. Lacey, P.J. Rutledge (2022), "Recently discovered secondary metabolites from *Streptomyces* species", *Molecules*, **27**(3), DOI: 10.3390/molecules27030887, DOI: 10.3390/molecules27030887.
- [27] M. Sari, A.A. Nawangsih, A.T. Wahyudi (2021), "Rhizosphere *Streptomyces* formulas as the biological control agent of phytopathogenic fungi *Fusarium oxysporum* and plant growth promoter of soybean", *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, **22**(6), DOI: 10.13057/biodiv/d220602.
- [28] Y. Li, S. Jiang, J. Jiang, et al. (2022), "Synchronized efficacy and mechanism of alkaline fertilizer and biocontrol fungi for *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4", *Journal of Fungi*, **8**(3), DOI: 10.3390/jof8030261.