

DOI:10.22144/ctu.jvn.2022.052

TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VỀ NẤM RỄ NỘI CỘNG SINH Ở VIỆT NAM

Trần Hoàng Siêu*

Khoa Nông nghiệp, Trường Đại học Andalas, Padang, Indonesia

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Trần Hoàng Siêu (email: 1920238001_tran@student.unand.ac.id)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 14/10/2021

Ngày nhận bài sửa: 30/11/2021

Ngày duyệt đăng: 22/04/2022

Title:

A general review of arbuscular mycorrhizal fungi in Vietnam

Từ khóa:

Tình hình nghiên cứu, ứng dụng nấm rễ nội cộng sinh, Việt Nam, vùng rễ

Keywords:

AMF application, current research, rhizosphere, Vietnam

ABSTRACT

Sustainable agriculture proposed a big challenge on the finding biological treatments to meet the demand of high quality and environmental friendliness. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) establish an obligate relationship with almost terrestrial plants and traditional rice cultivation, this own significance to horticulture and bioremediation, as well. This review paper on AMF with aim to generalizing current research for exploiting the potential benefits from AMF, in which, supports plants to absorb water and mineral nutrients in the soil and heavy metal is limited, stimulating plant tolerance into abiotic and biotic conditions (high temperature, salinization, drought, sufficient nutrient) as the results of the greater of yield. In conclusion, from beneficial impacts of AMF on plant which give out a new opportunity using AMF as a biofertilizer, which helps to reduce the chemical fertilizer usage in agriculture.

TÓM TẮT

Cạnh tác nông nghiệp bền vững đặt ra những thách thức lớn trong việc tiếp cận những ứng dụng sinh học có tính hiệu quả cao và thân thiện với môi trường. Nấm rễ nội cộng sinh (AMF) hình thành mối quan hệ với hầu hết các loài thực vật cạn và cây lúa được trồng trong điều kiện ngập nước đóng góp nhiều ý nghĩa quan trọng đối với cạnh tác nông nghiệp và xử lý môi trường sinh thái. Bài tổng quan về lĩnh vực nghiên cứu nấm rễ nội cộng sinh này được thực hiện nhằm tổng hợp lại tình hình nghiên cứu nấm rễ nội cộng sinh tại Việt Nam hiện nay, từ đó đề xuất các hướng nghiên cứu mới nhằm khám phá tiềm năng của AMF giúp hỗ trợ cây trồng về hấp thụ nước và dinh dưỡng khoáng trong đất cũng như hạn chế kim loại nặng, tăng cường sức chống chịu của cây trồng trong các điều kiện bất lợi của môi trường (nhiệt độ cao, nhiễm mặn, khô hạn, nghèo dinh dưỡng) thông qua đó tăng năng suất cây trồng. Cuối cùng, những tác động tích cực của AMF còn đặt ra cơ hội mới trong việc sản xuất phân bón sinh học nhằm giảm thiểu sự phụ thuộc vào phân bón hóa học trong trồng trọt.

1. GIỚI THIỆU

Nấm rễ nội cộng sinh (AMF) có vai trò quan trọng trong cải thiện sức khỏe và cấu trúc đất thông

qua tăng cường phân hủy các hợp chất hữu cơ, chuyển hóa và vận chuyển chất dinh dưỡng, tăng năng suất cây trồng, tăng khả năng chống chịu trước các điều kiện bất lợi từ môi trường và cải tạo môi

trường. Cho đến thời điểm hiện tại có nhiều nghiên cứu ngoài nước báo cáo sự ảnh hưởng tích cực của AMF như tăng cường sinh trưởng của cây trồng trong điều kiện khô hạn (Leventis et al., 2021), đất nhiễm mặn (Hassena et al., 2020; Qiu et al., 2020; Pankaj et al., 2021), nhiệt độ cao (Mathur et al., 2018), nhiễm kim loại nặng (Zhao et al., 2021), hấp thu dinh dưỡng (Ingraffia et al., 2019). Bên cạnh đó, AMF còn góp phần làm giảm ô nhiễm khí thải N₂O (Gui et al., 2021; Shen & Zhu, 2021) từ các hoạt động nông nghiệp.

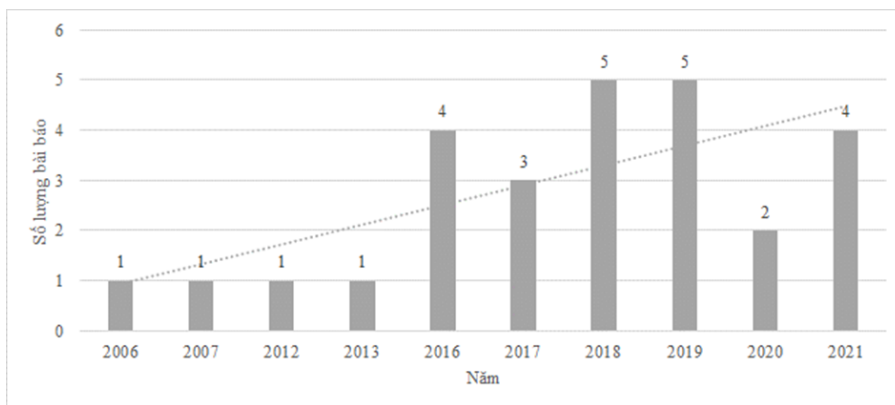
Newman and Reddell (1987) báo cáo rằng có khoảng 80-90% loài thực vật cạn hình thành mối quan hệ cộng sinh với nấm rễ nội cộng sinh, trừ họ Brassicaceae và Chenopodiaceae. Strigolactones tiết ra từ rễ cây đóng vai trò như một tín hiệu hóa học có khả năng thay đổi cấu trúc nội và ngoại bào của cây trồng để tạo điều kiện thuận lợi trong quá trình cộng sinh với vi sinh vật vùng rễ, đặc biệt là giúp AMF xâm nhiễm vào bên trong và chuyển hóa dinh dưỡng (Kowalczyk & Hryniewicz, 2018; Mitra et al., 2021). Tại đó, sau khi hình thành vôi hút thì nấm rễ nội cộng sinh phát triển các thể chùm (arbuscules), túi bóng (vesicules) và dạng sợi nấm xâm nhiễm vào bên trong tế bào rễ (Azcbn-Aguilar & Barea, 1997; Mitra et al., 2021; Riaz et al., 2021). Cây trồng có nhiệm vụ cung cấp sản phẩm quang hợp như carbohydrate và lipid cho nấm rễ nội cộng sinh sử dụng như một nguồn năng lượng. Trong khi đó, nấm rễ nội cộng sinh giúp dự trữ và vận chuyển dinh dưỡng khoáng như N, P, K, Ca, Cu, Zn và S trong đất.

Biến đổi khí hậu và suy thoái tài nguyên đất dẫn đến giảm năng suất, phẩm chất cây trồng cũng như cấu trúc đất. Các biện pháp thâm canh, cơ giới hóa, sử dụng dư thừa phân bón và thuốc bảo vệ thực vật là những thách thức trong quá trình hướng đến canh tác nông nghiệp bền vững tại Việt Nam. Tuy nhiên, hiện nay vẫn chưa có nhiều bài viết tổng quan về những tiềm năng ứng dụng của nấm rễ nội cộng sinh. Trên cơ sở đó, bài viết tổng quan này được thực hiện nhằm tổng hợp lại tình hình nghiên cứu nấm rễ nội cộng sinh tại Việt Nam, bên cạnh đó phân tích vai trò của nấm rễ nội cộng sinh trong lĩnh vực nông nghiệp và môi trường, từ đó làm cơ sở nền tảng cho các hướng nghiên cứu ứng dụng mới.

2. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU VỀ NẤM RỄ NỘI CỘNG SINH TẠI VIỆT NAM

2.1. Số lượng công bố khoa học theo từng năm

Số lượng các công bố khoa học về lĩnh vực nấm rễ nội cộng sinh trong giai đoạn 2006 đến 2021 được mô tả ở Hình 1. Nhìn chung, số lượng công bố nghiên cứu ở Việt Nam hiện nay vẫn còn tương đối hạn chế nhưng vẫn trong một xu hướng tăng. Thông qua đó, ta có thể phân thành hai giai đoạn chính trong suốt quá trình phát triển về các nghiên cứu liên quan đến nấm rễ nội cộng sinh bao gồm giai đoạn 2006-2013 với số lượng bài báo tương đối ít (1 bài) qua từng năm, trong khi đó giai đoạn 2016-2021 cho thấy nhiều tín hiệu khả quan thông qua số lượng bài báo khoa học được công bố bùng nổ hơn dao động trong khoảng 2 đến 5 bài báo, trong đó nổi bật nhất là năm 2018 và 2019 với 5 bài báo được công bố mỗi năm.



Hình 1. Công bố khoa học về nấm rễ nội cộng sinh giai đoạn 2006-2021

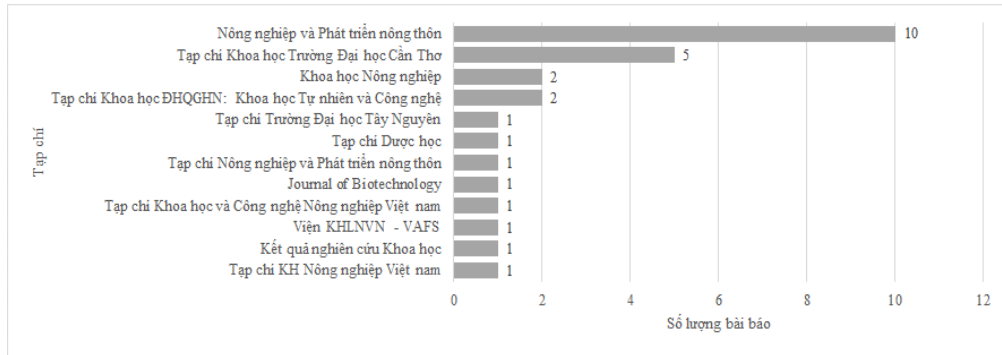
2.2. Số lượng công bố khoa học phân theo tạp chí

Hiện nay, có tổng số 12 tạp chí khoa học tại Việt Nam ghi nhận công bố các bài báo liên quan đến nghiên cứu về nấm rễ nội cộng sinh tại Việt Nam

(Hình 2). Tuy nhiên, có 4 tạp chí công bố nhiều bài báo về nấm rễ nội cộng sinh bao gồm: Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, Khoa học Nông nghiệp và Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội

(ĐHQGHN): Khoa học Tự nhiên và Công nghệ. Trong đó, Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn có số lượng công bố khoa học nhiều nhất (10 bài) chiếm 37,04% trong tổng số bài báo. Tiếp theo là Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ với 5

bài (chiếm 18,52%). Hai tạp chí còn lại là Khoa học Nông nghiệp và Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ có tổng số 2 bài (chiếm 7,41%).



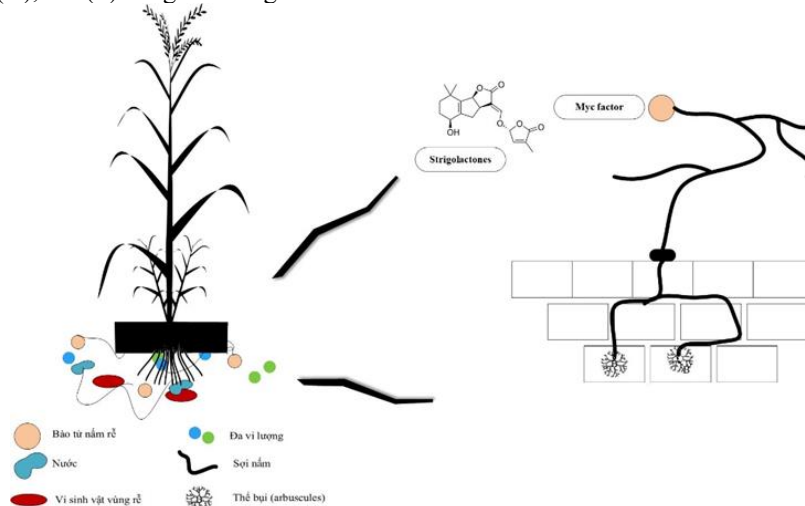
Hình 2. Các tạp chí ở Việt Nam về nấm rễ nội cộng sinh giai đoạn 2006-2021

3. TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG CỦA NẤM RỄ NỘI CỘNG SINH

3.1. Kích thích sinh trưởng cây trồng

Ảnh hưởng của nấm rễ nội cộng sinh lên sự sinh trưởng và phát triển của nhiều đối tượng cây trồng tại Việt Nam được tóm tắt tại Bảng 1. Kết quả cho thấy bổ sung AMF dưới dạng chế phẩm sinh học thương mại hóa và chủng phân lập từ tự nhiên cho thấy khả năng khoáng hóa nguồn dinh dưỡng từ đất trồng như đạm (N), lân (P) cũng như tăng sinh khối

rễ, thân, lá và năng suất cây so với đối chứng (không nhiễm nấm rễ nội cộng sinh). Bên cạnh đó, AMF còn góp phần làm giảm lượng phân bón đầu vào trong quá trình canh tác và tăng hiệu quả sử dụng phân bón từ đó hạn chế sự thất thoát dinh dưỡng, tiết kiệm chi phí và ô nhiễm môi trường sinh thái. Nghiên cứu của Thảo và ctv. (2006) thử nghiệm bón nhiễm hai chi nấm rễ nội cộng sinh *Glomus* sp. và *Gigaspora* sp. cho thấy kết quả tăng hiệu quả sử dụng phân đạm lần lượt 29,69% và 22,47% đồng thời giảm 50% lượng phân đạm so với đối chứng.



Hình 3. Sự hình thành mối quan hệ xâm nhiễm cây trồng và nấm rễ nội cộng sinh

Nấm rễ nội cộng sinh (AMF) hỗ trợ hấp thụ nước và dinh dưỡng khoáng trong đất nhờ sự phát triển của hệ sợi nấm ngoại bào (bên trái) thông qua hình thành mối quan hệ cộng sinh với rễ cây. Hình bên phải mô tả quá trình thực vật tiết ra tín hiệu hóa học strigolactones kích thích bào tử AMF (màu cam) sản sinh tín hiệu “Myc factor” kích thích bào tử nảy mầm và phân nhánh sau đó hình thành đĩa áp (màu đen) phát triển hệ sợi nấm nội bào, cuối cùng hình thành thể búi (arbuscules) giúp trao đổi chất với môi trường bên ngoài.

Điều hạn chế ở các nghiên cứu là cơ chế hấp thụ dinh dưỡng với sự cộng sinh của AMF chưa được giải thích rõ trong các nghiên cứu. Hình 3 mô tả sự tương tác giữa AMF và rễ cây trong vùng rễ. Nhìn chung, có hai con đường hấp thụ dinh dưỡng từ rễ: trực tiếp (biểu bì rễ) và gián tiếp (thông qua sợi nấm ngoại bào của AMF) (Marschner & Dell, 1994; Ortas & Rafique, 2017). Strigolactones được giải phóng từ dịch tiết rễ có vai trò kích thích nấm rễ nội cộng sinh phát ra phân tử tín hiệu “Myc factor”, từ đó kích thích sự phân nhánh trong giai đoạn này mầm của bào tử AMF, sau đó gắn kết vào thụ thể

strigolactones để hình thành mối quan hệ cộng sinh. Sự xâm nhiễm của sợi nấm vào bên trong tế bào rễ thông qua đĩa áp và sau đó hình thành một cấu trúc nhánh (thể arbuscules) tách biệt với tế bào chất của tế bào thực vật do được bao quanh bởi màng “periarbuscular” có ý nghĩa quan trọng trao đổi dinh dưỡng giữa môi trường bên ngoài và thực vật (Akiyama & Hayashi, 2006; Wang et al., 2017). Trong khi đó, thể túi bóng (vesicules) có thể được hình thành đóng vai trò như một cơ quan dự trữ (Rouphael et al., 2015).

Bảng 1. Ảnh hưởng của AMF kích thích sinh trưởng cho cây trồng

Phân họ thực vật	Cây trồng	Quần thể nấm rễ nội cộng sinh	Kết quả nghiên cứu	Nguồn tham khảo
Poaceae	Cây bắp	SHM 04 – DH 16 SHM 04 – DH 47 SHM 04 – TC 139	Tăng hàm lượng NPK hữu hiệu trong đất, tăng sinh khối rễ, thân và lá	Sức và ctv. (2006)
		<i>Glomus</i> sp. <i>Gigaspora</i> sp.	Tăng năng suất, giảm 50% lượng phân đạm sử dụng trong hệ thống xen canh bắp – đậu tương	Thảo và ctv. (2016)
		<i>Glomus</i> sp. <i>Acaulospora</i> sp. <i>Gigaspora</i> sp. <i>Entrophospora</i> sp.	Gia tăng sinh khối rễ, chiều dài rễ, chiều cao thân và trọng lượng trái	Phong và ctv. (2018)
		Solanaceae	Cà chua	Chế phẩm NR-SH1 (dạng bột) và NR-SH2 (dạng lỏng)
Araliaceae	Đinh lăng lá nhỏ	Chế phẩm do Viện Thổ nhưỡng Nông hóa sản xuất	Bổ sung 8 g AMF/bầu giúp tăng diện tích lá, chỉ số SPAD, tích lũy chất khô, số lượng rễ/cây	Phíp và Hải, (2016)
Cucurbitaceae	Dưa leo	<i>Glomus intradices</i> <i>G. mosseae</i> <i>G. aggregatum</i> <i>G. etunicatum</i>	Kết hợp 50% phân hữu cơ và 50% đất bổ sung 2-3 g AMF giúp tăng chiều dài và sinh khối rễ	Hải và ctv. (2021)

SPAD: The Soil Plant Analysis Development

Đạm và lân là hai nguyên tố đa lượng quan trọng đối với cây trồng. Trong đất, nguồn dinh dưỡng đạm chủ yếu ở dạng ammonium (NH_4^+) tương đối di động (thấm sâu xuống tầng nước ngầm, cố định, chảy tràn và bốc hơi) hơn so với dinh dưỡng lân trong đất, do đó rễ cây có khả năng tự hấp thụ lân khu vực quanh vùng rễ dễ dàng hơn so với đạm. Đạm được cây trồng hấp thụ dưới dạng ammonium (NH_4^+) và nitrate (NO_3^-) có thể thông qua hệ sợi nấm ngoại bào của AMF (Wang et al., 2017). Sự thất thoát NO_3^- do thông qua quá trình khử nitrate hóa nên nhìn chung đạm chủ yếu được hấp thụ dưới dạng NH_4^+ bởi chúng được cố định bởi keo đất và ít di

động. Trong mối quan hệ cộng sinh với AMF, kết quả nghiên cứu sử dụng đồng vị 15_N cho thấy ái lực giữa *Rhizophagus irregularis* cao gấp 5 lần so với sự hấp thụ NH_4^+ qua rễ cây (Pérez-Tienda et al., 2012). Điều đó có thể ngụ ý rằng AMF có xu hướng hấp thụ NH_4^+ trong đất cao hơn so với ion NO_3^- . Bên cạnh dinh dưỡng đạm, nguồn lân hữu dụng được cây trồng hấp thụ ở dạng $H_2PO_4^-$ và HPO_4^{2-} với hàm lượng tương đối thấp do sự cố định bởi Fe, Al và Ca lần lượt ở pH thấp và cao (Estaún et al., 2002). Báo cáo ngoài nước gần đây của Murugesan (2020) cũng cho thấy kết quả tương tự, AMF kích thích tăng cường rễ con giúp hấp thụ nước và các chất dinh

dưỡng tốt hơn, nổi bật là N và P lần lượt là 36,3% và 22,1% so với các nghiệm thức không bổ sung nấm rễ nội cộng sinh. Tuy nhiên, AMF có mối tương quan nghịch với hàm lượng đạm và lân hữu dụng có nghĩa là hàm lượng dinh dưỡng trong đất càng cao thì việc ức chế khả năng xâm nhiễm của chúng vào bên trong tế bào rễ càng tăng (Sức và ctv., 2006; Berruti et al., 2016; Nghi và ctv., 2020). Nghiên cứu của Munir et al. (2003) chỉ ra rằng khi tăng hàm lượng lân thì ảnh hưởng của AMF lên cây lúa mạch (*Hordeum vulgare* L., cv. “ACSAD 6”) không khác biệt so với nghiệm thức đối chứng (không nhiễm) nhưng lại tăng cường khả năng hấp thụ các nguyên tố vi lượng như sắt (Fe) và kẽm (Zn).

Hiệu quả trong việc ứng dụng AMF trong điều kiện nhà lưới đã được báo cáo trong các nghiên cứu trên nhiều đối tượng cây trồng. Tuy nhiên, những kết quả ngoài đồng ruộng vẫn còn hạn chế trong nghiên cứu nấm rễ nội cộng sinh tại Việt Nam có thể do đặc tính cộng sinh bắt buộc nên việc nhân sinh khối ở quy mô lớn gặp khó khăn đòi hỏi lựa chọn nguồn cây chủ, lựa chọn chất mang phù hợp và ổn định trong thời gian dài (Estaún et al., 2002; Marleen et al., 2010; Berruti et al., 2016). Akiyama and Hayashi (2006) cho rằng mặc dù trong điều kiện lý lý hóa tối ưu thì AMF vẫn có thể nảy mầm và phân nhánh nhưng hệ sợi nấm phát triển trong đất hạn chế

và tồn tại trong thời gian ngắn. Điều đó có thể dẫn đến kết quả của nhiều nghiên cứu báo cáo sự thất bại ngoài đồng ruộng do khả năng sinh trưởng của AMF giảm dần theo thời gian nếu không có chất mang thích hợp. Do đó, hướng nghiên cứu mới về chất mang đặt ra mục tiêu khám phá phương pháp phân lập và định danh các chủng nấm rễ nội cộng sinh bản địa có tiềm năng ứng dụng và hoạt tính sinh học cao sau đó tái xâm nhiễm vào trong đất được sử dụng như một nguồn phân sinh học để thay thế hoặc kết hợp với phân hóa học trong canh tác nông nghiệp bền vững.

3.2. Sản xuất phân sinh học

Theo Atieno et al. (2020) và Hồng (2017), giai đoạn 1990-2000, nền nông nghiệp Việt Nam tiến hành thâm canh và chuyên môn hóa hệ thống trồng trọt, điều này đã giải quyết vấn đề an ninh lương thực quốc gia cũng như cải thiện đời sống người dân. Tuy nhiên, những vấn đề liên quan đến khâu đầu vào như giống, lạm dụng phân hóa học, thuốc bảo vệ thực vật có nguồn gốc hóa học và không có phương pháp xử lý chất thải nông nghiệp đã tác động xấu đến môi trường cụ thể là đất trở nên nghèo dinh dưỡng, xói mòn, ô nhiễm nước ngầm, giảm đa dạng hệ vi sinh vật đất và thúc đẩy hiệu ứng nhà kính (Rattan, 2015).

Bảng 2. So sánh ưu và nhược điểm các kỹ thuật nhân giống nấm rễ nội cộng sinh

Kỹ thuật nhân giống	Nội dung	Vật liệu nhân giống	Ưu điểm	Nhược điểm
Bẫy đất	Thu hoạch đất/cát quanh vùng rễ sử dụng như giá thể nuôi cây	Đoạn rễ có xâm nhiễm AMF Bào tử Sợi nấm	Đơn giản Dễ thực hiện Tiết kiệm chi phí Nhân sinh khối số lượng lớn	Khó nuôi cấy đơn chủng Khó tách bào tử do lẫn các vật chất hữu cơ Dễ nhiễm mầm bệnh và cỏ dại Tính hiệu quả thấp ở quy mô lớn
Khí canh/ Thủy canh	Sử dụng thủy canh tĩnh hoặc động, hệ thống phun dạng tia	Bào tử	Dễ tách bào tử Mức độ nhiễm thấp Chủng có mức độ tinh sạch	Nguy cơ nhiễm chéo bởi vi khuẩn và tảo từ dung dịch Tỉ lệ sản sinh bào tử thấp
Nuôi cấy in-vitro	Đoạn rễ chuyên gen Ri T-DNA làm vật chủ nuôi cấy trong đĩa petri	Bào tử	Chủng có mức độ tinh sạch cao	Đòi hỏi kỹ thuật cao Chi phí cao Mức độ đa dạng cộng đồng AMF thấp Đòi hỏi chuyên môn cao

Nguồn: Marleen et al. (2011); AMF: Arbuscular Mycorrhizal Fungi

Đối mặt với biến đổi khí hậu và mục tiêu tăng cường chất lượng nông sản, an toàn và bền vững thì phân sinh học là một trong những ưu tiên hàng đầu của tiểu vùng sông Mekong mở rộng bao gồm Việt Nam, Lào, Campuchia, Thái Lan, Myanmar và Trung Quốc (Atieno et al., 2020). Nghị định

84/2019/NĐ-CP hiện hành định nghĩa: “Nhóm phân bón sinh học gồm các loại phân bón được sản xuất thông qua quá trình sinh học hoặc có nguồn gốc tự nhiên, trong thành phần có chứa một hoặc nhiều chất sinh học như axit humic, axit fulvic, axit amin, vitamin hoặc các chất sinh học khác và tùy theo

thành phần hoặc chức năng của chỉ tiêu chất lượng chính trong phân bón được phân loại chi tiết trong quy chuẩn kỹ thuật quốc gia”.

Một số nghiên cứu thử nghiệm sản xuất và khảo sát ảnh hưởng của phân bón sinh học có nguồn gốc từ nấm rễ tại Việt Nam gần đây có nhiều điểm mới. Các nghiên cứu cơ bản hầu hết chỉ tập trung đánh giá ảnh hưởng của AMF lên cây trồng nhưng chưa khảo sát sự biến động về mật số của nấm rễ sau khi

cấy nhiễm theo thời gian. Nghiên cứu của Châu và Huy (2007) đã xây dựng thành công quy trình sản xuất AMF dạng viên nang hỗ trợ sự tăng trưởng cây con Sao đen (*Hopea odorata*). Bên cạnh đó, kết quả ghi nhận tăng chiều cao và trọng lượng trái bắp ở điều kiện ngoài đồng ruộng khi bổ sung chế phẩm gồm bốn loài *Acaulospora longula*, *Gigaspora decipiens*, *Gigaspora gingatea* và *Glomus multicaule* trong môi trường cát/xơ dừa/ đất dinh dưỡng tỉ lệ 1:1:1 trên cây bắp (Yến và ctv., 2018).

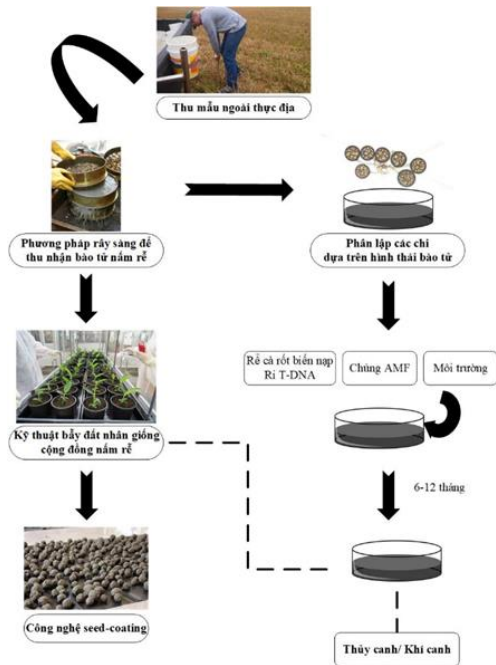
Bảng 3. Số lượng bào tử trung bình của các kỹ thuật nhân giống nấm rễ nội cộng sinh

Kỹ thuật nhân giống	Vật chủ	Giá thể	Loài nấm	Số lượng thể nấm	Nguồn
Bẫy đất	<i>Paspalum notatum</i>	Vermiculite/ compost	Đối chứng	830 propagules/cm ⁻³	Douds et al. (2005)
			<i>Glomus mosseae</i>	707 propagules/cm ⁻³	
			<i>Glomus etunicatum</i>	465 propagules/cm ⁻³	
			<i>Glomus claroides</i>	365 propagules/cm ⁻³	
			<i>Glomus geosporum</i>	2150 propagules/cm ⁻³	
			<i>Glomus intraradices</i>	950 propagules/cm ⁻³	
			<i>Gigaspora gigantea</i>	465 propagules/cm ⁻³	
Bẫy đất	<i>Sorghum bicolor</i>	Đất nhiễm mặn vùng Saemangeum (Hàn Quốc)	Đối chứng	0 bào tử/pot	Selvakumar et al. (2018)
			<i>Gigaspora margarita</i> T3	286,7 bào tử/pot	
			<i>Claroideoglosum lamellosum</i> T37	1293,3 bào tử/pot	
			<i>Gigaspora margarita</i> T42	673,3 bào tử/pot	
			<i>Gigaspora margarita</i> T68	233,3 bào tử/pot	
Khí canh (hệ thống bơm)	<i>Sorghum sudanese</i>	-	<i>Glomus intraradices</i>	140.000 propagules/g	Mohammad et al. (2000)
			<i>Glomus intraradices</i>	175.000 progagules/g	
Thủy canh	<i>Phaseolus vulgaris</i>	-	<i>Glomus intraradices</i> (BEG157)	-	Tajini et al., 2009

Do đặc tính kí sinh bắt buộc với vật chủ nên những hạn chế về mặt công nghệ sản xuất trở thành thách thức đối với việc sản xuất các sản phẩm phân bón sinh học có chứa nấm rễ nội cộng sinh. Hiện nay, nhiều nghiên cứu đã tập trung vào khám phá các kỹ thuật mới để nhân giống AMF nhằm mục tiêu ứng dụng AMF như một nguồn phân sinh học. Bảng 2 so sánh ưu và nhược điểm của ba kỹ thuật chính dựa trên phân loại của Marleen et al. (2011) bao gồm: bẫy đất, thủy canh/ khí canh và nhân giống in-vitro. Nhiều nghiên cứu gần đây báo cáo nhân giống thành công AMF với mật số cao cho thấy tiềm năng ứng dụng ở quy mô đồng ruộng (Bảng 3). Một số kỹ

thuật nhân giống bào tử chính được sử dụng phổ biến trong sản xuất phân sinh học từ nấm rễ nội cộng sinh được mô tả ở Hình 4. Bẫy đất được sử dụng tương đối phổ biến ở hầu hết các nghiên cứu (Berruti et al., 2015) thông qua việc thu hoạch đất hoặc cát tại khu vực nghiên cứu như nguồn giá thể nhân giống, do đó tận dụng được nguồn nguyên liệu sẵn có và tiết kiệm chi phí. Kỹ thuật này có thể nhân giống AMF từ nhiều vật liệu khác nhau như đoạn rễ đã nhiễm nấm rễ nội cộng sinh, bào tử và sợi nấm (Marleen et al., 2011). Tuy nhiên, do nguồn nguyên liệu được sử dụng là từ tự nhiên nên nó có khả năng nhiễm các nhóm vi sinh vật khác cũng như mầm

bệnh và cỏ dại. Basiru et al. (2020) cho rằng cộng đồng AMF được nhân giống từ kỹ thuật cấy đất có thể sử dụng trực tiếp ở quy mô lớn tương đối phổ biến (chiếm hơn 60%) nhưng khả năng thành công thấp, mặc dù một số công nghệ mới được nghiên cứu để hạn chế mầm bệnh, ví dụ như công nghệ áo hạt (seed-coating). Từ đó có thể thấy kỹ thuật này không phù hợp đối với những nghiên cứu cần nhân giống đơn chủng và tạo ra nguồn nấm rễ nội cộng sinh mức độ tinh sạch cao (Gopal et al., 2016).



Hình 4. Các kỹ thuật chính trong sản xuất phân sinh học từ nấm rễ nội cộng sinh

Lựa chọn các kỹ thuật không có giá thể cũng được quan tâm gần đây, trong đó tiêu biểu là thủy canh và khí canh. Thủy canh bao gồm hai dạng thủy canh tĩnh và thủy canh động, tại đó chất dinh dưỡng được luân chuyển trong các hệ thống ống dẫn, qua đó hạn chế sự xâm nhiễm của các nguồn vi sinh vật khác so với kỹ thuật cấy đất, nhưng tốc độ của dòng chảy, hàm lượng chất dinh dưỡng và các bong bóng khí có khả năng ảnh hưởng đến sự phát triển của sợi nấm. Một kỹ thuật khác thay thế là khí canh gồm ba hệ thống: bơm đĩa (atomizing disc), vòi phun áp lực (micro-irrigation nozzle) và vòi phun siêu âm (ultrasonic nebulizer) có đường kính 3-10 μm . Nghiên cứu gần đây của Mohammad et al. (2000) cho thấy kỹ thuật khí canh giúp nhân giống bào tử *Glomus intraradices* với mật số cao và tinh sạch.

Trong thời gian gần đây, nhiều đề tài nghiên cứu ứng dụng từ các Viện, Trường và các sản phẩm thương mại hóa cũng đã được đẩy mạnh trong việc nghiên cứu và phát triển các chế phẩm có chứa nấm rễ nội cộng sinh được sử dụng như nguồn phân bón sinh học (Bảng 4). Điểm nổi bật là ở nghiên cứu của Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam đã phát triển thành công quy trình sản xuất chế phẩm AM *in-vitro* dựa trên kỹ thuật đồng nuôi cây giá thể rễ chuyên gen Ri t-DNA và cộng đồng nấm rễ nội cộng sinh với mật số cao (≥ 1000 IP/g chế phẩm). Nhìn chung, kỹ thuật này phù hợp với mục tiêu tạo ra nguồn nấm rễ nội cộng sinh với mức độ tinh sạch cao nhưng tồn kém nhiều chi phí, thời gian và chất lượng phụ thuộc nhiều vào tay nghề của kỹ thuật viên (Marleen et al., 2011).

Bảng 4. Danh sách một số chế phẩm nấm rễ nội cộng sinh tại thị trường Việt Nam

Tên sản phẩm	Quần thể nấm rễ nội cộng sinh	Mật số nấm rễ	Đơn vị chủ quản	Xuất xứ	Nguồn
Mycorrhiza	<i>Glomus</i> sp., <i>Gigaspora</i> sp., <i>Acaulospora</i> sp.	> 100 bào tử/g chế phẩm	Viện Thổ nhưỡng Nông hóa	Việt Nam	Viện Khoa học Nông nghiệp Việt Nam (2021)
AM <i>in vitro</i>	-	≥ 1000 IP/g chế phẩm	Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam	Việt Nam	Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam (2019)
Ultrafine Mycorrhizae	<i>Glomus intraradices</i> <i>Glomus mosseae</i> <i>Glomus aggregatum</i> <i>Glomus etunicatum</i>	130.000 propagules/lb	Mycsa AG	Hoa Kỳ	Mycsainc (2021)
Dòng phân bón hữu cơ khoáng BM	-	-	Công ty cổ phần đầu tư nông nghiệp Bình Minh	Việt Nam	Công ty cổ phần đầu tư nông nghiệp Bình Minh (2017)

3.3. Khảo sát đa dạng cộng đồng nấm rễ nội cộng sinh

Nhiều nghiên cứu trong nước báo cáo rằng chi *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora* và *Entrophospora* xuất hiện phổ biến ở các địa điểm

nghiên cứu trên nhiều đối tượng cây trồng. Bảng 5 bên dưới tổng hợp kết quả định danh dựa trên phương pháp quan sát đặc điểm của hình thái bào tử và sử dụng đoạn mồi đặc hiệu trong phản ứng khuếch đại chuỗi polymerase.

Bảng 5. Danh sách cộng đồng nấm rễ nội cộng sinh tại Việt Nam

STT	Cộng đồng nấm rễ nội cộng sinh	Phương pháp định danh	Nguồn
Cây bắp			
1	<i>Glomus</i> sp.	Hình thái bào tử	
2	<i>Acaulospora</i> sp.	Hình thái bào tử	
3	<i>Entrophospora</i> sp.	Hình thái bào tử	Xuân và ctv. (2016)
4	<i>Gigaspora</i> sp.	Hình thái bào tử	
5	Chưa định danh	Hình thái bào tử	
6	<i>Acaulospora capsicula</i>	Hình thái bào tử	
7	<i>Acaulospora mellea</i>	Hình thái bào tử	
8	<i>Acaulospora rehmi</i>	Hình thái bào tử	
9	<i>Dentiscutata nigra</i> *	Hình thái bào tử	
10	<i>Dentiscutata reticulata</i> *	Hình thái bào tử	
11	<i>Gigaspora albida</i>	Hình thái bào tử	
12	<i>Gigaspora decipiens</i>	Hình thái bào tử	Yến và ctv. (2017)
13	<i>Gigaspora margarita</i>	Hình thái bào tử	
14	<i>Glomus ambisporum</i>	Hình thái bào tử	
15	<i>Glomus multicaulis</i>	Hình thái bào tử	
16	<i>Racocetra gregaria</i> *	Hình thái bào tử	
17	<i>Rhizophagus clarus</i> *	Hình thái bào tử	
18	<i>Septoglomus deserticola</i> *	Hình thái bào tử	
19	<i>Glomus</i> sp.	Hình thái bào tử	
20	<i>Acaulospora</i> sp.	Hình thái bào tử	Trình và Minh (2017)
21	<i>Entrophospora</i> sp.	Hình thái bào tử	
Cây mè			
22	<i>Glomus</i> sp.	Hình thái bào tử	
23	<i>Acaulospora</i> sp.	Hình thái bào tử	
24	<i>Entrophospora</i> sp.	Hình thái bào tử	Xuân và ctv. (2016)
25	Chưa định danh	Hình thái bào tử	
Cây ớt			
26	<i>Glomus</i> sp.	Hình thái bào tử	
27	<i>Acaulospora</i> sp.	Hình thái bào tử	Xuân và ctv. (2016)
Cây lúa			
28	<i>Acaulospora</i> sp.	Hình thái bào tử	
39	<i>Gigaspora</i> sp.	Hình thái bào tử	Lệ và ctv.,(2020)
30	<i>Septoglomus</i> sp.	Hình thái bào tử	
31	<i>Glomus</i> sp.	Hình thái bào tử	
32	<i>Acaulospora</i> sp.	Hình thái bào tử	Nghi và ctv. (2020)
34	Chưa định danh	Hình thái bào tử	
Bưởi Da Xanh			
35	<i>Glomus</i> sp.	Hình thái bào tử	
36	<i>Acaulospora</i> sp.	Hình thái bào tử	Hương và ctv. (2021)
Cây Lim Xanh			
37	<i>Glomus</i> sp.	Hình thái bào tử	
38	<i>Acaulospora</i> sp.	Hình thái bào tử	
39	<i>Gigaspora</i> sp.	Hình thái bào tử	Khang và ctv. (2019)
40	<i>Scutellospora</i> sp.	Hình thái bào tử	

Cây hồ tiêu		
41	<i>Glomus</i> sp.	Hình thái bào tử
42	<i>Acaulospora</i> sp.	Hình thái bào tử
43	<i>Gigaspora</i> sp.	Hình thái bào tử
44	<i>Scutellospora</i> sp.	Hình thái bào tử
45	<i>Scutellospora</i> sp.	Hình thái bào tử
46	<i>Glomus</i> sp.	Hình thái bào tử
47	<i>Acaulospora</i> sp.	Hình thái bào tử
48	<i>Gigaspora</i> sp.	Hình thái bào tử
49	<i>Scutellospora</i> sp.	Hình thái bào tử
50	<i>Glomite</i> sp.	Hình thái bào tử
Dây thìa canh		
50	<i>Acaulospora longula</i> (#AJ306439)	M13f và M13r
51	<i>Acaulospora spinosa</i> (#JX461237)	M13f và M13r
52	<i>Acaulospora spinosa</i> (#JX461237)	M13f và M13r
53	<i>Diversispora</i> sp. (#KP 756476.1)	M13f và M13r
54	<i>Gigaspora gigantean</i> (#AJ539242)	M13f và M13r
55	<i>Gigaspora</i> sp. (#MF599209)	M13f và M13r
56	<i>Scutellospora pellucia</i> (#AY035663.1)	M13f và M13r
57	<i>Glomus</i> sp. (#MF614120)	M13f và M13r
58	<i>Glomus claroideum</i> (#AJ567810)	M13f và M13r
59	<i>Glomus etunicatum</i> (#AJ239125)	M13f và M13r
60	<i>Glomus cubense</i> (#JF692725)	M13f và M13r
61	<i>Rhizophagus intraradices</i> (#FM865586)	M13f và M13r
62	<i>Funneliformis</i> sp. (#MG008538)	M13f và M13r
Nghệ		
63	<i>Acaulospora minuta</i> (#FR869690)	M13f và M13r
64	<i>Acaulospora rogusa</i> (#LN881566)	M13f và M13r
65	<i>Acaulospora spinose</i> (#KC193264)	M13f và M13r
66	<i>Diversispora</i> sp. (#MH286006)	M13f và M13r
67	<i>Diversispora</i> sp. (#MH286014)	M13f và M13r
68	<i>Diversispora</i> sp. (#KP756538)	M13f và M13r
69	<i>Diversispora</i> sp. (#MH286031)	M13f và M13r
70	<i>Gigaspora albida</i> (#AF004705)	M13f và M13r
71	<i>Gigaspora gigantean</i> (#AJ539242)	M13f và M13r
72	<i>Gigaspora</i> sp. (#MF599209)	M13f và M13r
73	<i>Gigaspora</i> sp. (#MF599215)	M13f và M13r
74	<i>Gigaspora</i> sp. (#AF396820)	M13f và M13r
75	<i>Scutellospora</i> sp. (#AF396813)	M13f và M13r
76	<i>Scutellospora heterogama</i> (#AF004692.1)	M13f và M13r
77	<i>Glomus cubense</i> (#JF692725)	M13f và M13r
78	<i>Glomus microaggregatum</i> (#HG425991)	M13f và M13r
79	<i>Glomus etunicatum</i> (#AJ239125)	M13f và M13r
80	<i>Glomus geosporum</i> (#AJ319786)	M13f và M13r
81	<i>Glomus indicum</i> (#GU059543)	M13f và M13r
82	<i>Rhizophagus</i> sp. (#K16592)	M13f và M13r
83	<i>Rhizophagus intraradices</i> (#FM865586)	M13f và M13r
84	<i>Funneliformis mosseae</i> (#FR750031)	M13f và M13r
85	<i>Funneliformis</i> sp. (#MG008538)	M13f và M13r
86	<i>Claroideoglomus luteum</i> (#KP144302)	M13f và M13r
87	<i>Paraglomus</i> sp. (#MG076805)	M13f và M13r
88	<i>Entrophospora infrequens</i> (#U94713)	M13f và M13r

Duyên và ctv. (2019)

Phong và ctv. (2021)

Hoang et al. (2018)

Chi et al. (2018)

*: Loài mới phát hiện

Các mức độ ngập nước khác nhau của đất có thể ảnh hưởng đến sự tồn tại của nấm rễ nội cộng sinh (William et al., 2001). Tuy nhiên, một số nghiên cứu trong nước hiện nay chỉ ghi nhận sự tồn tại và xâm nhiễm vào bên trong rễ lúa trồng ở điều kiện ngập nước tại Việt Nam nhưng với số lượng loài cũng như khả năng sinh trưởng của chúng bị hạn chế (Lê và ctv., 2020; Nghi và ctv., 2020). Kết quả cho thấy chi *Glomus*, *Acaulospora* và *Gigaspora* xuất hiện tương đối phổ biến trên đất trồng lúa ở các nghiên cứu. Watanarojanaporn et al. (2013) cho rằng loài *Glomus etunicatum* là loài có tỷ lệ xâm nhiễm cao xuất hiện phổ biến trên cây lúa. Kết quả này tương đồng với nghiên cứu của Solaima và Hirata (1998) báo cáo rằng tỷ lệ xâm nhiễm của *Glomus* spp. lên đến 28% trong vòng 6 tuần ở điều kiện canh tác lúa ngập nước. Ramíez-Viga et al. (2018) giải thích yếu tố môi trường có thể là nguyên nhân tác động đến khả năng tồn tại của AMF bởi đòi hỏi chúng phải thích nghi với đa dạng mô hình canh tác như ngập nước trong suốt mùa vụ hoặc ngập khô xen kẽ, đồng thời phải phát huy vai trò cộng sinh đối với cây trồng. Bên cạnh đó, yếu tố vật chủ cũng dẫn đến sự không có sự xuất hiện của AMF. Kết quả của một số nghiên cứu khác không ghi nhận có sự hiện diện của AMF trên nhiều nhóm vật chủ như loài *Phragmites australis* (Wirsel, 2004). Mặc dù vậy cơ chế tồn tại của AMF trong điều kiện yếm khí này lại chưa được giải thích rõ ràng. Một số giả thuyết cho rằng một cơ quan của thực vật là mô khí (aerenchyma) giúp dự trữ và vận chuyển oxy đến nấm rễ nội cộng sinh trong môi trường ngập nước (Watanarojanaporn et al., 2013; Yutao et al., 2015; Nghi và ctv., 2020). Nghiên cứu của Cornwell et al. (2001) báo cáo tỷ lệ xâm nhiễm nhóm thực vật một lá mầm, trong đó có cây lúa, thường có xu hướng cao hơn so với hai lá mầm bởi số lượng mô khí nhiều hơn. Nhóm tác giả còn giải thích rằng trong điều kiện ngập nước, mô khí đảm nhiệm hai vai trò chính: (1) dự trữ và vận chuyển oxy để duy trì sự tồn tại của AMF do hình thành màng ngăn, (2) một lượng nhỏ oxy thất thoát ra khỏi màng có thể tăng khả năng khoáng hóa khu vực quanh vùng rễ tạo điều kiện khoáng hóa dinh dưỡng giúp cho rễ hấp thụ trực tiếp. Tuy nhiên, kết quả cho thấy vào giai đoạn sinh trưởng 50-60 ngày tuổi thì sự ảnh hưởng của AMF lên cây lúa mới hiệu quả do bộ rễ ở giai đoạn cây con chưa phát triển hoàn chỉnh nên khả năng vận chuyển oxy kém. Bước đầu cho thấy AMF có khả năng xâm nhiễm với rễ lúa kể cả trong điều kiện yếm khí, tuy nhiên sự tồn tại này phụ thuộc vào nhiều yếu tố như vật chủ

(giống lúa), giai đoạn sinh trưởng, điều kiện dinh dưỡng và mức độ ngập nước tại khu vực canh tác.

3.4. Vai trò xử lý sinh học

Kim loại nặng là mối nguy hại đối với canh tác nông nghiệp bền vững và sức khỏe con người (Riaz et al., 2021). Những yếu tố thiết yếu như Cu, Fe, Mn, Ni và Zn đóng góp cho sự phát triển bình thường của cây trồng, trong khi Cd, Pb, Hg, As có khả năng gây độc và ức chế sinh trưởng. Nguyen et al. (2020) chỉ ra rằng sự tiềm ẩn nguy cơ ung thư cao trong việc tiêu thụ gạo hàng ngày của người dân khu vực sông Hồng và Đồng bằng sông Cửu Long do hàm lượng As, Cd và Pb trong sản phẩm lúa gạo cao. Do đó, loại bỏ kim loại nặng khỏi môi trường đặt ra vấn đề thách thức lớn trong việc tiếp cận các phương pháp thay thế bằng xử lý sinh học, an toàn, hiệu quả và thân thiện với môi trường.

Vai trò của AMF trong xử lý ô nhiễm kim loại nặng được báo cáo gần đây. Riaz et al. (2021) giải thích hai cơ chế trong quan hệ nấm rễ-cây trồng giúp loại bỏ kim loại nặng: trực tiếp (cấu trúc sợi nấm, cơ chế giải phóng glomalin) và gián tiếp (hỗ trợ hấp thụ dinh dưỡng khoáng, tăng khả năng chống chịu). Nghiên cứu của Đông và ctv. (2017) báo cáo ảnh hưởng tích cực khi sử dụng chế phẩm nấm rễ 400 IP làm giảm đáng kể hàm lượng As, Pb và Cd trong đất khai thác mỏ sau 6 tháng. Bên cạnh đó, nấm rễ còn tái tạo cộng đồng vi sinh vật đất thông qua kích thích sự sinh trưởng và phát triển của nhóm vi sinh vật phân giải lân, cố định đạm và hình thành nốt sần *Rhizobium*.

4. KẾT LUẬN

Số lượng các nghiên cứu về nấm rễ nội sinh tại Việt Nam có xu hướng tăng và đa dạng ở nhiều lĩnh vực. Cộng đồng nấm rễ nội cộng sinh tương đối đa dạng và có tiềm năng ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như sản xuất phân bón sinh học, chế phẩm cải tạo môi trường và kiểm soát sinh học. Tuy nhiên, các phương pháp phân lập và định danh hiện nay dựa trên cơ sở mô tả hình thái bào tử còn nhiều điểm hạn chế và một số loài chưa được xác định. Do đó, với sự tiến bộ của kỹ thuật phân tử là một hướng tiếp cận mới giúp đánh giá hệ sinh thái nấm rễ trong tương lai. Ứng dụng nấm rễ nội cộng sinh là nguồn vi sinh vật có lợi trong sản xuất phân sinh học hoặc kết hợp nhằm làm giảm lượng phân bón hóa học đầu vào để đáp ứng mục tiêu phát triển nền nông nghiệp bền vững theo hướng thân thiện với môi trường, an toàn và hiệu quả.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Akiyama, K., & Hayashi, H. (2006). Strigolactones: Chemical signals for fungal symbionts and parasitic weeds in plant roots. *Ann Bot*, 97(6), 925-931. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl063>
- Atieno, M., Herrmann, L., Huang, T. N., Phan, H. T. P., Nghia, K. N., Pao, S., Maw, M. T., Ruan, Z., Panlada, T., Arawan, S., Lambert, B., & Didier, L. (2020). Assessment of biofertilizer use for sustainable agriculture in the Great Mekong Region. *Journal of Environmental Management*, 275(1), Article 111300. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111300>
- Azcbn-Aguilar, C., & Barea, J. M. (1997). Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Scientia Horticulturae*, 68, 1-24.
- Basiru, S., Mwanza, H. P., Hijri, M. (2020). Analysis of arbuscular mycorrhizal fungal inoculant benchmarks. *Microorganisms*, 9(1), 1-18. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010081>
- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R., & Bianciotto, V. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: Let's benefit from past successes. *Front Microbiol*, 6, Article 1559. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01559>
- Châu, N. M., & Huy, L. Q. (2007). Kết quả nghiên cứu áp dụng thử nghiệm chế phẩm nấm rễ ECM dạng viên nang (alginate beads) cho cây con sao đen (*Hoepa odorata*). *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, 18, 81-86.
- Chi, H. K., Hang, T. T. N., Ha, T. T. H., Cuong, L. H., Quang, T. H., Van, B. A., Yen, L. T. H., & Huang, L. M. (2018). Investigating the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi from *Gymnema sylvestre* and *Curcuma longa* in Vietnam. *Journal of Biotechnology*, 16(4), 697-703.
- Công ty cổ phần đầu tư nông nghiệp Bình Minh. (2017). *Tác dụng của nấm rễ cộng sinh Mycorrhiza trong sản phẩm phân bón hữu cơ BM*. <http://phanbonbinhminh.net/san-pham/che-pham-mycorrhizae.html>
- Cornwell, W. K., Bedford, B. L., & Chapin, C. T. (2001). Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in a phosphorus-poor wetland and mycorrhizal response to phosphorus fertilization. *American Journal of Botany*, 88(10), 1824-1829. <https://doi.org/10.2307/3558359>
- Đông, V. Q., Huy, L. Q., & Tam, Đ. Đ. (2017). Ảnh hưởng của nấm rễ nội cộng sinh AM (Arbuscular mycorrhiza) tới sinh trưởng và cải tạo đất bãi thải Quảng Ninh của Keo tai tượng (*Acacia mangium*) ở vườn ươm. *Viện KHLNVN - VAFS*, 60-70.
- Douds, D. D., Nagahashi, G., Pfeffer, P. E., Reider, C., Kayser, W. M., & Reider, C. (2005). On-farm production of AM fungus inoculum in mixtures of compost and vermiculite. *Bioresource Technology*, 97(6), 809-818. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.04.015>
- Duyên, L. T. K., Nghĩa, T. T., Hoàng, T. Đ., Đa, T. Đ, U., & Đôn, L. Đ. (2019). Xác định nấm cộng sinh Mycorrhiza trên rễ cây hồ tiêu. *Kết quả nghiên cứu khoa học*, 2, 3-7.
- Estaún, V., Camprubí, A., & Joner, E. J. (2002). Selecting arbuscular mycorrhizal fungi for field application. In S, Gianinazzi, H, Schüepp, J. M. Barea, & K, Haselwandter (Eds.). *Mycorrhizal Technology in Agriculture* (pp. 249-259). Birkhäuser, Basel. https://doi.org/10.1007/978-3-0348-8117-3_20
- Gopal, S., Kim, K., Walitang, D., Chanratana, M., Kang, Y., Chung, B., & Sa, T. (2016). Trap Culture Technique for Propagation of Arbuscular Mycorrhizal Fungi using Different Host Plants. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 49(5), 608-613. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2016.49.5.608>
- Gui, H., Gao, Y., Wang, Z., Shi, L., Yan, K., & Xu, J. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi potentially regulate N₂O emissions from agricultural soils via altered expression of denitrification genes. *Science of the Total Environment*, 774, Article 145133.
- Hải, L. T. T., Nga, H., Thúy, L. M., & Linh, L. T. (2021). Ảnh hưởng của nấm rễ Mycorrhiza và phân hữu cơ lên sự sinh trưởng của cây dưa leo. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam*, 1(122), 66-72.
- Hằng, T. T. M., Đăng, N. H., Cường, P. V., & Hằng, T. T. N. (2013). Ảnh hưởng của nấm rễ Mycorrhizae đến sinh trưởng, năng suất và hiệu suất bón lân cho cây cà chua. *Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, 2, 31-37.
- Hassena, A. B., Zouari, M., Trabelsi, L., Decou, R., Amar, F. B., Chaari, A., Soua, N., Labrousse, P., Khabou, W., & Zouari, N. (2020). Potential effects of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating the salinity of treated wastewater in young olive plants (*Olea europaea* L. cv. Chetoui). *Agricultural Water Management*, 245(28), Article 106635. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106635>
- Hồng, N. T. (2017). *Tổng quan về Ô nhiễm Nông nghiệp ở Việt Nam: Ngành trồng trọt*. Ngân hàng thế giới.
- Huong, T. N. D., Linh, N. T. M., & Dương, P. T. T. (2021). Sự phân bố và hiện diện của nấm rễ nội cộng sinh (Vesicular Arbuscular Mycorrhiza) trong vùng đất trồng bưởi Da Xanh tại Bà Rịa

- Vũng Tàu. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, 20(2), 10-16.
- Ingraffia, R., Amato, G., Frenda, A. S., & Giambalvo, D. (2019). Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake, N₂ fixation, N transfer, and growth in a wheat/faba bean intercropping system. *PLoS One*, 14(3), Article e0213672. <https://doi.org/journal.pone.0213672>
- Khang, L. N., Huyền, T. T., Doanh, L. S., Dương, N. T. M., Hằng, N. T. T., & Hải, D. T. (2019). Đa dạng thành phần nấm cộng sinh với rễ cây Lim xanh (*Erythrophleum fordii*) tại khu di tích lịch sử cấp Quốc Gia Đền Và, thị xã Sơn Tây, Thành phố Hà Nội. *Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, 2, 74-80.
- Kowalczyk, A., & Hryniewicz, K. (2018). Strigolactones as mediators between fungi and plants. *Acta Mycol*, 53, Article 1110. <https://doi.org/10.5586/am.1110>
- Lệ, N. V., Ngọc, T. T., Siêu, T. H. (2020). Phân lập và tuyển chọn các chủng nấm rễ nội sinh tăng khả năng chịu phèn mặn của cây lúa (*Oryza sativa* L.) trồng tại huyện Giang Thành, tỉnh Kiên Giang. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, 2, 3-12.
- Leventis, G., Tsiknia, M., Feka, M., Ladikou, E. V., Papadakis, I. E., Chatzipavlidis, I., Papadopoulou K., & Ehaliotis, C. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance growth of tomato under normal and drought conditions, via different water regulation mechanisms. *Rhizosphere*, 19, Article 100394. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100394>
- Marleen, I., Sylvie, C., & Stéphane, D. (2011). Methods for large-scale production of AM fungi: past, present, and future. *Mycorrhiza*, 21(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0337-z>
- Marschner, H., & Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159(1), 89-102.
- Mathur, S., Sharma, M. P., & Jajoo, A. (2018). Improved photosynthetic efficacy of maize (*Zea mays*) plants with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under high temperature stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 180, 149-154. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.02.002>
- Mitra, D., Rad, K. V., Chaudhary, P., Ruparelia, J., Sagarika, M. S., Boutaj, H., Mohapatra, Pradeep K. D., & Panneerselvam, P. (2021). Involvement of strigolactone hormone in root development, influence and interaction with mycorrhizal fungi in plant: Mini-review. *Current Research in Microbial Sciences*, 2, Article 100026. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100026>
- Mohammad, A., Khan, A. G., & Kuek, C. (2000). Improved aeroponic culture of inocula of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 9, 337-339.
- Munir, J. M., Hannan, I. M., & Rida, S. (2003). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization on growth and nutrient uptake of barley grown on soils with different levels of salts. *Journal of Plant Nutrition*, 26(1), 125-137. <https://doi.org/10.1081/PLN-120016500>
- Murugesan, C. (2020). A meta-analytical approach on arbuscular mycorrhizal fungi inoculation efficiency on plant growth and nutrient uptake. *Agriculture*, 10(9), 370. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090370>
- Mycosainc. (2021). *Ultrafine Mycorrhizae*. <https://www.mycosainc.com/en/mycorrhizae-ultrafine>
- Newman, E. I., & Reddell, P. (1987). The distribution of mycorrhizas among families of vascular plants. *New Phytol*, 106, 745-751. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1987.tb00175.x>
- Nghi, P. T. H., Phi, L. T. Y., Doan, T. T. H., Uyên, D. Q., Tuyên, N. P., & Xuân, Đ. T. (2020). Khảo sát ảnh hưởng của một số tính chất hóa học đất lên sự hiện diện của nấm rễ nội cộng sinh trong đất trồng lúa tại tỉnh Hậu Giang. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 56(CĐ Khoa học Đất), 24-31. <https://doi.org/10.22144/ctu.jsi.2020.065>
- Nguyen, T. P., Rupper, H., Pasol, T., & Sauer, B. (2020). Transfer of elements from paddy soils into different parts of rice plants (*Oryza sativa* L.) and the resulting health risks for the Vietnamese population. *J. Viet. Env*, 12(2), 78-89. <https://doi.org/10.13141/jve.vol12.no2.pp78-89>
- Ortas, I., & Rafique, M., 2017. *The mechanisms of nutrient uptake by arbuscular mycorrhizae*. In A. Varma, R. Prasad, & N. Tuteja (Eds.), *Mycorrhiza – Nutrient uptake, biocontrol, ecorestoration* (pp. 1-9). Springer International Publishing AG. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68867-1_1
- Pankaj, U., Kurmi, A., Lothe, N. B., & Verma, R. K. (2021). Influence of the seedlings emergence and initial growth of palmarosa (*Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats. var. Motia Burk) by arbuscular mycorrhizal fungi in soil salinity conditions. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 24, Article 100317. <https://doi.org/10.1016/j.jarmp.2021.100317>
- Pérez-Tienda, J., Valderas, A., Camanes, G., García-Agustín, P., & Ferrol, N. (2012). Kinetics of NH₄⁺ uptake by the arbuscular mycorrhizal

- fungus *Rhizophagus irregularis*. *Mycorrhiza*, 22(6), 485-91. <https://doi.org/10.1007/s00572-012-0452-0>
- Phíp, N. T., & Hải, N. T. T. (2016). Nghiên cứu ảnh hưởng của chế phẩm nấm rễ cộng sinh arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) đến sinh trưởng, phát triển cây đinh lăng tại Gia Lâm - Hà Nội. *Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, 2, 35-39.
- Phong, N. T., Quyền, N. T., Ý, T. H., Toàn, K. L. K., & Xuân, Đ. T. (2018). Khảo sát khả năng hỗ trợ sinh trưởng của cộng đồng nấm rễ trên cây bắp trong điều kiện nhà lưới. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 54(4), 91-99. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2018.074>
- Phong, N. V., Nguyễn, V. T., Kiên, T., & Trúc, H. T. M. (2021). Đặc điểm hệ nấm nội cộng sinh rễ cây hồ tiêu (*Piper nigrum* L.) ở một số tỉnh phía nam. *Khoa học Nông nghiệp*, 63(9), 44-47. [https://doi.org/10.31276/vjst.63\(9\).44-47](https://doi.org/10.31276/vjst.63(9).44-47)
- Ramiez-Viga, T. K., Aguilar, R., Castillo-Argüero, S., Chiappa-Carrara, X., Guadarrama, P., Ramos-Zapat, J. (2018). Wetland plant species improve performance when inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi: a meta-analysis of experimental pot studies. *Mycorrhiza*, 28(5-6), 477-493. <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0839-7>
- Rattan, L. (2015). Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*, 7, 5875-5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>.
- Riaz, M., Muhammad, K., Yizeng, F., Qianqian, W., Huayuan, C., Guoling, Y., Lulu, D., Youjuan, W., Yaoyu, Z., Ioannis, A., & Xiurong, W. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi-induced mitigation of heavy metal phytotoxicity in metal contaminated soils: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 402, Article 123919. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123919>
- Riaz, M., Muhammad, K., Yizeng, F., Qianqian, W., Huayuan, C., Guoling, Y., Lulu, D., Youjuan, W., Yaoyu, Z., Ioannis, A., & Xiurong, W. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi-induced mitigation of heavy metal phytotoxicity in metal contaminated soils: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 402, Article 123919. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123919>
- Rouphael, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M., & Colla, G. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 196, 91-108. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.002>
- Selvakumar, G., Shagol, C. C., Kang, Y., Chung, B. N., Han, S. G., & Sa, T. M. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi spore propagation using single spore as starter inoculum and a plant host. *Journal of Applied Microbiology*, 124(6), 1556-1565. <https://doi.org/10.1111.jam.13714>
- Shen, Y., & Zhu, B. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi reduce soil nitrous oxide emission. *Geoderma*, 402, Article 115179.
- Solaiman, M. Z., & Hirata, H., 1998. *Glomus*-wetland rice mycorrhizas influenced by nursery inoculation techniques under high fertility soil conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 27, 92-96.
- Súc, N. V., Xuân, B. Q., Hiệp, N. V., & Anh, T. T. (2006). Ảnh hưởng của 3 chủng nấm Mycorrhiza: SHM 04 - DH 16, SHM 04 - DH 47 và SHM 04 - TC 139 đối với khả năng hút chất dinh dưỡng và sinh trưởng của cây ngô LVN 10 trên đất bạc màu Bắc Giang. *Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, 1, 39-42.
- Tajini, F., Suriyakup, P., Vailhe, H., Jansa, J., & Drevon, J. J. (2009). Assess suitability of hydroaerobic culture to establish tripartite symbiosis between different AMF species, beans, and rhizobia. *BMC Plant Biol.*, 9, 73. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-9-73>
- Thảo, T. T. D., Vy, T. T., & Tuyền, T. T. (2016). Ảnh hưởng của nấm rễ nội cộng sinh vesicular arbuscular mycorrhizas đến hiệu lực phân đạm trong hệ thống xen canh ngô (*Zea mays* L.) – đậu tương (*Glycine max* L.) tại tỉnh Đồng Nai. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*, 1, 44-52.
- Trinh, V. T. T., & Minh, D. (2017). Sự phân bố và xâm nhiễm của nấm rễ nội sinh (Vesicular arbuscular mycorrhiza - VAM) trong mẫu rễ và đất trồng bắp tại một số tỉnh Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 53(Phần B), 105-111. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2017.163>
- Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam. (2019). *Quy trình công nghệ nhân sinh khối in vitro và sản xuất chế phẩm AM*. <http://vafs.gov.vn/vn/quy-trinh-cong-nghe-nhan-sinh-khoi-in-vitro-va-san-xuat-che-pham-am/>
- Viện Khoa học Nông nghiệp Việt Nam. (2021). *Chế phẩm nấm rễ cộng sinh Mycorrhiza*. <https://vaas.vn/vi/tien-bo-ky-thuat/che-pham-nam-re-cong-sinh-mycorrhiza>
- Wang, W., Shi, J., Xie, Q., Jiang, Y., Yu, N., & Wang, E. (2017). Nutrient exchange and regulation in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Molecular Plant*, 10(9), 1147-1158.
- Watanarojanaporn, N., Nantakorn, B., Panlada, T., & Aphakorn, L. (2013). Effect of rice cultivation systems on indigenous arbuscular mycorrhizal fungal community structure. *Microbes Environ*, 28(3), 316-324. <https://doi.org/10.1264/jmsme2.ME13011>
- Wirsel, S. G. R. (2004). Homogenous stands of a wetland grass harbour diverse consortia of arbuscular mycorrhizal fungi. *FEMS*

- Microbiology Ecology*, 48(2), 129-138.
<https://doi.org/10.1016/j.femsec.2004.01.006>
- Xuân, Đ. T., Vi, N. P. N. T., & Diễm, D. H. K. (2016). Khảo sát sự xâm nhiễm và sự hiện diện của bào tử nấm rễ nội cộng sinh (Arbuscular mycorrhiza) trong mẫu rễ và đất vùng rễ của cây bắp, mè và ớt được trồng ở thành phố Cần Thơ. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 46, 47-53. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2016.541>
- Yến, L. T. H., Quyên, L. T. L., Dung, L. T., Linh, M. T. Đ., & Hợp, D. V. (2017). Nghiên cứu đa dạng nấm rễ nội cộng sinh (Arbuscular Mycorrhizal Fungi) phân lập từ đất trồng ngô ở Hà Nội. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*, 33(2S), 312-318.
<https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.4606>
- Yutao, W., Ting, L., Yingwei, L., Lars O. B., Søren, R., Olsson, Pål, A.O., Shaoshan, L., & Xuelin, F. (2015). Community dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in high-input and intensively irrigated rice cultivation systems. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(8).
<https://doi.org/10.1128/AEM.03769-14>
- Zhao, Z., Chen, L., & Xiao, Y. (2021). The combined use of arbuscular mycorrhizal fungi, biochar and nitrogen fertilizer is most beneficial to cultivate *Cichorium intybus* L. in Cd-contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 217(1), Article 112154