



DOI:10.22144/ctujos.2024.450

## TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG NẤM RỄ NỘI CỘNG SINH TRONG SẢN XUẤT NÔNG NGHIỆP HỮU CƠ VÀ GIẢM PHÁT THẢI KHÍ NHÀ KÍNH

Đỗ Thị Xuân<sup>1</sup>, Tạ Lâm Tài<sup>2\*</sup>, Nguyễn Thị Kim Anh<sup>2</sup>, Thái Thị Ngọc Dung<sup>2</sup>, Võ Mộng Thường<sup>2</sup>, Dương Thị Kim Di<sup>2</sup>, Huỳnh Quốc Huy<sup>2</sup>, Hoàng Tuấn Thanh<sup>2</sup>, Trần Vũ Phương<sup>1</sup> và Nguyễn Thị Pha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Viện Công nghệ Sinh học và Thực phẩm, Trường Đại học Cần Thơ

<sup>2</sup>Học viên ngành Công nghệ sinh học Khóa 29, Trường Đại học Cần Thơ

\*Tác giả liên hệ (Corresponding author): tltai582000@gmail.com

### Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 19/04/2024

Sửa bài (Revised): 26/07/2024

Duyệt đăng (Accepted): 31/09/2024

**Title:** Potential application of arbuscular mycorrhizal fungi on organic agricultural production and mitigating greenhouse gas emissions

**Author(s):** Do Thi Xuan<sup>1</sup>, Ta Lam Tai<sup>2\*</sup>, Nguyen Thi Kim Anh<sup>2</sup>, Thai Thi Ngoc Dung<sup>2</sup>, Vo Mong Thuong<sup>2</sup>, Duong Thi Kim Di<sup>2</sup>, Huynh Quoc Huy<sup>2</sup>, Hoang Tuan Thanh<sup>2</sup>, Tran Vu Phuong<sup>1</sup> and Nguyen Thi Pha<sup>1</sup>

**Affiliation(s):** <sup>1</sup>Institute Food and Biotechnology, Can Tho University; <sup>2</sup>Biotechnology master students, Can Tho University

### TÓM TẮT

Cùng với sự biến đổi khí hậu, sự lạm dụng hóa chất nông nghiệp trong sản xuất nông nghiệp dẫn đến sự bạc màu đất, giảm năng suất và chất lượng của nông sản. Trong canh tác nông nghiệp, nấm rễ nội cộng sinh (arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) ký sinh bắt buộc với thực vật và có vai trò như nguồn phân bón và thuốc bảo vệ thực vật sinh học, cải tạo đất và góp phần tăng năng suất của cây trồng. Mục tiêu của nghiên cứu tổng quan là tóm tắt vai trò có lợi của nấm rễ AMF đối với cây trồng và môi trường đất canh tác. Các kết quả nghiên cứu tham khảo chứng minh được vai trò có lợi của nấm rễ AMF giúp cây trồng hấp thu dinh dưỡng, đối kháng với nguồn bệnh trong đất, hỗ trợ cây trồng trong điều kiện bất lợi của môi trường, giảm ngộ độc kim loại nặng và giúp giảm phát thải khí nhà kính. Do đó, nấm rễ AMF được xem là nhóm vi sinh vật có lợi tiềm năng đáp ứng yêu cầu phục vụ trong sản xuất nông nghiệp hữu cơ.

**Từ khóa:** Dinh dưỡng trong đất, điều kiện bất lợi của môi trường, nấm rễ nội cộng sinh AMF, phát thải khí nhà kính, xử lý kim loại nặng

### ABSTRACT

Along with climate change and the overuse of agrochemicals in agricultural practices that cause soil degradation, decline of yields and quality of agricultural products. In agricultural soils, arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are obligate root symbiosis and enhance plant growth, development and yield. The objective of the review study was to summarize the beneficial roles of AMF in improving soil nutrition, in biological control of soil borne plant pathogens, in control of abiotic environmental stresses, in heavy metal bioremediation and in mitigation of greenhouse gas emissions. These research results demonstrate that AMF have beneficial activities that enhanced plants to uptake more nutrients, against fungal soil born plant pathogens, reduced heavy metal uptake in plant and mitigated greenhouse gas emissions. Therefore, AMF group is considered as potential beneficial candidates that meet requirement for being applied for organic agricultural production.

**Keywords:** Abiotic environmental stress, arbuscular mycorrhizal fungi, bioremediation of heavy metals, greenhouse gas emissions, soil nutrients

## 1. GIỚI THIỆU

Nấm rễ nội cộng sinh (arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) là dạng cộng sinh bắt buộc giữa rễ của thực vật trên trái đất với nấm thuộc ngành Glomeromycota (Schussler et al., 2001). Trong sự cộng sinh này, cây trồng cung cấp khoảng 20 - 40% nguồn carbon từ quá trình quang hợp của thực vật cho nấm rễ (Basu et al., 2018) ngược lại nấm rễ giúp cây trồng hấp thu dinh dưỡng có trong đất chủ yếu là P, N K và một số vi lượng có trong đất (Perner et al., 2007). Sự xâm nhiễm của nấm rễ với rễ của cây trồng giúp tăng bề mặt tiếp xúc của rễ với môi trường đất, tăng khả năng hấp thu dinh dưỡng do hệ sợi nấm rễ có thể phát triển vươn dài bên ngoài vùng rễ cây ký chủ để hấp thu các dưỡng chất và cung cấp cho rễ của cây ký chủ (Khan et al., 2000) và hệ sợi khuẩn ty này có vai trò như hàng rào bảo vệ rễ của thực vật, từ đó giúp cây trồng đối kháng với một số nguồn bệnh trong đất. Các nghiên cứu gần đây đã chứng minh nấm rễ AMF có vai trò như tác nhân giúp giảm phát thải khí nhà kính và giảm ngộ độc kim loại nặng trong đất. Do đó nấm rễ nội cộng sinh có tiềm năng ứng dụng trong sản xuất nông nghiệp hữu cơ.

## 2. VAI TRÒ CỦA NẤM RỄ NỘI CỘNG SINH CUNG CẤP DINH DƯỠNG VÀ ĐỐI KHÁNG VỚI NGUỒN BỆNH

Với vai trò chính của nấm rễ AMF có khả năng hòa tan lân trong đất nên nấm rễ AMF được xem như là nguồn phân bón sinh học cung cấp lân (P) cho cây trồng. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh, nấm rễ AMF có vai trò quan trọng trong việc hấp thu chất dinh dưỡng và tăng cường độ phì nhiêu của đất, từ đó đóng vai trò quan trọng trong nông nghiệp bền vững (Malik et al., 2023; Herath et al., 2024). Khi nấm xâm nhiễm vào rễ thực vật, hệ sợi khuẩn ty của nấm AMF vươn dài ra khỏi vùng rễ và hấp thu các chất dinh dưỡng thiết yếu, đặc biệt là P ở phạm vi ngoài vùng rễ nơi mà rễ thực vật không thể tiếp cận được. Để đổi lấy những chất dinh dưỡng này, nấm nhận carbohydrate do thực vật tạo ra thông qua quá trình quang hợp (Parihar et al., 2020). Sự trao đổi tương hỗ này giúp cải thiện đáng kể khả năng hấp thu lân của cây trồng, cũng như các chất dinh dưỡng khác như nitơ. Trong canh tác nông nghiệp có sử dụng nấm AMF có thể giúp giảm đến 50% phân bón hóa học trên các cánh đồng để sản xuất nông nghiệp tốt nhất (Begum et al., 2019). Tương tự như P, nitrogen (N) là một phần quan trọng của thực vật. N là thành phần của phospholipid, coenzyme và amino acid (Hawkesford et al., 2012). Trong đất, N hiện diện ở dạng hữu cơ và dạng vô cơ (nitrite, nitrate và

các ion ammonium). Thực vật hấp thu N vô cơ ở dạng  $\text{NH}_4\text{-N}$  và  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Nhiều nghiên cứu đã chứng minh nấm AMF giúp huy động dạng N vô cơ từ đất. Hệ sợi khuẩn ty của nấm AMF có khả năng hấp thụ  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , và N hữu cơ dạng axit amin (Casieri et al., 2013; Chen et al., 2018; Drechsler et al., 2018; Jansa et al., 2019). Sau đó N được chuyển về bên trong rễ của thực vật qua hệ thống sợi tơ nấm, do đó có thể nấm rễ tham gia vào quá trình khoáng hóa hợp chất hữu cơ để chuyển hóa N hữu cơ thành N vô cơ hữu dụng cho cây trồng (Lambers et al., 2008). Thực vật với sự xâm nhiễm của nấm rễ sẽ làm tăng năng suất và chất lượng của nông sản (Jamiołkowska et al., 2018).

Nhiều nghiên cứu đã chứng minh nấm rễ AMF giúp cây trồng ức chế với các nguồn nấm bệnh trong đất (Aguk et al., 2018; Hage-Ahmed et al., 2019; Lin et al., 2021). Tương tự như nhóm vi sinh vật gây hại cây trồng, nấm rễ AMF bắt buộc phải ký sinh vào rễ của thực vật để sinh trưởng và nhân mật số. Khi có sự hiện diện của nguồn bệnh thì sự cạnh tranh dinh dưỡng, cạnh tranh chỗ ở xảy ra giữa các nhóm vi sinh vật có lợi bao gồm nấm AMF và có hại xảy ra. Do đặc tính của nấm rễ sẽ hoàn trả lại dinh dưỡng cho thực vật nên cơ chế tự vệ của thực vật đối với nấm rễ không xảy ra, còn đối với nhóm vi sinh vật gây hại tấn công rễ của thực vật sẽ kích hoạt hệ thống phòng vệ đối với nguồn bệnh. Thêm vào đó, hệ sợi khuẩn ty của nấm AMF có khả năng tổng hợp một số hợp chất như là các phytohormones (Schmitz et al., 2014), các hợp chất thứ cấp bao gồm, phenolic, flavonoid, (Tahat et al., 2012) hoặc các tín hiệu như nitric oxide (NO), JA, SA, ET, hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), ABA,  $\text{Ca}^{2+}$  giúp cây trồng tiết ra các hợp chất kích kháng bảo vệ cây khi có nguồn bệnh tấn công (Schmitz et al., 2014; Min et al., 2018; Abdul et al., 2023).

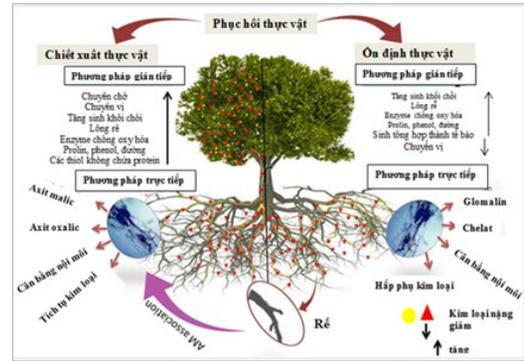
## 3. VAI TRÒ CỦA NẤM RỄ NỘI CỘNG SINH GIẢM NGỘ ĐỘC TRONG ĐẤT CANH TÁC CÂY TRỒNG

Sự ô nhiễm đất do kim loại nặng (KLN) là vấn đề toàn cầu, hàm lượng Zn, Cd, Pb và Fe ngày càng tăng trong nước thải, hoạt động khai thác mỏ và từ các ngành công nghiệp luyện kim loại đã ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường. Khó khăn trong việc phục hồi môi trường bị ô nhiễm KLN phát sinh là độc tính kim loại, hàm lượng dinh dưỡng trong đất thấp và ảnh hưởng đến đặc tính vật lý và sinh học đất tại khu vực bị ô nhiễm. Trong quá trình cộng sinh với rễ thực vật, nấm rễ AMF có khả năng hỗ trợ sự tăng trưởng và khả năng chống chịu của thực vật với các điều kiện stress môi trường bao gồm đất bị

ô nhiễm bởi hợp chất hữu cơ và KLN (Wang et al., 2017). Nấm rễ AMF khi cộng sinh với rễ của thực vật sinh trưởng trong môi trường đất bị ô nhiễm KLN, chúng sẽ hỗ trợ thực vật bằng cơ chế ảnh hưởng trực tiếp là làm tăng khả năng chống chịu kim loại của thực vật như cố định, hấp phụ kim loại trên thành sợi nấm và tiết ra glomalin, thay đổi quá trình trao đổi chất bằng con đường phenylpropanoid hoặc cơ chế ảnh hưởng gián tiếp là làm thay đổi hình thái rễ, tăng cường sinh tổng hợp chất chống oxy hóa, tăng sinh khối chồi (Hình 1).

Một số nghiên cứu về vai trò của nấm AMF tham gia vào quá trình xử lý KLN (Domka et al., 2019; Gong et al., 2019; Janeeshma and Puthur, 2020) chứng minh thực vật sống ở những ô nhiễm KLN có thể thực hiện các cơ chế khác nhau như hạn chế độc tính, kháng KLN hoặc siêu tích lũy. Nấm rễ nội sinh ảnh hưởng trực tiếp đến các con đường này thông qua việc điều hòa các cơ chế thực vật ký chủ liên quan đến khả năng giảm sự chuyển hóa của KLN bên trong rễ của thực vật hoặc gián tiếp bằng sự tích lũy kim loại trong sợi nấm, sự hấp thụ kim loại vào thành tế bào nấm hoặc bài tiết các hợp chất hữu cơ như chelat, axit hữu cơ, hợp chất phenolic và exopolysaccharides. Vai trò của AMF là: (1) hấp thụ lượng lớn KLN (một số chủng nấm AMF có khả năng hấp thụ kim loại độc như chi *Phomopsis* và *Bipolaris*). Ví dụ, chi *Bipolaris* phân lập từ *Alnus nepalensis* được chứng minh là có khả năng chống chịu Cd cao (Angieska et al., 2019; Federico et al., 2020); (2) dung nạp kim loại (cơ chế dung nạp kim loại liên quan Glutathione); (3) hạn chế độc tính kim loại bằng cách tiết ra các phân tử liên kết kim loại vào vùng rễ; (4) tăng khả năng chống chịu kim loại (AMF có thể tác động đến khả năng tích lũy và trung hòa các kim loại độc hại bên trong cây chủ bằng hệ thống khử độc phức tạp và hiệu quả cao hoặc bằng cách tránh hay loại trừ để hạn chế độ tính của kim loại); (5) cố định kim loại; (6) AMF ảnh hưởng đến sự hấp thụ và phân phối kim loại trong cây; (7) ảnh hưởng của AMF đến quá trình giải độc kim loại nặng và (8) siêu tích lũy KLN.

Ô nhiễm kim loại nặng trong đất và cây trồng ảnh hưởng đáng kể đến vấn đề chất lượng của nông sản và sức khỏe của con người. Các chất gây ô nhiễm đất phổ biến bao gồm arsen (As), cadmium (Cd), chì (Pb), đồng (Cu), kẽm (Zn), niken (Ni) và thủy ngân (Hg) (Jaskulak et al., 2020). Ô nhiễm đất nông nghiệp và cây trồng là một vấn đề toàn cầu (FAO và UNEP, 2021). Ví dụ, ở Châu Âu, khoảng 137.000 km<sup>2</sup> đất nông nghiệp cần được khắc phục do ô nhiễm kim loại nặng (Tóth et al., 2016).



**Hình 1. Cơ chế trực tiếp và gián tiếp của AMF trong sự thích nghi của thực vật với kim loại nặng (Janeeshma & Puthur, 2020)**

Ở Trung Quốc, ô nhiễm đất do As, Cd, Pb, Cu và Zn được tìm thấy ở các khu vực trung nam và tây nam, như các tỉnh Hồ Nam, Quảng Đông, Vân Nam và Quảng Tây (Hu et al., 2020). Hàm lượng KLN bao gồm Cd, Hg, Pb, Cu và Zn, trong đất lúa cao hơn so với đất nương (Huang et al., 2019). Ở Bangladesh, đất và cây trồng bị ô nhiễm bởi KLN, từ đó ảnh hưởng đến sự lưu tồn của KLN trong nông sản; ví dụ, hàm lượng Zn trong phần ăn được của *Basella alba* có thể đạt tới 19,76 mg kg<sup>-1</sup> và Cu trong *Cucurbita moschata* có thể đạt tới 9,37 mg kg<sup>-1</sup> (Kumar et al., 2019). Ở Maroc, nồng độ Pb trong rễ, lá, vỏ và hạt của *Vicia faba* dao động từ 18,3 mg/kg<sup>-1</sup> đến 45,7 mg/kg<sup>-1</sup> và Cd dao động từ 6,0 mg/kg<sup>-1</sup> đến 12,0 mg/kg<sup>-1</sup> (Kumar et al., 2019). Tại Việt Nam, nồng độ các KLN như Cr, Zn, Pb, Cu, As và Cd trong đất nông nghiệp đều vượt quá mức cho phép tại các huyện có khu công nghiệp hoạt động. Điển hình tại tỉnh Đồng Tháp, sự hiện diện của các kim loại nặng như As, Pb, Cu Zn và Cd trong đất canh tác, gây ra nguy cơ mất cân bằng sinh thái cao (Van et al., 2017; Nguyen et al., 2022).

Lúa (*Oryza sativa* L.) là cây lương thực thiết yếu nuôi sống 50% dân số thế giới. Ở một số nước châu Á như Bangladesh, Srilanca, Việt Nam, Campuchia và nhiều quốc gia khác, lúa là lương thực chính hàng ngày của 90% dân số cả nước; ở Indonesia, Thái Lan là 80%; Philippines, Triều Tiên là 75%, Ấn Độ là 65% và Trung Quốc là 63% (Kumar et al., 2019). Trong quá trình canh tác KLN xâm nhập vào chuỗi thức ăn thông qua cây trồng và gây ra những rủi ro nghiêm trọng cho sức khỏe. Đặc biệt, As và Cd trong đất có thể dễ dàng được cây lúa hấp thụ (Kumar et al., 2019). As có chung đường hướng chuyển hóa với các chất vận chuyển silicon (Si)/phosphorus (P), và Cd có chung đường hướng với Zn và mangan (Mn), do đó lúa tích lũy một lượng As và Cd đáng kể (Zhao & Wang, 2020). Sự

di chuyển của As và Cd trong đất ảnh hưởng đến sự tích lũy của chúng trong cây lúa (Bảng 1).

Trước vấn đề đó, nhiều nghiên cứu cho rằng thực vật có mối liên hệ chặt chẽ với vi sinh vật đất và có thể ảnh hưởng đến tiến trình sinh lý và khả năng thích nghi của thực vật, đặc biệt là nhóm nấm rễ AMF. Sự cộng sinh của nấm rễ AMF có thể làm giảm sự hấp thụ KLN của cây tùy thuộc vào sự kết hợp giữa nấm và thực vật. Theo Li et al. (2022) nghiên cứu cho thấy AMF có thể làm giảm sự hấp thụ KLN trên cây lúa, AMF có thể tham gia vào các quá trình tích lũy As và Cd, chẳng hạn như làm giảm

tác dụng của kim loại nặng đối với thực vật bằng cách cố định chúng bằng sợi nấm và glomalin (Wu et al., 2015). Vùng rễ là nơi có thể làm thay đổi biểu hiện gen của các chất vận chuyển As và Cd (Li et al., 2020) (con đường tín hiệu), và ảnh hưởng đến quá trình sinh tổng hợp các thành phần thành tế bào ở rễ (Basyal & Emery, 2021), có khả năng ảnh hưởng đến việc phân bố kim loại (con đường apoplast). Ngoài ra, AMF có thể hỗ trợ thực vật giải độc qua cơ chế chuyển hóa các KLN và thải KLN ra khỏi sợi nấm (Luo et al., 2017), từ đó tăng cường sức khỏe cho cây trồng, khả năng chống chịu stress môi trường.

**Bảng 1. Các yếu tố do nấm rễ cộng sinh AMF gây ra ảnh hưởng đến sự hấp thụ, vận chuyển và trao đổi As và Cd (Li et al., 2022; Yunjian et al., 2024)**

Nhân tố	Tác dụng	Cơ chế
<b>Môi trường vùng rễ</b>		
Tính chất đất vùng rễ	Thay đổi khả năng di chuyển của các chất ô nhiễm trong đất	Thay đổi các tính chất của đất như độ pH, khả năng giữ nước do hình thành glomalin; sợi nấm có thể hấp thụ các anion như $PO_4^{3-}$ và $NO_3^-$ , làm tăng ion $OH^-$ và do đó làm tăng pH trong đất
Sự biến đổi hóa học của Cd	Giảm Cd vô cơ và tăng Cd dễ oxy hóa và tồn dư trong đất; giảm Cd và Cd có thể khử trong đất	Chưa rõ
Cộng đồng vi khuẩn vùng rễ	Huy động hoặc cố định các chất ô nhiễm trong đất/tăng cường khả năng di chuyển của chất dinh dưỡng	Vi khuẩn được thúc đẩy bởi AMF gây ra sự huy động hoặc cố định các ion
Sự hình thành glomalin trong đất	Tăng cường khả năng giữ nước của đất, ổn định chất ô nhiễm và cải thiện tổng hợp	Sự hình thành glomalin ưa nước như một chất giống như keo
Cải thiện cấu trúc đất	Hạn chế sự hấp thụ các kim loại nặng như As và Cd trong đất	Cải thiện cấu trúc đất, tăng sự ổn định của định và giảm sự di chuyển của các kim loại nặng trong đất
Hệ sợi khuẩn ty	Ổn định/cố định các chất ô nhiễm bằng metallothionein; khử As (V) thành As (III)	Hấp thụ và thu hút các chất ô nhiễm bằng sợi nấm (bên trong hoặc trên bề mặt); As (V) reductase và GiArsA (bom thải arsenite)
<b>Thực vật</b>		
Nguồn dinh dưỡng thực vật	Tăng sinh khối nên giảm nồng độ chất ô nhiễm	Cải thiện dinh dưỡng như P và N
Hoạt động chống oxy hóa	Tăng cường hoạt động chống oxy hóa chống lại stress oxy hóa gây ra bởi các chất ô nhiễm	Chưa rõ
Cấu trúc của bộ rễ	Tăng sinh khối rễ và thay đổi cấu trúc rễ như chiều dài rễ, độ dày, diện tích mặt cắt võ rễ	Cải thiện dinh dưỡng như tái tạo P và N/thành tế bào
Con đường Symplast	Thay đổi mức độ protein vận chuyển chất ô nhiễm	Chưa rõ

Nhân tố	Tác dụng	Cơ chế
Con đường/rào cản Apoplast	Thay đổi sự vận chuyển và phân bố chất ô nhiễm trong không gian apoplast	Chưa rõ
Điều hòa phytohormone	Hỗ trợ thực vật giải độc và cô lập các kim loại nặng trong các mô cây	Điều chỉnh sự hấp thụ và vận chuyển các kim loại nặng
Chống oxy hóa	Giúp thực vật chống các tác nhân gây oxy hóa do tiếp xúc với kim loại nặng	Sản xuất các enzyme và hợp chất trung hòa các gốc tự do
Cố định kim loại	Hỗ trợ hạn chế sự vận chuyển các kim loại này đến các phần trên của cây	Cố định kim loại nặng trong các sợi nấm, giảm lượng kim loại tiếp cận rễ cây
Tăng cường hấp thụ dinh dưỡng	Hỗ trợ cây trồng hấp thụ dinh dưỡng hiệu quả hơn, từ đó gián tiếp giảm sự hấp thụ các kim loại nặng như As và Cd	Mở rộng hệ thống rễ thông qua các sợi nấm
Sự biến đổi hóa học của As	Tăng tỷ lệ As (III)/As (V) ở thực vật; tăng hàm lượng As hữu cơ (ít độc hơn)	Khi biến đổi thông qua As (III) methyltransferase (RiMT-11) trong AMF

Theo Jan et al. (2020), thuốc bảo vệ thực vật (BVTV) giúp bảo vệ cây trồng và nông sản, tuy nhiên việc lạm dụng thuốc BVTV về lâu dài dẫn đến sự lưu tồn và gây ô nhiễm đất, nước và cây trồng. Alengebawy et al. (2021) xác định trong các nguồn KLN trong tự nhiên như trong dung nham núi lửa, trầm tích, mẫu chất thì còn có nguồn KLN do con người tạo ra và được tồn tại trong một số các nhóm hóa chất nông nghiệp bao gồm thuốc BVTV. Những nguồn này dẫn đến sự gia tăng đáng kể nồng độ KLN và ô nhiễm trong hệ sinh thái, ví dụ như hoạt động luyện kim dẫn đến giải phóng Cu, Zn và As, sự tổng hợp thuốc trừ sâu góp phần giải phóng As. Việc sử dụng thuốc trừ nấm gốc đồng (Cu) thường xuyên và trong thời gian dài sẽ dẫn đến sự lưu tồn Cu trong đất gây ngộ độc cho cây trồng. AMF tạo ra các cơ chế giúp cây hạn chế ngộ độc Cu bằng cách hấp thụ, dung nạp, hạn chế độc tính kim loại bằng cách tiết ra các phân tử liên kết kim loại vào vùng rễ, tăng khả năng chống chịu, cố định hoặc siêu tích lũy.

*AMF cải thiện khả năng chịu hạn của cây có mùi*

Theo công bố của Tang et al. (2023), ảnh hưởng của AMF đến phản ứng của cây có mùi với những stress phi sinh học bao gồm:

Dưới áp lực hạn hán, việc chủng AMF có thể thúc đẩy sự hấp thụ nước của thực vật, làm giảm bớt hạn hán sinh lý và điều chỉnh sự cân bằng ion trong thực vật, giảm tổn thương cho màng sinh chất và enzyme. Hơn nữa, nó có thể trực tiếp hoặc gián tiếp tăng cường hiệu quả quang hợp, giảm thiểu tác động

ức chế của hạn hán, giảm thiểu thiệt hại cho sự phát triển của thực vật và cuối cùng là củng cố khả năng phục hồi của thực vật trước hạn hán (Tang et al., 2023).

Nghiên cứu của Cheng et al. (2022) đã đánh giá tác động của nấm rễ *Funneliformis mosseae* đối với sự phát triển của cây có mùi, thành phần và hàm lượng dịch tiết ra từ rễ, enzyme phosphatase của đất và rễ, nồng độ glomalin trong đất và tính ổn định của đất trong điều kiện được tưới nước tốt (75% khả năng giữ nước tối đa) và điều kiện hạn hán (55% khả năng giữ nước tối đa). Sau tám tuần xử lý hạn, việc chủng nấm AMF đã cải thiện sự phát triển của cây trồng cho thấy thành phần dịch tiết ra từ rễ đã thay đổi so với phương pháp xử lý không chủng nấm. Việc bổ sung nấm rễ AMF làm tăng đáng kể hàm lượng tương đối của phenolic (ví dụ: 2H, 8H-Benzo [1,2-b:3,4-b'] dipyrans-2-one, 8,8-dimethyl), terpenoid (ví dụ: geijerene) và axit (axit n-hexadecanoic), làm giảm đáng kể hàm lượng tương đối của ankan (ví dụ: tridecane, 2-methyl-), este (ví dụ: axit hexanedioic và dimethyl ester) và amit (ví dụ: 13-docosenamide) trong dịch tiết của rễ. Sự xâm nhập của nấm mycorrhizal làm tăng đáng kể mức protein đất liên quan đến glomalin để chiết xuất và tổng số trong hai chế độ nước trong đất, giúp duy trì sự hình thành đoàn lạp của đất (kích thước 2-4 mm), cải thiện tính ổn định của cấu trúc đất. Cây được cấy nấm mycorrhizal có hoạt tính axit, kiềm và tổng phosphatase trong đất cao hơn, trong điều kiện có và không xử lý hạn hán. Kết quả cho thấy nấm rễ đã cải thiện môi trường vùng rễ để giảm thiểu thiệt hại do hạn hán thông qua những thay đổi trong các thành

phân dịch tiết của rễ cùng với glomalin, phosphatase và sự tổng hợp ổn định của nấm rễ trong đất.

*AMF cải thiện khả năng chịu đựng của cây có múi với muối và kiềm*

Theo kết quả nghiên cứu của Lu et al. (2023), cây có múi là một trong những cây ăn quả có giá trị kinh tế quan trọng nhất trên toàn thế giới, với sản lượng hàng năm trên toàn cầu đạt gần 119 triệu tấn vào năm 2021 (FAO, 2021). Tuy nhiên, việc thiếu mưa, nhiệt độ cao, bốc hơi và bón quá nhiều phân bón hóa học có xu hướng gây tích tụ muối và nhiễm mặn thứ cấp trong đất. Stress về muối thường xảy ra do hiện tượng nhiễm mặn thứ cấp trong đất. Cây có múi rất dễ bị stress muối. Dưới áp lực của muối, hiện tượng vàng lá cây có múi, cháy đầu lá, rụng lá và thậm chí chết cây thường xảy ra, điều này ảnh hưởng nghiêm trọng đến sự ổn định của năng suất và chất lượng cây có múi cũng như việc cải thiện hiệu quả trồng trọt. Ngoài ra, khi hàm lượng ion natri quá cao có thể gây ngộ độc ion thực vật. Con đường truyền tín hiệu với muối (SOS) đóng một vai trò điều tiết thiết yếu trong việc duy trì cân bằng nội môi ion natri ở thực vật. Hơn nữa, quá nhiều muối trong đất làm giảm thế năng nước của đất, ngăn cản rễ cây hấp thụ nước. Aquaporin (AQP), đặc biệt là các gen protein nội tại màng huyết tương (PIP) và các gen protein nội tại tonoplast (TIP), đóng vai trò quan trọng trong việc điều chỉnh sự hấp thụ nước của rễ cây. Hơn nữa, sự biểu hiện quá mức của protein AQP làm tăng khả năng chịu mặn ở cây chuyển gen thông qua việc tăng cường khả năng hấp thụ nước.

Nấm rễ cộng sinh (AMF) đã thiết lập mối quan hệ cộng sinh rộng rãi với cây ký chủ trong đất mặn. Ngoài ra, việc chủng các chủng AMF phân lập từ đất mặn đóng một vai trò quan trọng trong việc cải thiện khả năng chịu mặn của cây trồng. Protein đất liên quan đến Glomalin (GRSP) là một glycoprotein chuyên tính được tiết ra bởi sợi nấm AMF, góp phần đáng kể vào quá trình kết tụ các hạt đất và cô lập carbon. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng GRSP điều chỉnh phản ứng của thực vật đối với stress phi sinh học. Hơn nữa, AMF điều chỉnh sự biểu hiện của các gen liên quan đến stress ở thực vật và tăng cường khả năng chống chịu stress phi sinh học của vật chủ. Vì cây có múi có ít lông rễ nên sự hình thành cấu trúc của nấm rễ AMF với rễ cây có thể cải thiện khả năng hấp thụ nước và chất dinh dưỡng thông qua sợi nấm bên trong và bên ngoài. Nhiều nghiên cứu cũng báo cáo rằng việc chủng nấm AMF đã nâng cao chất lượng quả và khả năng chịu đựng các stress phi sinh học khác nhau. Đối với cây có múi, AMF chủ yếu tạo ra sự cân bằng ion, quang hóa và hệ thống phòng

vệ chống oxy hóa để ứng phó với stress muối. Các nghiên cứu cũng chỉ ra rằng AMF tạo ra gen AQP ở cam ba lá khi bị stress muối, giúp tăng cường khả năng hấp thụ nước của rễ (Cheng et al., 2021).

Cây có múi rất dễ bị vàng, héo và rụng lá trên đất kiềm thiếu sắt và kẽm, đây là những yếu tố quan trọng cản trở sự phát triển của cây có múi. Dưới áp lực của muối, việc chủng *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. với *R. intraradices* đã tăng chiều cao cây, đường kính thân và khối lượng chất khô. Hơn nữa, hàm lượng axit abscisic, axit indole-3-acetic và methyl jasmonate trong rễ cũng tăng lên và cao hơn đáng kể so với cây con không có nấm rễ. Cấu trúc đất tốt hơn do nấm rễ ở cây cam ba lá đã mang lại tiềm năng nước trong lá cao hơn dưới áp lực của muối. Việc chủng AMF với cây cam ba lá dưới tác động của muối đã tạo ra aquaporin, làm tăng tính thấm của màng và tạo điều kiện cho nước vận chuyển. Dưới áp lực kiềm, việc chủng *Citrus junos* Sieb. ex Tanaka với *F. renueae* đã cải thiện khả năng điều hòa thẩm thấu và khả năng chống oxy hóa của cây con, làm thay đổi nồng độ hormone nội sinh, ảnh hưởng đến các đặc tính lý hóa của đất và hoạt động của enzyme xung quanh rễ. Việc chủng *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. với sự ức chế tăng trưởng do bicarbonate gây ra bởi *G. versiforme*. Với các kết quả nghiên cứu cho thấy hệ thống rễ cây có múi và AMF hình thành mối quan hệ cộng sinh có thể cải thiện khả năng chống chịu mặn trong đất của cây có múi. Điều này không chỉ giảm thiểu tác động bất lợi của độ mặn trong đất mà còn đảm bảo duy trì năng suất và chất lượng quả (Tang et al., 2023).

*AMF tác động đến phản ứng của cây có múi trước stress nhiệt độ*

Hệ thống rễ cây có múi được chủng AMF có thể biểu hiện những tác động khác nhau khi phản ứng với cả nhiệt độ cao và thấp. Cây con *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. được chủng AMF và nuôi cây trong chậu ở nhiệt độ 25°C trong 4 tháng cho thấy sự cải thiện đáng kể về chiều cao cây, độ dày thân, sức sống của rễ và hoạt động của các enzyme bảo vệ ở phiến lá sau 30 ngày chịu áp lực nhiệt độ cao ở 40°C. Sự hình thành nấm rễ có tác dụng có lợi đối với sự tăng trưởng, quang hợp, hình thái rễ và sự hấp thụ chất dinh dưỡng của giống cây cam quýt được trồng ở nhiệt độ vừa phải (25°C). Dưới các áp lực nhiệt độ khác nhau, việc chủng AMF đã làm tăng hàm lượng đường hòa tan và protein hòa tan, hoạt động POD và CAT cũng như khả năng chịu lạnh của cây con *Poncirus aurantii*. Việc cấy AMF còn có thể làm giảm đáng kể hàm lượng MDA và tính thấm của màng plasma trong lá *Fructus aurantii* dưới áp lực

hiệt độ và tăng hoạt động tích lũy của rễ cây con. Từ đó cho thấy, cây có múi được chủng nấm rễ thể hiện hoạt động của rễ cao hơn và có khả năng chống oxy hóa mạnh hơn so với những cây có múi chưa hình thành mối quan hệ cộng sinh với AMF. Những yếu tố này góp phần cải thiện khả năng phục hồi trước stress nhiệt độ ở cây có múi (Tang et al., 2023). Việc chủng AMF có nhiều tác động lên sự sinh trưởng và phát triển của cây có múi, nó thúc đẩy sự phát triển của rễ, cải thiện hình thái rễ, thúc đẩy sự hấp thu chất dinh dưỡng, khả năng sử dụng nước và tăng cường khả năng chống chịu với stress của cây, trong đó có stress do thuốc BVTV, do đó giúp cải thiện năng suất và chất lượng quả.

#### 4. VAI TRÒ CỦA NẤM RỄ NỘI CỘNG SINH TRONG GIẢM PHÁT THẢI KHÍ NHÀ KÍNH

##### 4.1. Vai trò của nấm rễ đối với phát thải N<sub>2</sub>O

Trong canh tác nông nghiệp, việc giảm phát thải khí nhà kính và tăng cường hấp thụ carbon là hai mục tiêu chính mà Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp (FAO) đã phát triển cho nền nông nghiệp thông minh (Otun & Achilonu, 2022). Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) là một dạng khí nhà kính mạnh có nguy cơ làm nóng lên toàn cầu lớn hơn 280–310 lần so với CO<sub>2</sub> và tồn tại từ 118–131 năm trong khí, canh tác nông nghiệp là nguồn phát thải N<sub>2</sub>O đáng kể. Muhammad et al. (2022) cho rằng N<sub>2</sub>O từ đất chủ yếu được tạo ra trong quá trình nitrata hóa và khử nitrate và được hỗ trợ bởi nhóm vi sinh vật đất. Quá trình khử nitrat (DNF) là một quá trình khử liên quan đến việc chuyển hóa NO<sub>3</sub><sup>-</sup> thành N<sub>2</sub>, qua trung gian của các nhóm vi khuẩn kỵ khí. Trong canh tác nông nghiệp hiện nay, do sự cạnh tranh giữa các nguyên tố đa lượng, đặc biệt là nguyên tố N và P nên với sự hiện diện của nấm rễ AMF giúp giảm phát thải khí N<sub>2</sub>O. Thí nghiệm thực địa của Grant et al. (2020) với nhóm nấm AMF trên cây họ đậu cho thấy nấm AMF lượng phát thải N<sub>2</sub>O trên quy mô năng suất giảm đáng kể do khả năng ức chế quá trình nitrat hóa sinh học lớn hơn. Nghiên cứu của Li et al. (2023) trồng đậu faba (*Vicia faba* L.) và chủng nấm rễ AMF. Kết quả nghiên cứu cho thấy với sự hiện diện của nấm rễ AMF giúp giảm đến 63% khí N<sub>2</sub>O phát thải từ đất qua cơ chế kích thích sự phát triển của nhóm vi khuẩn *Pseudomonas fluorescens* sử dụng N<sub>2</sub>O. AMF nhận 100% lượng carbon từ sự quang hợp của thực vật và chuyển đến rễ với tỉ lệ ước tính lên tới 20% lượng C quang hợp của cây. Sự di chuyển của C từ phía trên mặt đất đến vùng rễ của thực vật có ý nghĩa quan trọng trong chu trình carbon giữa khí quyển và sinh quyển. AMF góp phần giảm lượng khí thải N<sub>2</sub>O

bằng cách tăng khả năng chuyển hóa N vào sinh khối vi sinh vật hoặc thực vật, dẫn đến giảm lượng N hòa tan trong đất và hạn chế quá trình khử nitrate. Do đó, AMF có thể có ảnh hưởng gián tiếp đến lượng phát thải khí nhà kính (GHG) mạnh thông qua sự thay đổi các điều kiện vật lý của đất ảnh hưởng đến việc sản xuất và vận chuyển GHG trong đất (Ebbisa, 2022). Trong điều kiện đất nghèo dinh dưỡng lân (P) việc bổ sung P tăng cường bất động N trong đất và sau đó N này sẽ được chuyển hóa trong hệ thống đất thực vật bằng cách thúc đẩy sự phát triển của thực vật và vi sinh vật, từ đó giúp giảm sự phát thải N<sub>2</sub>O (Wang et al., 2021; Shen & Zhu, 2022; Wang et al., 2022;), điều này có thể ảnh hưởng đến thành phần và hoạt động của cộng đồng vi sinh vật đất và do đó phát thải N<sub>2</sub>O (Coskun et al., 2017; Abalos et al., 2019). Ví dụ, làm giàu P có thể kích thích hoạt động của tiến trình nitrata hóa và tiến trình khử nitrate hoặc thay đổi thành phần cộng đồng vi sinh vật liên quan đến sự phát thải khí N<sub>2</sub>O (Liu et al., 2012; Ullah et al., 2016). Ngoài ra, làm giàu P có thể làm tăng mức tiêu thụ nước của thực vật, điều này có thể dẫn đến giảm độ ẩm của đất và giảm phát thải N<sub>2</sub>O (Chen et al., 2017). Do đó, vai trò của chất dinh dưỡng thực vật và hệ vi sinh vật chức năng của đất có thể kiểm soát được nguồn dinh dưỡng và gia tăng sự phát triển của thực vật và đất.

##### 4.2. Vai trò của nấm rễ đối với phát thải CH<sub>4</sub>

Quá trình phát thải khí metan đóng một vai trò quan trọng trong chu trình sinh địa hóa của C, góp phần vào phát thải CO<sub>2</sub> và CH<sub>4</sub> gây hiệu ứng khí nhà kính. CH<sub>4</sub> bị oxy hóa trong đất trong điều kiện hiếm khí do quá trình metan hóa, thường hoạt động mạnh nhất ở độ sâu đất >0,3 m. Việc bổ sung phân bón hóa học không ảnh hưởng đáng kể đến lượng khí thải CH<sub>4</sub>. Điều này có thể là do tỷ lệ sản sinh CH<sub>4</sub> rất thấp từ đất có độ thoáng khí cao trên các cánh đồng nông nghiệp. Tương tự, đất được bón phân vô cơ (nồng độ amoni cao) chứa ít vi khuẩn methanotrophic hơn trong khi việc bổ sung phân hữu cơ làm tăng quần thể vi khuẩn methanotrophic. Là nguồn phát thải khí nhà kính lớn nhất được tạo ra từ phân, CH<sub>4</sub> bị ảnh hưởng bởi tốc độ bón phân và điều kiện phân hủy kỵ khí. Ngoài ra, tác nhân chính tạo ra CH<sub>4</sub> chủ yếu thuộc lãnh vực canh tác đất ngập nước và chăn nuôi, do đó các hệ thống trồng trọt-chăn nuôi tích hợp cần tập trung hơn nữa vào vấn đề phát thải CH<sub>4</sub>. Việc quản lý cây che phủ và tàn dư cây trồng đang được chú ý do vai trò quan trọng của chúng trong cả nông nghiệp và chăn nuôi. Sinh khối thực vật có tỷ lệ C:N thấp làm tăng lượng phát thải N<sub>2</sub>O trong điều kiện hiếu khí nhưng điều

này có thể không được quan sát thấy trong môi trường kỵ khí (Ozlu et al., 2022).

Nghiên cứu của Maier et al. (2021) về các sản phẩm trung gian trong quá trình hô hấp phóng thích CO<sub>2</sub> của đất và mức tiêu thụ CH<sub>4</sub> của đất. Mỗi quan hệ của hô hấp đất và lượng tiêu thụ của CH<sub>4</sub> vẫn tồn tại trong suốt các mùa, những nơi có hô hấp đất cao hơn thì cũng tiêu thụ nhiều CH<sub>4</sub> hơn. Vì rễ và các nhóm vi sinh vật là nguồn hô hấp chính của đất tại vùng rễ. Tuy nhiên với sự hiện diện của nấm rễ AMF thực tế là vùng rễ và vùng đất mà hệ sợi khuẩn ty nấm rễ AMF phát triển gọi là mycorrhizosphere được xem là môi trường thuận lợi của nhóm vi khuẩn sử dụng methane (methanotrophs). Những phát hiện của nghiên cứu xác nhận rằng vùng rễ và các loại Nấm rễ cộng sinh của cây có thể có ảnh hưởng quan trọng đến cộng đồng methanotrophs, vốn được biết đến với khả năng loại bỏ khí CH<sub>4</sub> ra khỏi môi trường và biến nó thành một nhiên liệu có thể sử dụng.

#### 4.3. Vai trò của nấm rễ đối với phát thải khí CO<sub>2</sub>

Nấm rễ AMF đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy tăng trưởng thực vật thông qua sự hấp thu chất dinh dưỡng, đặc biệt là P. Các nguồn dinh dưỡng này sẽ được đổi với cây ký chủ để nhận lại nguồn carbon từ quá trình quang hợp của thực vật ký chủ (Wipf et al., 2019). Gần đây, có nhiều nghiên cứu tập trung vào vai trò của nấm rễ mycorrhiza trong việc điều tiết sự phát thải khí CO<sub>2</sub> trong đất mà lượng khí thải này được dự đoán sẽ tăng gấp đôi vào năm 2050 (Dontsova et al., 2020; Parihar et al., 2020; Verbruggen et al., 2020; Boyno et al., 2023). Trên phạm vi toàn cầu, nấm rễ AMF giúp quản lý lượng phát thải khoảng 5 tỷ tấn carbon hàng năm, và nhóm nấm rễ này đóng vai trò quan trọng trong chu trình C (Parihar et al., 2020). Dưới tác động của lượng CO<sub>2</sub> tăng lên và có sự hiện diện của nấm rễ sẽ thúc đẩy sự đồng hóa C của cây chủ tăng lên để đối lấy nhu cầu dinh dưỡng tăng lên của cây chủ. Nấm rễ giúp cải tạo đất và tăng năng suất cây trồng qua các cơ chế sinh học và góp phần giảm tiến trình oxy hóa và lượng chất hữu cơ trong đất. Từ đó có thể góp phần làm giảm lượng phát thải CO<sub>2</sub> từ các hợp chất hữu cơ trong đất và giúp bảo tồn trữ lượng carbon hữu cơ trong đất (Boyno et al., 2023). Với sự cộng sinh của nấm rễ vào bên trong rễ thực vật giúp thực vật đồng hóa lượng carbon trong không khí tăng lên đến 20%, nguồn C này được chuyển về rễ để cung cấp cho nấm rễ. Nghiên cứu của Adeyemi et al. (2020) trong vùng rễ đậu tương cho thấy khi nồng độ CO<sub>2</sub> tăng cao làm tăng tỉ lệ xâm nhiễm cũng như số lượng bào tử nấm rễ AMF đồng thời gia tăng

nguồn carbon sinh khối vi sinh vật (34,2–45,4%), nitơ sinh khối vi sinh vật (44,6–54,9%), đạm hữu dụng (30,3–50,6%) và lân hữu dụng (20,8–45,7%) tại vùng rễ của các giống đậu tương so với vùng xa bên ngoài vùng rễ (rhizoplane). Tương tự, Boyno et al. (2023) nghiên cứu sự phát thải CO<sub>2</sub> trên cánh đồng bị nhiễm mặn có sự hỗ trợ của nấm rễ AMF và kết quả nghiên cứu cho thấy nấm rễ AMF giúp giảm sự phát thải CO<sub>2</sub>, thay đổi trong quá trình khoáng hóa nitơ (N) trong đất và các hoạt động của vi sinh vật cũng như sự cạnh tranh N giữa AMF và nhóm vi sinh vật hoại sinh, từ đó làm giảm sự phát thải khí CO<sub>2</sub> trong đất. Từ kết quả của nghiên cứu này, cho thấy trong điều kiện biến đổi khí hậu lượng CO<sub>2</sub> trong khí quyển tăng lên sẽ được điều chỉnh từ các hoạt động của nấm rễ AMF, hỗ trợ các nhóm vi sinh vật có lợi vùng rễ và cải thiện năng suất cây trồng.

#### 5. TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG NẤM RỄ NỘI CỘNG SINH TRONG SẢN XUẤT NÔNG NGHIỆP HỮU CƠ

Trong bối cảnh hiện nay, khi nhu cầu lương thực và thực phẩm của nhân loại dần được đáp ứng thì chất lượng của nông sản và thực phẩm được quan tâm và được xem là tính cấp thiết. Nông nghiệp hữu cơ đã và đang phát triển trên toàn thế giới và hình thành một nhóm các hệ thống canh tác thống nhất hơn, hoạt động rộng rãi và tuân thủ theo nguyên tắc của Liên đoàn Nông nghiệp Hữu cơ Quốc tế (Stockdale et al., 2001). Mặc dù các phương pháp sản xuất tại mỗi quốc gia có thể khác nhau đáng kể, các nguyên tắc chung bao gồm loại trừ hầu hết các thuốc bảo vệ thực vật tổng hợp và phân bón tổng hợp, quản lý đất thông qua việc bổ sung vật liệu hữu cơ và sử dụng luân canh cây trồng (IFOAM, 1998). Việc loại trừ phân khoáng hòa tan và việc sử dụng thuốc BVTV trong nông nghiệp hữu cơ phụ thuộc phần lớn vào các tiến trình sinh học để cung cấp chất dinh dưỡng, bao gồm sự phụ thuộc vào tiến trình cố định N<sub>2</sub> làm nguồn chính của N cho cây trồng và để bảo vệ cây trồng khỏi sâu bệnh. Thật vậy, đó là một trong những mô hình trung tâm của nông nghiệp hữu cơ mà cộng đồng vi sinh vật chức năng trong đất đóng vai trò rất quan trọng cho sự cung cấp dinh dưỡng cho cây trồng của hệ sinh thái nông nghiệp (Lampkin, 1990). Trong mô hình này, AMF thường được xem là một trong bốn ứng cử viên đóng một vai trò quan trọng cho việc bù đắp nguồn P cho thực vật và giúp giảm sử dụng phân bón P (Galvez et al., 2001). Nhiều nghiên cứu cho thấy sự hiện diện của nấm AMF đạt cao hơn hoặc sự đa dạng cao hơn trong canh tác hữu cơ so với trong điều kiện canh tác truyền thống.

AMF có tiềm năng lớn trong việc cải thiện năng suất cây trồng và sức khỏe đất ở vùng đồng bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL). Nghiên cứu tại các tỉnh Tiền Giang, Đồng Tháp, Cần Thơ, Trà Vinh và Bến Tre cho thấy sự hiện diện của bào tử nấm rễ trên 50% trong các mẫu đất và rễ cây ăn trái như sầu riêng, khê, nhãn, bưởi và xoài (Hòa và ctv., 2019; Uyên và ctv., 2019). Bên cạnh đó, đất trồng cây màu và đất canh tác lúa cũng có sự hiện diện của nấm rễ AMF (Xuân và ctv., 2016, Phong và ctv., 2018; Xuân và ctv., 2018; Nghi và ctv., 2020; Xuân và ctv., 2022; Do et al., 2023), điều này cho thấy AMF có khả năng thích nghi tốt và có thể được ứng dụng rộng rãi trong đất canh tác nông nghiệp. Nghiên cứu nhân nuôi AMF trên cây ăn quả tại ĐBSCL cho thấy ký chủ cây bắp và giá thể đất, cát, than bùn là môi trường tốt nhất cho sự phát triển của AMF, với số lượng bào tử cao nhất đạt 371 bào tử/50 g giá thể và tỷ lệ xâm nhiễm nội sinh bên trong rễ bắp là 91%. Các loài AMF phổ biến bao gồm *Acaulosporas robiculata*, *Acaulospora capsicula*, và *Glomus multicaulis*. Việc ứng dụng AMF trong nông nghiệp đang mở ra tiềm năng ứng dụng trong canh tác nông nghiệp dưới tác động của biến đổi khí hậu và giảm phát thải khí nhà kính.

## 6. KẾT LUẬN

Hoạt động của con người đã dẫn đến sự lạm dụng phân bón hóa học tổng hợp và thuốc BVTV trong canh tác nông nghiệp từ đó dẫn đến đất bị bạc màu và bị ô nhiễm. Để giải quyết vấn đề này bên cạnh xử lý đất bằng phương pháp bổ sung chất hữu cơ và/hoặc kết hợp với chủng vi sinh vật có lợi được khuyến cáo để sử dụng đất an toàn hơn. Việc sử dụng tiến trình sinh học cải tạo các vùng đất sản xuất nông nghiệp thâm canh truyền thống đặc biệt là tiềm năng ứng dụng nấm rễ AMF trong canh tác nông nghiệp, có ý nghĩa quan trọng trong điều kiện biến đổi khí hậu và tình trạng suy thoái đất. Nấm AMF đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo an ninh lương thực và chất lượng của nông sản và đóng một vai trò quan trọng trong việc giảm phát thải khí nhà kính và xử lý môi trường đất bị nhiễm KLN. Cây trồng được trồng tự nhiên theo hệ sinh thái nông nghiệp, chủ yếu dựa vào sự liên kết của nấm rễ và vi sinh vật vùng rễ để cung cấp chất dinh dưỡng với số lượng cần thiết cho sự phát triển bình thường của cây trồng. Sự cộng sinh của nấm AMF đã giúp cây trồng hấp thu dinh dưỡng đa lượng như N và P và các nguyên tố vi lượng khác nhau như Zn và Cu, cho cây trồng liên quan trong điều kiện trở ngại của đất canh tác.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Abdul, W., Murad, M., Asma, M., Gholamreza, A., Wajid, Z., Asma, A., Chandni, K., & Sneha, P. P. R. (2023). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Regulating Growth, Enhancing Productivity, and Potentially Influencing Ecosystems under Abiotic and Biotic Stresses. *Plants*, 12(17), 1 – 12. 10.3390/plants12173102.
- Agnieszka, M. D., Piotr, R., & Katarzyna, T. (2019). Are Fungal Endophytes Merely Mycorrhizal Copycats? The Role of Fungal Endophytes in the Adaptation of Plants to Metal Toxicity. *Frontiers in Microbiology*, 15, 01–10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00371>
- Aguk, J. A., Karanja, N., Schulte-Geldermann, E., Bruns, C., Kinyua, Z., & Parker, M. (2018). Control of bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*) in potato (*Solanum tuberosum*) using rhizo bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development Journal*, 18(2), 13371-13387. 10.18697/ajfand.82.16905
- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., & Wang, M. Q. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9(3), 01-33. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
- Basu, S., Rabara, R. C., & Negi, S. (2018). AMF: The future prospect for sustainable agriculture. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 102, 36-45. 10.1016/j.pmp.2017.11.007
- Basyal, B., & Emery, S. M. (2021). An arbuscular mycorrhizal fungus alters switchgrass growth, root architecture, and cell wall chemistry across a soil moisture gradient. *Mycorrhiza*, 59(10), 251-258. 10.1007/s00572-020-00992-6
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in plant science*, 10, 01-15. 10.3389/fpls.2019.01068
- Casieri, L., Lahmidi, N. A., Doidy, J., Veneault-Fourrey, C., Migeon, A., & Bonneau, L. (2013). Biotrophic transportome in mutualistic plant-fungal interactions. *Mycorrhiza*, 237, 597-625.
- Chen, A., Gu, M., Wang, S., Chen, J., & Xu, G. (2018). Transport properties and regulatory roles of nitrogen in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Cell Development Biology*, 74, 80-88.
- Cheng, H. Q., Giri, B., Wu, Q. S., Zou, Y. N., & Kuča, K. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi mitigate drought stress in citrus by modulating

- root microenvironment. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 68(9), 217-1228.
- Cheng, X. F., Wu, H. H., Zou, Y. N., Wu, Q. S., & Kuča, K. (2021). Mycorrhizal response strategies of trifoliolate orange under well-watered, salt stress, and waterlogging stress by regulating leaf aquaporin expression. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 27-35.
- Do, T. X., Pham, T. H. N., Truong, O. O., Le, V. T., Vo, T. B. T., Nguyen, T. P., Vo, H. N., & Nguyen, Q. K. (2023). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Driven Phosphorus Nutrients in Paddy Soil under the Greenhouse Condition. *Asian Journal of Plant Sciences*, 22, 414-422.
- Xuân, T. Đ., Viễn, D. M., Như, N. T. H., Dương, H. K. D., Lan, Đ. T. H., & Vi, N. P. N. T. (2018). Khảo sát, phân lập và đánh giá sự hỗ trợ của nấm rễ nội cộng sinh trên cây mè và cây bắp ở điều kiện nhà lưới. *Tap chí Nông nghiệp và phát triển nông thôn*, 16, 70-77.
- Xuân, Đ. T., Nghi, P. T., Thư, T. A., Yên, L. T. H., & Khương, N. Q. (2022). Ảnh hưởng của quần thể nấm rễ nội cộng sinh (arbuscular mycorrhizal fungi) và loại phân bón lên sự sinh trưởng và năng suất của hành lá (*Allium fistulosum* L.) trong điều kiện thí nghiệm nhà lưới. *Tap chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*, 442, 41-49.
- Domka, A. M., Rozpaadek, P., & Turnau, K. (2019). Are fungal endophytes merely mycorrhizal copycats? The role of fungal endophytes in the adaptation of plants to metal toxicity. *Frontiers in Microbiology*, 10, 371-380.
- Drechsler, N., Courty, P. E., Brulé, D., & Kunze, R. (2018). Identification of arbuscular mycorrhiza-inducible Nitrate Transporter 1/Peptide Transporter Family (NPF) genes in rice. *Mycorrhiza*, 28, 93-100. 10.1007/s00572-017-0802-z
- FAO and UNEP. (2021). *Global assessment of soil pollution: summary for policymakers*. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/cb4827en/>, <https://www.fao.org/faostat/zh/#home>
- Federico, N. S., & Romina, G. (2020). Dark Septate Endophytic Fungi (DSE) Response to Global Change and Soil Contamination. *Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives II*, 629 - 642.
- Gong, X., & Tian, D. Q. (2019). Study on the effect mechanism of Arbuscular Mycorrhiza on the absorption of heavy metal elements in soil by plants. *Earth and Environmental Science*, 267, 052-064. 10.1088/1755-1315/267/5/052064
- Hage-Ahmed, K., Rosner, K., & Steinkellner, S. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi and their response to pesticides. *Pest Management Science*, 75, 583-590.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichney, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Moller, I. K., and White, P., (2012). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. *Function of Macronutrients*, 6(2012), 135-189. 10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6
- Herath, B. M., Kalamulla, K. W. Y. R., Mayadunna, T. A. N., Perera, M. A. E. G., Jayamanna, I. K., & Yapa, P. N. (2024). Applications of Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Sustainable Agricultural Systems. *Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Higher Plants*, 319 – 340.
- Hòa, N. V., Luyên, N. T. K., & Uyên, Đ. T. K. (2019). Nhân nuôi và định danh cộng đồng nấm rễ (arbuscular mycorrhizal) bản địa trên cây ăn quả tại đồng bằng Sông Cửu Long. *Tap chí Khoa học Công nghệ nông nghiệp Việt Nam*, 10(107), 98 – 106.
- Hu, B., Shao, S., Ni, H., Fu, Z., Hu, L., Zhou, Y., Min, X., She, S., Chen, S., Huang, M., Zhou, L., Li, Y., & Shi, Z. (2020). Current status, spatial features, health risks, and potential driving factors of soil heavy metal pollution in China at province level. *Environmental Pollution*, 266(3), 114-961. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114961>
- Huang, Y., Wang, L., Wang, W., Li, T., He, Z., & Yang, X. (2019). Current status of agricultural soil pollution by heavy metals in China: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 651(2), 3034-3042. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.185>
- Jamiołkowska, A., Ksiezniak, A., Gałazka, A., Hetman, B., Kopacki, M., & Skwaryło-Bednarz, B. (2018). Impact of abiotic factors on development of the community of arbuscular mycorrhizal fungi in the soil: a review. *International Agrophysics*, 32(1), 133-140.
- Jan, S., Singh, R., Bhardwaj, R., Ahmad, P., & Kapoor, D. (2020). Plant growth regulators: a sustainable approach to combat pesticide toxicity. *3 Biotech*, 10(466), 1-11. 10.1007/s13205-020-02454-4.
- Janeeshma, E., & Puthur, J. T. (2020). Direct and indirect influence of arbuscular mycorrhizae on enhancing metal tolerance of plants. *Archives of microbiology*, 202, 1-16. 10.1007/s00203-019-01730-z
- Jansa, J., Forczek, S. T., Rozmoš, M., Püschel, D., Bukovská, P., & Hřelová, H. (2019). Arbuscular mycorrhiza and soil organic nitrogen: network of players and interactions. *Chemical and Biogical Technologies in Agriculture*, 6(10), 1-10. 10.1186/s40538-019-0147-2.
- Jaskulak, M., Grobelak, A., & Vandenbulcke, F. (2020). Modelling assisted phytoremediation of soils contaminated with heavy metals—main opportunities, limitations, decision making and future prospects.

- Chemosphere*, 249, 126-196.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126196>
- Kumar, S., Prasad, S., Yadav, K. K., Shrivastava, M., Gupta, N., Nagar, S., Quang-Vu, B., Kamyab, H., Khan, A., Yadav, S., & Malav, L. C. (2019). Hazardous heavy metals contamination of vegetables and food chain: Role of sustainable remediation approaches-A review. *Environmental research*, 179(A), 108-792.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108792>
- Lambers, H., Raven, J. A., Shaver, G. R., & Smith, S. E. (2008). Plant nutrient acquisition strategies change with soil age. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(2), 95-103.  
 10.1016/j.tree.2007.10.008
- Li, H., Chen, Z. C., Wu, L., Luo, N., Huang, W. X., Mo, C. H., Li, Y. W., Xiang, L., Zhao, H., Cai, Q., & Wong M. (2020). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on redox homeostasis of rice under Cd stress. *Plant and Soil*, 455, 121-138.  
 10.1007/s11104-020-04678-y
- Li, H., Gao, M. Y., Mo, C. H., Wong, M. H., Chen, X. W., & Wang, J. J. (2022). Potential use of arbuscular mycorrhizal fungi for simultaneous mitigation of arsenic and cadmium accumulation in rice. *Journal of Experimental Botany*, 73(1), 50-67. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab444>
- Li, X., He, G., Li, D., Bei, S., Luan, D., Sun, X., Yang, G., Huo, L., Zhen, L., & Zhao, R. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi reduce N<sub>2</sub>O emissions from degraded residue patches. *Original research article*, 11, 01-11.  
<https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1224849>
- Lin, P., Zhang, M., Wang, M., Li, Y., Liu, J., & Chen, Y. (2021). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus modulates defense-related genes expression in banana seedlings susceptible to wilt disease. *Plant Signaling & Behavior*, 16(5), 01-10.  
<https://doi.org/10.1080/15592324.2021.1884782>
- Liu, C. Y., Zou, Y. N., Zhang, D. J., Shu, B., & Wu, Q. S. (2019). Mycorrhizae and tolerance of abiotic stress in citrus plants. *Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment*, 55(21), 465-487. 10.1007/978-3-030-18933-4\_21
- Lu, Q., Jin, L., Wang, P., Liu, F., Huang, B., Wen, M., & Wu, S. (2023). Effects of Interaction of Protein Hydrolysate and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Effects on Citrus Growth and Expressions of Stress-Responsive Genes (Aquaporins and SOSs) under Salt Stress. *Journal of Fungi*, 9(10), 983-993.  
<https://doi.org/10.3390/jof9100983>
- Luo, N., Li, X., Chen, A. Y., Zhang, L. J., Zhao, H. M., Xiang, L., Cai, Q. Y., Mo, C. H., Wong, M. H., & Li, H. (2017). Does arbuscular mycorrhizal fungus affect cadmium uptake and chemical forms in rice at different growth stages?. *Science of the Total Environment*, 59(60), 1564-1572.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.047>
- Malik, A. A., Shayesta, I., Gousia, G., Zaffar, M. D., Amajad, M., & Syed, H. B. (2023). AM Fungi as a Potential Biofertilizer for Abiotic Stress Management. *Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agriculture - New Insights*, 215, 01 – 15.  
 10.5772/intechopen.108537
- Min, C., Miguel, A., Lorenzo, B., Eva, N., & Didier, R. (2018). Beneficial Services of Arbuscular Mycorrhizal Fungi – From Ecology to Application. *Frontiers in plant science*, 9(1270), 1–14.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01270>
- Nghi, P. T. H., Tuyên, N. P., Phi, L. T. Y., Doan, T. T. H., Uyên, D. Q., & Xuân, Đ. T. (2020). Khảo sát ảnh hưởng của một số tinh 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. G., Huynh, T. H. N., & Phan, K. A. (2022). Evaluating Ecological Risk Associated with Heavy Metals in Agricultural Soil in Dong Thap Province, Vietnam. *Environment and natural resources journal*, 20(6), 585–597.  
 10.32526/enrj/20/202200114
- Parihar, M., Chitara, M., Khati, P., Kumari, A., Mishra, P. K., Rakshit, A., Rana, K., Meena, V. S., Singh, A. K., Choudhary, M., Bisht, J. K., Ram, H., Pattanayak, A., Tiwari, G., & Jatav, S. S. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi: abundance, interaction with plants and potential biological applications. *Advances in plant microbiome and sustainable agriculture*, 19(5), 105-143. 10.1007/978-981-15-3208-5
- Paterson, E., Sim, A., Davidson, J., & Daniell T. J. (2016). Arbuscular mycorrhizal hyphae promote priming of native soil organic matter mineralisation. *Plant and Soil*, 408, 243-254.
- Nghi, P. T. H., Lộc, P. B., Tuyên, N. T., Viễn, D. M., & Xuân, Đ. T. (2021). Ảnh hưởng của quần thể nấm rễ nội cộng sinh lên sự sinh trưởng và phát triển của cây lúa trong điều kiện nhà lưới. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*, 414, 54-60.
- Phong, N. T., Quỳn, 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>
- Reynolds, S., & Wenzlau S. (2012). Climate-friendly agriculture and renewable energy: working hand-in-hand toward climate mitigation. *Worldwatch Insitute*, 10, 01 – 10.

- Schmitz, A. M., & Harrison, M. J. (2014). Signaling events during initiation of arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Journal of Integrative Plant Biology*, 56(3), 250-261. <https://doi.org/10.1111/jipb.12155>
- Tahat, M. M., Sijam, K., & Othman, R. (2012). Ultrastructural changes of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) root colonized by *Glomus mosseae* and *Ralstonia solanacearum*. *African Journal of Biotechnology*, 11(25), 668–686. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2960>
- Tang, C., Zhang, Z., Yu, L., & Li, Y. (2023). Research progress of arbuscular mycorrhizal fungi promoting citrus growth. *Horticulturae*, 9(11), 11-62. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9111162>
- Van, N. T., Akinori, O., Yiping, Z., Anh, N. D., & Kiyoshi, K. (2017). Contamination of agricultural soils by toxic trace metals in an industrial district in Vietnam. *Journal of Industrial Pollution Control*, 33(1), 723 – 729.
- Tóth, G., Hermann, T., Da Silva, M. R., & Montanarella, L. J. E. I. (2016). Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment international*, 88, 299-309. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.017>
- 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.2016.54>
- Xuân, Đ. T., Nhi, N. T. Y., Phong, N. T., Thành, N. T., Thành, D. N., & Như, N. T. H. (2018). Ảnh hưởng của tính chất hóa học và sinh học đất lên sự hiện diện và sự xâm nhiễm của nấm rễ nội cộng sinh trong mẫu đất vùng rễ và rễ bắp trồng tại thành phố Cần Thơ. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 54(4), 72-79. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2018.072>
- Yên, Đ. T. K., Mẫn, V. M., & Hòa, N. V. (2019). Thu thập, phân lập và đánh giá sự xâm nhiễm của nấm rễ (arbuscular mycorrhizal) ở vùng đồng bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Công nghệ nông nghiệp Việt Nam*, 10(107), 111 – 119.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.07.012>
- Wu, S., Zhang, X., Sun, Y., Wu, Z., Li, T., Hu, Y., Su, D., Lv, J., Li, G., Zhang, Z., Zheng, L., Zhang, J., & Chen, B. (2015). Transformation and immobilization of chromium by arbuscular mycorrhizal fungi as revealed by SEM–EDS, TEM–EDS, and XAFS. *Environmental Science & Technology*, 49(24), 14036-14047. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03659>
- Yunjian, X., & Fang, L. (2024). Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Intercropping Systems: Roles and Performance. *Unveiling the Mycorrhizal World*, 12, 1–20. <https://doi.org/10.5772/intechopen.114186>
- Zhao, F. J., & Wang, P. (2020). Arsenic and cadmium accumulation in rice and mitigation strategies. *Plant and Soil*, 446, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04374-6>
- Zhou, J., Zang, H., Loeppmann, S., Gube, M., Kuzyakov Y., & Pausch J. (2020). Arbuscular mycorrhiza enhances rhizodeposition and reduces the rhizosphere priming effect on the decomposition of soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 140(107641), <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107641>