



19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



تأثیر زمان تلقیح قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های ریشه گیاه گوجه‌فرنگی در کشت هیدروپونیک

پانید الماسپورا^۱، محمدرضا عتیقی^۲، فرهاد رجالی^۳، احسان قزلباش^{۴*}، رسول راهنمایی^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و فناوری خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران؛

۲- استادیار گروه بیماری‌شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳- دانشیار بخش تحقیقات بیولوژی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، ایران

۴- استادیار گروه علوم و فناوری خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.*

ghezelbash@modares.ac.ir

۵- دانشیار گروه علوم و فناوری خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده

در این پژوهش به بررسی اثر زمان‌بندی تلقیح قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های ریشه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) در سیستم هیدروپونیک پرداخته شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۹ واحد آزمایشی (کیسه رشد) و هر واحد شامل چهار بوته در بستر کوکوپیت-پرلیت اجرا شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل شاهد (بدون تلقیح)، تلقیح بذر قبل از کشت و تلقیح ریشه چهار هفته پس از کشت بودند. ویژگی‌های اندازه‌گیری شده شامل طول، حجم و جرم تر ریشه بودند. نتایج نشان داد که زمان تلقیح اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های ریشه دارد. تلقیح بذر قبل از کشت موجب افزایش معنی‌دار طول و جرم ریشه در مقایسه با تیمار شاهد شد. از سوی دیگر، تلقیح ریشه در مرحله چهارهفتگی بیشترین تأثیر را بر افزایش حجم ریشه نشان داد. در تمامی ویژگی‌های مورد بررسی، تیمار شاهد کمترین مقادیر را به خود اختصاص داد. یافته‌ها نشان می‌دهد که زمان‌بندی صحیح تلقیح میکوریزا نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود ویژگی‌های ریشه گوجه‌فرنگی دارد. تلقیح زودهنگام موجب توسعه سیستم ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی می‌شود، در حالی که تلقیح دیرهنگام بیشتر بر افزایش حجم ریشه مؤثر است. این نتایج می‌تواند در برنامه‌ریزی کاربرد میکوریزا در سیستم‌های هیدروپونیک برای بهبود بهره‌وری محصول گوجه‌فرنگی مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

واژگان کلیدی: قارچ میکوریزا، زمان تلقیح، گوجه‌فرنگی، کشت هیدروپونیک، ریشه

مقدمه

گوجه‌فرنگی از مهم‌ترین سبزی‌های جهان است که کشت هیدروپونیک آن به عنوان روشی نوین با مزایای مصرف بهینه آب و کنترل تغذیه، جایگزین مناسبی برای روش‌های سنتی شده است. با این حال، حذف خاک موجب محرومیت گیاه از همزیستی با ریزوموگودات مفید مانند قارچ‌های میکوریزا می‌شود. این قارچ‌ها با گسترش سطح جذب ریشه، دسترسی به عناصر غذایی مانند فسفر را بهبود بخشیده‌اند و تحمل گیاه در برابر تنش‌ها را افزایش می‌دهند (Berruti, Lumini et al. 2016). در بین انواع میکوریزا، گونه آربسکولار از گسترده‌ترین انواع همزیستی محسوب می‌شود (Allen, Swenson et al. 2003). مطالعات نشان می‌دهند کاربرد میکوریزا موجب بهبود رشد ریشه، افزایش عملکرد و کیفیت محصول در گیاهان مختلف می‌گردد (Jean, M et al. 2024). همچنین این قارچ در سلامت محصولات نیز نقش مؤثری دارد (Mishra, Ellouze and Howard 2018). با این وجود، کارایی این همزیستی به عوامل متعددی از جمله زمان تلقیح بستگی دارد. بیش‌تر پژوهش‌های پیشین به اثرات کلی حضور یا عدم حضور میکوریزا پرداخته‌اند (Dimitrios, Beslemes et al. 2023). اما زمان تلقیح به عنوان عامل کلیدی در استقرار قارچ و پاسخ گیاه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با وجود مطالعه پرتکرار اثر تلقیح بذر و ریشه با میکوریزا بر عملکرد محصولات کشاورزی (Ghasemi, M et al. 2023)، هیچگاه به طور همزمان به مقایسه اثر تلقیح اولیه (در مرحله بذر) و تلقیح ثانویه (در مرحله رشد) در شرایط هیدروپونیک پرداخته نشده است. این پژوهش با هدف بررسی اثر زمان تلقیح قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های ریشه بر گیاه گوجه‌فرنگی در سیستم هیدروپونیک انجام شد. در این راستا، اثر تلقیح پیش از کاشت و تلقیح پس از استقرار ریشه‌ها با تیمار شاهد مقایسه گردید تا کارآمدترین روش برای بهبود رشد ریشه و عملکرد میوه مشخص شود. نتایج این مطالعه می‌تواند راهنمای کاربردی برای بهینه‌سازی اثر میکوریزا در کشت‌های بدون خاک ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

برای طراحی آزمایش، از ۳۶ جوانه گوجه‌فرنگی رقم دافنیس (Dafnis F1) در ۹ کیسه کشت استفاده شد. هر کیسه دارای چهار حفره بود و با مخلوط کوکوپیت و پرلیت با نسبت حجمی ۶۰:۴۰ (پرلیت به کوکوپیت) پر شد. آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد قبل از انتقال گیاهان به گلخانه، محیط گلخانه با سم‌های سایپرمتترین و امولسیون به صورت ترکیبی (غلظت ۰/۵ در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر) سم‌پاشی شد. کیسه‌های کشت روی سه میز با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر قرار داده شد. آبیاری گیاهان به روش خودکار انجام شد، بدین شکل که محلول غذایی هر تیمار به حجم حداقل ۱۰ لیتر به سطلی ۱۸ لیتری، که در زیر میز گلخانه قرار داشت منتقل شد. محلول غذایی به وسیله پمپ آب (۱۲ ولتی) که درون سطل محلول غذایی قرار داشت و از طریق لوله پلی اتیلن (قطر دو) به کیسه‌های کشت منتقل شد. در کنار هر بوته یک عدد قطره چکان با دبی ثابت (۸ لیتر بر ساعت) به لوله پلی اتیلنی وصل شد. آب قطره چکان به وسیله شیلنگ اسپاگتی به کنار بوته منتقل شد. آب مازاد بر نیاز چهار قطره چکان از طریق لوله برگشت پلی اتیلنی به محل اولیه (سطل ذخیره ۱۸ لیتری) بازگردانده شد. پمپ‌های تغذیه‌کننده همگی به یک رله برق خودکار وصل شدند تا طبق برنامه روشن و خاموش شده و فرایند تغذیه به طور منظم انجام گیرد. عملیات هرس و کنترل آفات و بیماری‌ها به صورت هفتگی انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل گروه شاهد (بدون تلقیح میکوریزا)، تیمار تلقیح بذری (استفاده از مخلوط سه گونه قارچ میکوریزا *Funneliformis intraradices*، *Funneliformis mosseae* و *Claroideoglossum etunicatum* به روش بذر مال) و تیمار تلقیح ریشه‌ای (کاربرد مخلوط قارچی چهار هفته پس از کاشت) بودند. برای هر بذر حدود ۳۰۰ اندام فعال قارچی استفاده شد (Amraei, B et al. 2015). در پایان دوره دو ماهه رشد و نمو بوته‌های گوجه‌فرنگی، ویژگی‌های طول، حجم و جرم تر ریشه به روش استاندارد اندازه‌گیری شد (Jaborova, D et al. 2021). برای تایید همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه، از روش رنگ آمیزی استفاده شد (Andrea, C et al. 2023). بدین منظور نمونه‌ای از ریشه شسته و به مدت ۲۴ ساعت در محلول رنگ تریپان بلو^۱ قرار گرفت و سپس با میکروسکوپ (OLYMPUS BX51) با دوربین DPV2 و بزرگنمایی ۵۰ برابر بررسی و عکس‌برداری شدند.

نتایج و بحث

ویژگی های ریشه

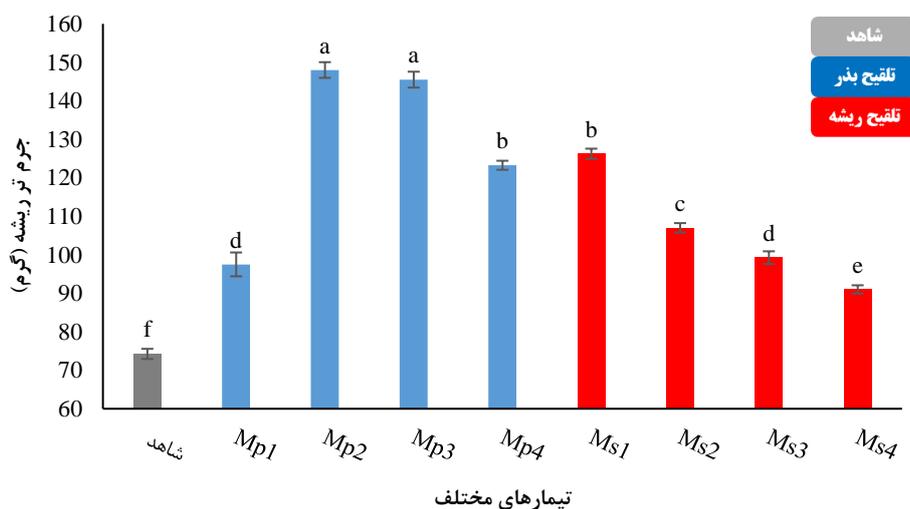
تأثیر زمان تلقیح با قارچ میکوریزا بر صفات ریشه گوجه‌فرنگی شامل طول، حجم و جرم ریشه بررسی شد. نتایج نشان داد که زمان تلقیح نقش مهمی در بهبود عملکرد ریشه دارد و تلقیح اولیه (در مرحله بذر) نسبت به تلقیح ثانویه یا تیمار شاهد بیش‌ترین تأثیر مثبت را بر صفات کمی ریشه نشان داد. تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات مورفولوژیک ریشه نشان داد که تیمار تلقیح اولیه میکوریزا اثر معنی‌داری بر این صفات داشت (در سطح احتمال ۱ درصد، جدول ۱). این نتایج بیانگر آن است که گیاهان گوجه‌فرنگی پاسخ‌های قابل توجهی به زمان متفاوت تلقیح میکوریزا نشان داده‌اند.

جدول ۱- تجزیه واریانس خصوصیات مورفولوژیک ریشه گوجه تحت تأثیر زمان تلقیح میکوریزا.

میانگین مربعات			درجه آزادی	منابع تغییرات
طول ریشه	حجم ریشه	جرم تر ریشه		
۵۸۰/۵۰	۱۵۲۶/۱۳	۲۵۰۴/۹۹	۸	تیمار
۱۲/۵۴	۳۳/۰۷	۱۲/۵۶	۲۷	خطای آزمایشی
۷/۱۹	۰/۸۲	۳/۱۵	-	ضریب تغییرات (%)

جرم تر ریشه

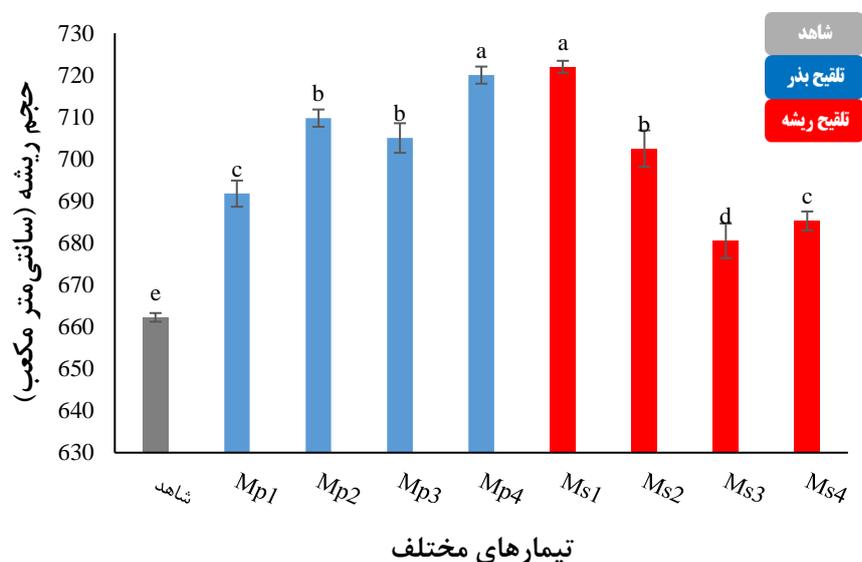
نتایج مقایسه میانگین اثر دو زمان مختلف تلقیح قارچ میکوریزا (Mp و Ms) بر جرم تر ریشه گیاه گوجه‌فرنگی (شکل ۱) نشان داد، تیمارهای تلقیح میکوریزا در ابتدای کاشت بذر، به طور معنی‌داری، جرم تر ریشه بیش‌تری نسبت به تیمارهای تلقیح میکوریزا در زمان دیرتر (نشاء) نشان دادند. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که میکوریزا می‌تواند جرم تر ریشه و اندام‌های گیاه را بهبود بخشد (Rong, Zhou et al. 2025). مطالعات دیگری نشان داد که زمان تلقیح میکوریزا تأثیر مهمی بر توسعه ریشه دارد و تلقیح قارچ میکوریزا سبب ایجاد شبکه قارچی فعال در ریشه در مراحل ابتدایی شده است که منجر به جذب مؤثرتر مواد مغذی و توسعه بیشتر ریشه، و افزایش جرم تر ریشه شده است (Oseni, To et al. 2010).



شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف روی جرم تر ریشه گیاه گوجه‌فرنگی. شاهد: بدون تلقیح میکوریزا، Mp1, Mp2, Mp3, Mp4: تلقیح میکوریزا در مرحله بذر (اولیه)، Ms1, Ms2, Ms3, Ms4: تلقیح میکوریزا در مرحله نشاء (ثانویه).

حجم ریشه

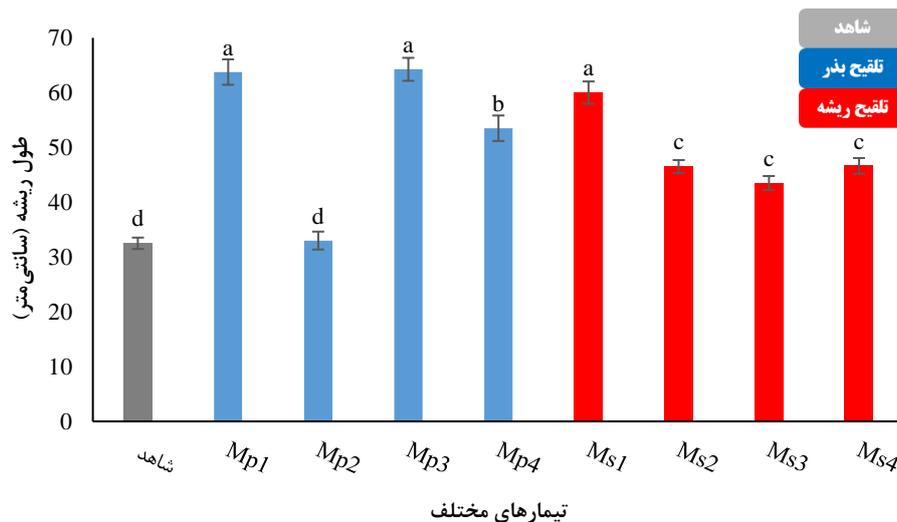
نمودار تغییرات حجم ریشه دو زمان مختلف تلقیح قارچ میکوریزا (Ms و Mp) بر حجم ریشه گیاه گوجه‌فرنگی (شکل ۲) نشان داد، تیمارهای تلقیح میکوریزا در زمان نشاء، به طور معنا دار، حجم ریشه بیش‌تری نسبت به تیمارهای تلقیح میکوریزا در زمان زودتر (بذر) نشان دادند. بیش‌ترین حجم ریشه مربوط به تیمار Ms1 می‌باشد و کم‌ترین حجم ریشه نیز مربوط به تیمار شاهد است. پژوهشی که به طور مشخص در سیستم هیدروپونیک به بررسی حجم ریشه در دو زمان متفاوت تلقیح قارچ میکوریزا پرداخته باشد، تاکنون گزارش نشده است. با این حال مطالعات پیشین، نشان داده‌اند که تلقیح میکوریزا می‌تواند ویژگی‌های مرتبط با ریشه را تحت تأثیر قرار دهد، در آزمایشی بر روی نشاء گوجه‌فرنگی در بستر ورمیکولیت گزارش کردند که تلقیح با قارچ میکوریزا موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه، نسبت ریشه به ساقه و شاخص‌های رشد گیاه شد (Oseni, To et al. 2010). این یافته با نتایج حاضر هم‌راستا بوده است و تأیید می‌کند زمان تلقیح نقش اساسی در میزان پاسخ ریشه به همزیستی میکوریزا داشته است.



شکل ۲- تأثیر تیمارهای مختلف روی جرم تر ریشه گیاه گوجه‌فرنگی. شاهد: بدون تلقیح میکوریزا، Mp1, Mp2, Mp3, Mp4: تلقیح میکوریزا در مرحله بذر (اولیه)، Ms1, Ms2, Ms3, Ms4: تلقیح میکوریزا در مرحله نشاء (ثانویه).

طول ریشه

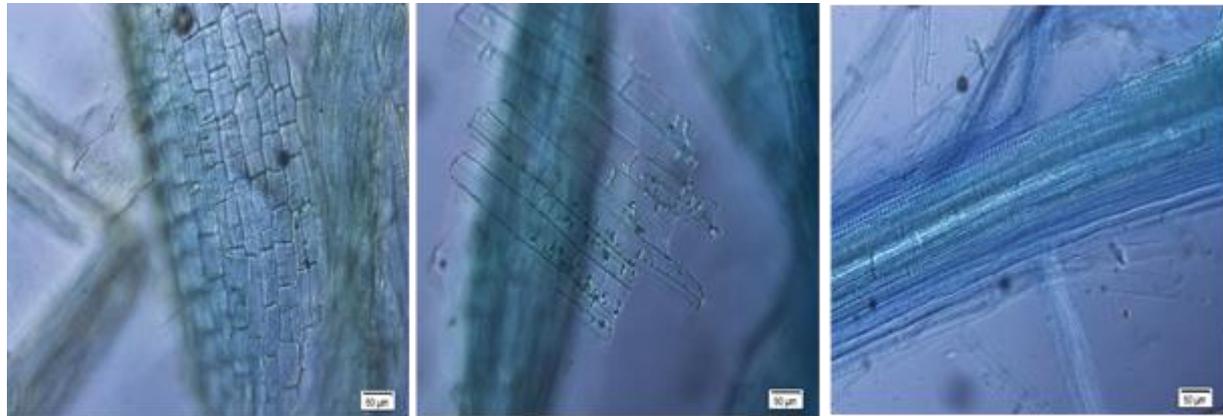
نتایج مقایسه میانگین اثر دو زمان مختلف تلقیح قارچ میکوریزا (Ms و Mp) بر طول ریشه گیاه گوجه‌فرنگی (شکل ۳) نشان داد، تیمارهای تلقیح میکوریزا اولیه، به طور معنا دار، طول ریشه بیش‌تری نسبت به تیمارهای تلقیح میکوریزا در زمان ثانویه داشتند. تیمارهای Mp1 و Mp3 طول ریشه بیش‌تری نسبت به تمامی تیمارها داشتند، کم‌ترین طول ریشه مربوط به تیمار شاهد بود. مطالعات نشان داده است که در تنش خشکی نیز میکوریزا می‌تواند در افزایش طول ریشه گیاهان نقش بسزایی داشته باشد، این افزایش طول ریشه، می‌تواند ناشی از گسترش هیف‌های میکوریزا باشد، که دسترسی ریشه را به آب و مواد مغذی افزایش می‌دهند، همچنین کشش ریشه را تسهیل می‌کنند تا آسیب‌های ناشی از محیط کاهش یابد (Feng, Jingyu et al. 2022). این یافته‌ها نشان می‌دهد که میکوریزا نقش مهمی به عنوان یک سازوکار سازگار گیاه با شرایط محطی دارد و رشد طولی ریشه را به طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد.



شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف روی طول ریشه گیاه گوجه فرنگی. شاهد: بدون تلقیح مایکوریزا، Mp1, Mp2, Mp3, Mp4: تلقیح مایکوریزا در مرحله نشا (ثانویه). Ms1, Ms2, Ms3, Ms4: تلقیح مایکوریزا در مرحله بذر (اولیه).

همزیستی ریشه گیاه گوجه فرنگی با قارچ مایکوریزا

نتایج تصاویر میکروسکوپی مربوط به ریشه تیمارها رائه شده است (شکل ۴). به منظور اطمینان از برقراری همزیستی مایکوریزا، از ریشه‌های گیاهان در تیمارهای تلقیح اولیه و ثانویه استفاده شد، ریشه‌ها پس از رنگ آمیزی، زیر دستگاه میکروسکوپ مشاهده و عکس برداری شدند. نمونه شاهد نیز مورد مشاهده قرار گرفت تا عدم آلودگی آن تأیید شود.



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از ریشه‌های گوجه فرنگی. الف) ریشه تیمار شاهد (فاقد کلونیزاسیون مایکوریزا). ب) ریشه تیمار تلقیح شده به روش بذر مال (تلقیح اولیه). ج) ریشه تیمار تلقیح شده در مرحله نشا (تیمار ثانویه). اندام‌های قارچی در تیمارهای تلقیح شده نشان دهنده استقرار مایکوریزا در بافت ریشه است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تلقیح با قارچ‌های مایکوریزا در هر دو زمان متفاوت، مرحله بذر مال و مرحله نشا، توانست همزیستی موفقیت آمیزی با ریشه‌های گیاه گوجه فرنگی در محیط کشت هیدروپونیک برقرار کند. این یافته تأکید می‌کند که مایکوریزا قادر است در مراحل مختلف توسعه گیاهان به‌طور مؤثر با ریشه همزیستی ایجاد کند و از مزایای آن بهره‌مند شود. با این حال، زمان تلقیح تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه داشت. تیمارهای حاوی تلقیح اولیه، رشد طولی و جرم ریشه بالاتری نشان دادند که بیانگر تسریع در توسعه ریشه و تثبیت بهتر گیاه در مراحل اولیه بود. در مقابل، تیمارهای حاوی

تلقیح ثانویه، حجم ریشه بالاتری داشتند، که نشان دهنده افزایش ظرفیت جذب آب و مواد مغذی در مرحله‌های بعدی رشد باشد. این نتایج تأکید می‌کند که زمان تلقیح میکوریزا می‌تواند برای بهینه‌سازی رشد ریشه و عملکرد گیاه استراتژیک انتخاب شود و هر مرحله مزایای خاص خود را ارائه می‌دهد.

فهرست منابع

- Allen, M., et al. (2003). "Ecology of mycorrhizae: a conceptual framework for complex interactions among plants and fungi. 41(1): 271-303.
- Amraei, B., et al. (2016). "Effect of *Mycorrhiza* and *Azotobacter* on concentration of macroelements and root colonization percentage in different cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L). 895-900.
- Andrea, C., et al. (2023). "Quantification of arbuscular mycorrhizal fungi root colonization in wheat, tomato, and leek using absolute qPCR. 101-1007
- Berruti, A., et al. (2016). "Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: let's benefit from past successes. 6: 169741.
- Dimitrios, B., et al. (2023). "Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Nitrogen and Phosphorus Uptake Efficiency and Crop Productivity of Two-Rowed Barley under Different Crop Production Systems. 60(11).
- Feng, J., et al. (2022). "Overlapping Root Architecture and Gene Expression of Nitrogen Transporters for Nitrogen Acquisition of Tomato Plants Colonized with Isolates of *Funneliformis mosseae* in Hydroponic Production. Plants 2022, 11(9): 1176.
- Ghasemi, M., et al (2023). "Effects of inoculation with four mycorrhizal species on seed phenolic and fatty acids of sesame plants grown under different irrigation regimes. 10(1038).
- Jaboorova, Dilfuza., et al (2021). "Beneficial Features of Biochar and Arbuscular Mycorrhiza for Improving Spinach Plant Growth, Root Morphological Traits, Physiological Properties, and Soil Enzymatic Activities.
- Jean, M., et al. (2024). "Insights into the tripartite interaction: effects of Arbuscular mycorrhizae and *Rhizobium* on root morphology, soil enzymes, and biochemical properties in pea cultivation in alluvial soils of Punjab, India. 40(3): 156-421.
- Mishra, V., et al. (2018). "Utility of arbuscular mycorrhizal fungi for improved production and disease mitigation in organic and hydroponic greenhouse crops." *J. Hortic* 5(03).
- Osni, TO., Shongwe, NS., Masarirambi., MT. (2010). "Effect of Arbuscular Mycorrhiza (AM) Inoculation on the Performance of Tomato Nursery Seedlings in Vermiculite. 1560–8530
- Rong, Z., et al. (2025). "Growth-promoting effects of arbuscular mycorrhizal fungus *Funneliformis mosseae* in rice, sesame, sorghum, Egyptian pea and Mexican hat plant. 34(2): 273-20

The effect of mycorrhizal fungus inoculation time on tomato root characteristics in hydroponic cultivation

Paniz Almaspoor¹, Mohammad Reza Atighi², Farhad Rejali³, Ehsan Ghezllbash^{*4}, Rasoul Rahnemaie⁵

1- Master's student, Department of Soil Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3- Associate Professor, Soil Biology Research Dept., Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Soil Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

5- Associate Professor, Department of Soil Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Abstract

This study investigated the effect of timing of mycorrhizal inoculation on tomato (*Solanum lycopersicum*) root characteristics in a hydroponic system. The experiment was conducted in a completely randomized design with 9 experimental units (growth bags), each unit containing four plants in a cocopeat-perlite substrate. The treatments studied included control (no inoculation), seed inoculation before planting, and root inoculation four weeks after planting. The measured traits included root length, volume, and fresh mass. The results showed that the inoculation time had a significant effect on root characteristics. Seed inoculation before sowing caused a significant increase in root length and mass compared to the control treatment. On the other hand, root inoculation at the four-week stage showed the greatest effect on increasing root volume. In all the characteristics studied, the control treatment

had the lowest values. The findings show that the correct timing of mycorrhiza inoculation plays a decisive role in improving tomato root characteristics. Early inoculation promotes root system development and increases nutrient uptake, while late inoculation is more effective in increasing root volume. These results can be further investigated in planning the application of mycorrhiza in hydroponic systems to improve tomato crop productivity.

Keywords: Mycorrhizal fungi, inoculation time, tomato, hydroponic cultivation, root.