تأثیر سویه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزا روی ویژگی‌های ریشه و غلظت فسفر، پتاسیم، روی و آهن یونجه (*Medicagi sativa* L.)

محمد رضوانی[۱]، محمدرضا اردکانی[۲]، فرهاد رجالی[۳]، قربان نورمحمدی[٤]، فائزه زعفریان[٥] و سعدالله تیموری[٦]

چکیده

قارچ‌های میکوریزایی یکی از مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های محیط ریشه محسوب می‌شوند که از طریق ایجاد هم‌زیستی با ریشه گیاهان نقش کلیدی را در پایداری ریزوسفر در زیست بوم‌های زراعی بازی می‌کنند. اثرات این قارچ‌ها از طریق ایجاد تغییرات روی برخی از خصوصیات ریشه و جذب عناصر غذایی در گیاهان میزبان اعمال می‌شود. در این آزمایش چهار سویه مختلف از قارچ‌های میکوریزایی شامل *G. etanicatum, Glomus mosseae G.intraradices* و ترکیبی از سویه‌های مختلف *G. mosseae, Gigaspora hartiga* و *G. fasciculatum* با چهار تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی در دو مرحله در شرایط گلخانه و خاک غیراستریل به‌کار گرفته شدند. بعد از برداشت گیاهان، ریشه‌ها با آب معمولی شستشو داده شدند. ویژگی‌های ریشه مانند وزن خشک، طول، شاخص کلونی‌زایی، وزن خشک کل ریشه‌های میکوریزایی، نسبت طول ریشه به وزن خشک و غلظت فسفر، پتاسیم، روی و آهن اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سویه‌های مختلف کارایی متفاوتی در ایجاد کلونی‌زایی روی ریشه‌های یونجه داشتند، به‌طوری‌که سویه *Glomus mosseae* بیشترین میزان شاخص کلونی‌زایی را داشت. هم‌چنین وزن خشک کل ریشه‌های میکوریزایی تحت تأثیر سویه‌های مختلف قرار گرفت. سویه‌های مختلف روی وزن خشک ریشه تأثیر معنی‌داری نداشتند و با توجه به نتایج آزمون دانکن گیاهان تیمار شده با *Glomus mosseae* دارای بیشترین وزن خشک ریشه بودند. سویه‌های مختلف در جذب عناصر غذایی با یکدیگر اختلاف نشان دادند. در این تحقیق مشخص شد که *G. mosseae* قابلیت جذب و انتقال فسفر، روی و پتاسیم بیشتری نسبت به سویه‌های دیگر دارد.

واژه‌های کلیدی: هم‌زیستی میکوریزایی، ویژگی‌های ریشه، یونجه، فسفر، پتاسیم، روی و آهن

تاریخ دریافت مقاله: ۸٦/٥/۲۸ تاریخ پذیرش: ۸۸/۳/۲

۱- دانشجوی دکتری زراعت- اکولوژی کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۳- استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب تهران

٤- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

٥- دانشجوی دوره دکتری زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

٦- محقق پژوهشکده کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی، کرج

مقدمه و بررسی منابع

قارچ‌های میکوریزایی از نظر اکولوژیک اهمیت بسیاری دارند، زیرا این موجودات در داخل و روی ریشه‌های گیاهان میزبان روابط هم‌زیستی ایجاد می‌نمایند. گیاه میزبان منابع کربن مورد نیاز قارچ را فراهم می‌کند و قارچ نیز سبب افزایش ظرفیت جذب آب و عناصر غذایی گیاه میزبان می‌شود. بخش عمده‌ای از گیاهان دارای توانایی ایجاد هم‌زیستی با قارچ‌های میکوریزایی هستند. برخی از این روابط بسیار اختصاصی می‌باشند، درحالی‌که در بعضی از گیاهان دیگر این روابط از طیف بسیار گسترده ای برخوردار می‌باشد. به‌طور کلی، حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد از گیاهان با این قارچ‌ها تشکیل هم‌زیستی می‌دهند، به طوری‌که در این گیاهان میکوریزا (نه ریشه) اندام اصلی جذب آب و عناصر غذایی محسوب می‌شود (۱۹،٤).

این قارچ‌ها به عنوان پل زنده بین گیاه و خاک در اکوسیستم عمل می‌نمایند. ریزوسفر میکوریزایی[1] به دلیل اهمیت و پویایی اثرات متقابل میکروبی که در ریشه‌های میکوریزایی در خاک ایجاد می‌کند، می‌تواند جایگزین ریزوسفر گیاهان شود (۱۹).

قارچ‌های میکوریزای آربسکولار[2] از جمله میکروارگانیسم‌های خاک می‌باشند که قادر به ایجاد هم‌زیستی با ریشه طیف وسیعی از گیاهان بوده و روی رشد گیاه میزبان اثر می‌گذارند (۹). این قارچ به عنوان فراوان‌ترین نوع قارچ‌های میکوریزا با حضور هیف‌های قارچی در داخل سلول‌های ریشه، عدم ایجاد شبکه هارتیگ[3] و غلاف قارچی[4] و ایجاد هیف‌های قارچی در سطح ریشه متمایز می‌شوند. آربسکول‌ها و هیف‌های منشعبی که در داخل سلول‌های ریشه یافت می‌شوند، سطح تبادل عناصر غذایی بین گیاه میزبان و قارچ‌ها را تشکیل می‌دهند. این قارچ‌ها با دامنه وسیعی از گیاهان نهاندانه، بازدانه، خزه‌ها و سرخس‌ها ایجاد هم‌زیستی می‌کنند (٤). قارچ میکوریزا، میزبان خود را به وسیله سیگنال‌های آزاد شده از ریشه گیاه شناسایی و با آن تشکیل هم‌زیستی می‌دهد (۷،۸). در غیاب ریشه میزبان این قارچ نمی‌تواند تولید میسلیوم کرده و چرخه زندگی خود را کامل کند (۱۰).

نتایج نشان می‌دهند که استفاده از قارچ‌های میکوریزا روی یونجه تأثیر مثبتی روی رشد و افزایش بیوماس دارد. این قارچ‌ها افزایش بیوماس را به وسیله افزایش جذب آب، مواد معدنی و تولید هورمون‌های رشد انجام می‌دهند. تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین، سیتوکینین و جیبرلین به وسیله این قارچ‌ها اثبات شده است (۲۰). هم‌زیستی میکوریزایی سبب افزایش پتانسیل جذب ریشه گیاه می‌شود و جذب عناصر غذایی و از جمله یون‌های فلزی مانند روی و آهن را به وسیله گیاهان تحریک می‌کند (۱۰).

تلقیح با *Glomus mosseae* نه تنها روی رشد یونجه مؤثر است بلکه باعث افزایش فعالیت باکتری *Sinorhizobiom meliloti* نیز می‌شود (۲). نتایج نشان می‌دهد که میکوریزا سبب افزایش جذب عناصری مانند فسفر، روی و مس می‌شود (۱٤،۲۰).

مهم‌ترین مزایای حاصل از هم‌زیستی ناشی از تغییراتی است که در ریشه گیاه همزیست به وجود آمده که منجر به افزایش جذب و انتقال آب و مواد غذایی گیاه می‌شود. این تحقیق به منظور بررسی تغییرات ناشی از سویه‌های مختلف قارچ‌های

1. Mycorrhizo-sphere
2. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF)
3. Hartig net
4. Fungal sheath

میکوریزا در ریشه و اختلاف سویه‌های این قارچ در جذب و انتقال فسفر، پتاسیم، روی و آهن در یونجه انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر سویه‌های مختلف قارچ‌های میکوریزا روی ویژگی‌های ریشه گیاهان میکوریزایی، آزمایشی با چهار تیمار از سویه‌های مختلف‌قارچ‌های میکوریزایی *Glomus mosseae*, *G. etanicatum*, *G. intraradices*, و ترکیبی از سویه‌های مختلف *G. mosseae, Gigaspora hartiga* و *G. fasciculatum* به همراه تیمار شاهد با چهار تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی، طی دو مرحله در شرایط گلخانه و در خاک غیر استریل انجام شد. در مرحله اول این آزمایش اقدام به تکثیر سویه‌های مورد نیاز به روش گلدانی شد. از آن‌جایی که قارچ‌های میکوریزا از قارچ‌های هم‌زیست اجباری هستند، جهت تکثیر از گیاهان حساس به این قارچ مانند سورگوم استفاده شد. برای این منظور، ابتدا گلدان‌ها با استفاده از الکل ۷۰ درصد ضدعفونی و در داخل آن‌ها خاک استریل (مخلوط ماسه و رس به نسبت ٤ به۱) ریخته شد. برای استریل کردن بذرهای سورگوم، ابتدا بذور به مدت ۳۰ ثانیه در اتانول ۹۵ درصد و بلافاصله در محلول کلرید جیوه ۱۵ درصد به مدت ۵ دقیقه قرار داده شدند. پس از اتمام فرآیند استریل، بذرها چند بار با آب مقطر استریل شستشو و آماده کشت شدند. بدین منظور بذرها را در محیط کشت آگار کشت و داخل انکوباتور قرار داده و پس از ٤٨ ساعت آماده کشت در گلدان شدند.

جهت کاشت در گلدان مقدار ۲۵ گرم مایه تلقیح قارچ مورد نظر را در قسمت سطحی خاک گلدان ریخته و بذرهای سورگوم در آن کشت شدند. آبیاری، گلدان‌ها با آب مقطر هر هفته دوبار انجام شد. هم‌چنین هر هفته یکبار از محلول غذایی جهت تغذیه گلدان‌ها استفاده شد. سورگوم‌ها پس از رشد در مرحله ابتدای گل‌دهی کف‌بر و پس از سه هفته به طور کامل ریشه و ماسه خشک شدند. سپس گلدان‌ها خالی و ریشه‌ها آسیاب و با ماسه مخلوط شد، تا مایه تلقیح برای استفاده در مرحله دوم آزمایش به‌دست آید.

پس از تهیه مایه تلقیح سویه‌های مورد نظر، اقدام به کاشت مرحله دوم آزمایش شد. خاک مورد استفاده ابتدا هوا خشک و سپس الک شد. مشخصات خاک مورد استفاده عبارت بود از: pH= ۷/۹۱، (٪)۰/۱۵ =N، (٪)OC=۱/٤٨، P(ava)=۲۷/۸ ppm و k(ava)=٤٦۱ ppm.

ابتدا گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی از خاک پر شد و مقدار ۵۰ گرم از مایه تلقیح تولید شده وزن و براساس نقشه طرح در گلدان‌ها توزیع شد. سپس مایه تلقیح با خاک گلدان‌ها و به عمق ۵ سانتی‌متر مخلوط شد. برای اعمال تیمارهای شاهد نیز مقدار ۵۰ گرم ماسه جهت حفظ یکنواختی با خاک گلدان‌های شاهد مخلوط شد. بذور یونجه (یونجه همدانی اکوتیپ مه اجر) قبل از کاشت با باکتری ریزوبیوم *Sinorhizobiom meliloti* تلقیح شد. پس از کاشت گلدان‌ها به‌طور کامل و یکنواخت آبیاری شدند. پس از سبزشدن گلدان‌ها تنک و ۵ بوته در هر گلدان حفظ شدند. در مرحله ۲۰ درصد گل‌دهی گیاهان کف‌بر و اندام هوایی پس از تفکیک جهت خشک شدن به مدت ٤٨ ساعت در درجه حرارت ^{o}C ۷۰ در آون قرار داده شدند. گلدان‌ها برای خارج کردن ریشه‌ها آبیاری شدند. ریشه‌ها پس

از خارج شدن، از گلدان به‌طور کامل با آب معمولی شستشو شدند. طول ریشه با روش Gride Line Intersect Method و با فرمول زیر تخمین زده شد (۲۱):

$R=(Cm)$ اندازهٔ شبکه $\times N / 1.25$

که در آن R= طول ریشه (Cm) و N= تعداد تقاطع بین ریشه‌ها و خطوط افقی می‌باشند. در این روش ابتدا نمونه‌های ریشه روی کاغذ گراف پخش شد و سپس تعداد تقاطع (N) بین ریشه‌ها و خطوط افقی شمارش و با فرمول بالا طول ریشه‌ها به‌دست آمد.

برای تعیین درصد کلونی‌زایی میکوریزا، ابتدا از قسمت‌های مختلف ریشه‌های هر گلدان نمونه‌گیری به عمل آمد و پس از رنگ آمیزی، درصد کلونی‌زایی با روش Grid Line Intersect Method تخمین زده شد (٦).

پس از محاسبه درصد کلونی‌زایی ریشه، با استفاده از حاصل‌ضرب درصد کلونی‌زایی و وزن خشک ریشه و وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی، با استفاده از حاصل‌ضرب درصد کلونی‌زایی و طول ریشه، طول ریشه‌های میکوریزایی محاسبه شد.

برای آنالیز شیمیایی مواد گیاهی، نمونه‌های گیاهی آسیاب و در۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک (۷۰ درصد) هضم شد. نمونه‌ها پس از هضم با دستگاه ICP-OES (Variant-Liberty 150AX Turbo) آنالیز شدند.

هم‌چنین وزن خشک، نسبت طول به وزن خشک و نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه نیز تعیین شد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن[1] در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد (۱۹). نمودارها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL رسم شدند. جهت داده‌های درصدی ابتدا تبدیل لگاریتمی صورت گرفت.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی یونجه

وزن خشک اندام هوایی یونجه تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده قرار گرفت (جدول۱). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که سویه *G. mosseae* بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی یونجه را تولید کرد (نمودار۱). این موضوع نشان می‌دهد که *G. mosseae* در جذب آب و مواد غذایی به ویژه فسفر به گیاه کمک بیشتری کرده و سبب تجمع ماده خشک بیشتری شده است و از کارایی بیشتری در تولید بیوماس اندام هوایی یونجه برخوردار می‌باشد.

وزن خشک ریشه

این بررسی نشان داد که در تیمار *G. mosseae* بیشترین میزان وزن خشک ریشه وجود داشت (نمودار۲) که نشان دهنده کارایی این سویه در تجمع ماده خشک در ریشه گیاهان هم‌زیست می‌باشد.

وزن خشک ریشه با کلفتی و ضخامت ریشه در ارتباط می‌باشد، ولی با توانایی ریشه برای تشکیل هم‌زیستی و یا ظرفیت جذبی آن ارتباط زیادی ندارد (١٤). این آزمایش نشان داد که سویه *G. mosseae* کارایی بیشتری در افزایش وزن خشک ریشه دارد. به‌طوری‌که با افزایش جذب آب و مواد غذایی و به‌دنبال آن فتوسنتز برگ به وسیله این سویه، اختصاص کربن به ریشه نسبت به سویه‌های دیگر بیشتر بود.

1. Duncan New Multiple Range Test (DNMRT)

نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه یونجه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که این صفت تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی قرار نگرفت (جدول۱) و اختلافی بین تیمارهای مورد بررسی مشاهده نشد (نمودار۳).

رقابت بین قارچ‌ها و ریشه برای دریافت مواد فتوسنتزی اصلی‌ترین عامل پاسخ گیاه به‌صورت نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه می‌باشد. اگر نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه یونجه کمتر از یک باشد نشان می‌دهد که اختصاص منابع کربن از اندام هوایی به خوبی صورت نگرفته است. مقدار بیش از یک این نسبت نشان‌دهنده کارایی اختصاص کربن به ریشه می‌باشد. در این آزمایش، نسبت‌های به‌دست آمده کمتر از یک بودند. نتایج به‌دست آمده از این آزمایش نشان می‌دهد گیاهان میکوریزایی برتری چندانی در اختصاص منابع به ریشه نداشتند.

در یک بررسی، نهال‌های میکوریزایی و غیرمیکوریزایی *Pinus taeda* L. با داشتن نسبت بالای اندام هوایی به ریشه (۲/۸) دارای رشد نسبتاً یکسانی بودند (۱۷). با کمک یک مدل ساده، لدیگ[1] و همکاران (۱۹۷٦) نشان دادند که افزایش اختصاص کربن به ریشه در گیاهان هم‌زیست در صورتی‌که این نسبت حدود ۳ به ۱ باشد می‌تواند منجر به اثرات قابل مشاهده‌ای روی رشد گیاه شود (۱۲).

شاخص کلونی‌زایی میکوریزا در یونجه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تغییرات معنی‌داری در کلونی‌زایی سویه‌های مختلف وجود داشت (جدول۱). بیشترین میزان کلونی‌زایی در اثر تیمار *G. mosseae* ایجاد شد (نمودار٤). ایجاد کلونی‌زایی علاوه بر نوع گیاه و سیستم ریشه‌ای به غلظت فسفر خاک نیز بستگی دارد. سطوح بسیار بالا و بسیار پایین فسفر خاک ممکن است سبب کاهش آلودگی و کلونی‌زایی میکوریزایی شود (۱۲). سطوح بیش از مورد نیاز فسفر خاک جهت رشد گیاه سبب حذف آربسکول‌های میکوریزایی VAM شد. آربسکول‌ها ساختارهایی هستند که در داخل سلول گیاه میزبان به وسیله قارچ‌های میکوریزا VA تولید می‌شوند. این اندام مسئول انتقال عناصر غذایی جذب شده از قارچ به گیاه هستند (۱).

موسه[1] (۱۹۷۳) نیز گزارش کرد که افزودن فسفر به خاک سبب عدم تشکیل آربسکول می‌شود. این بررسی نشان داد که برای هم‌زیستی سودمندی میکوریزایی، سطح فسفر خاک زیر ppm ۵۰ توصیه می‌شود (١٦). نتایج سایر محققین نیز نشان می‌دهد که هم‌زیستی و آلودگی میکوریزایی ریشه‌ها در سطوح بالاتر از این مقدار کاهش یافته و تلقیح گیاهان در این شرایط کمکی به گیاه نمی‌کند (۲۰).

وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی یونجه

هم‌زیستی میکوریزایی بر بسیاری از جنبه‌های بیولوژیک سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان تأثیر می‌گذارد. به‌طورکلی گونه‌هایی که توانایی بیشتری در افزایش سطح جذب ریشه دارند، قادر به ایجاد هم‌زیستی با میزبان و جذب آب، مواد غذایی، افزایش فتوسنتز و رشد گیاهان هستند.

نتایج حاصل نشان داد که وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی تحت تأثیر سویه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری ایجاد کرد (جدول۱) و تیمار

1. Ledig

1. Mosseae

G. mosseae دارای بیشترین وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی بود (نمودار۵).

طول ریشه یونجه

این بررسی نشان می‌دهد که سویه‌های مورد استفاده نتوانستند تغییر معنی‌داری را در طول ریشه یونجه ایجاد نمایند (جدول۱). نتایج مقایسات میانگین‌ها نشان داد که هم‌زیستی با *G. mosseae* افزایش طول ریشه یونجه را بیش از دیگر سویه‌ها افزایش داد. محمد[1] و همکاران (۱۹۹۵) گزارش کردند که هم‌زیستی گندم بهاره با میکوریزا سبب افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی، تعداد پنجه و طول ریشه گردید (۱٤).

قارچ‌های میکوریزا از طریق گسترش شبکه هیفی خارج ریشه‌ای موجب افزایش جذب و انتقال مواد غذایی به ریشه‌ها می‌شوند. سیستم ریشه‌ای گیاه در نتیجه میکوریزایی شدن تغییراتی حاصل می‌کند (۹)، به طوری‌که در ریشه‌های گیاهان میکوریزایی طول ریشه بیشتر و انشعابات آن وسیعتر می‌شود. بنابراین می‌تواند در جذب عناصر غذایی کارایی بیشتری داشته باشد (۲). بدین ترتیب این قارچ‌ها می‌توانند با تأثیر روی ریشه، حجم زیادتری از خاک را نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی کاوش نموده و بدین ترتیب سبب افزایش دسترسی عناصر غذایی و فلزات سنگین موجود در ناحیه ریزوسفر شوند.

طول ریشه‌های میکوریزایی یونجه

نتایج این آزمایش نشان داد که ریشه‌های یونجه هم‌زیست با *G. mosseae* دارای طول ریشه‌های میکوریزایی یونجه بیشتری نسبت به سایر تیمارها بودند و این سویه نسبت به دیگر سویه‌ها در ایجاد این صفت کارایی بیشتری داشت (نمودار۷). این آزمایش هم‌چنین نشان داد که این سویه توانایی بیشتری در رقابت با نژادهای بومی خاک داشت. ریشه‌های میکوریزایی تراکم بیشتری نسبت به ریشه گیاهان غیرمیکوریزایی دارد. هم‌چنین در این گیاهان هیف‌های خارج ریشه‌ای قارچ می‌تواند تا فاصله ۱۲۰ سانتی‌متر از ریشه نفوذ نماید. حضور شبکه میسلیوم‌های قارچی در اطراف ریشه باعث می‌باشد که حجم بیشتری از خاک را کنکاش نموده و فسفر و عناصر غذایی را در فاصله دورتر از ریشه جذب و به اندام هوایی منتقل نماید. حضور هیف‌های خارج ریشه در گیاهان میکوریزایی سبب افزایش سطح جذب ریشه به مقدار ۹۸/۳ درصد می‌شود (۱۷).

نسبت طول ریشه به وزن خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سویه‌های مختلف میکوریزای مورد استفاده در این بررسی اثر معنی‌داری روی طول نسبت ریشه به وزن خشک آن داشتند (جدول۱). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که گیاهان میکوریزایی که با سویه *G. mosseae* هم‌زیستی داشتند دارای نسبت طول به وزن خشک ریشه کمتری بودند (نمودار۸).

غلظت فسفر، پتاسیم، روی و آهن یونجه

نتایج نشان داد که سویه‌های به‌کار رفته در این آزمایش دارای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در جذب فسفر، پتاسیم و روی بودند (جدول۱). رابطه یونجه با *G. mosseae* سبب افزایش بیشتر جذب فسفر، پتاسیم و روی و انتقال آن‌ها با اندام هوایی گیاه شد (جدول۲). اما، میکوریزا تأثیری روی جذب پتاسیم به وسیله گیاه یونجه نداشت و گیاهان غیرهم‌زیست دارای آهن بیشتری بودند (جدول۲).

نتایج بسیاری از تحقیقات بر افزایش جذب فسفر، پتاسیم و روی به وسیله تلقیح گیاهان با قارچ‌های

1. Mohammad

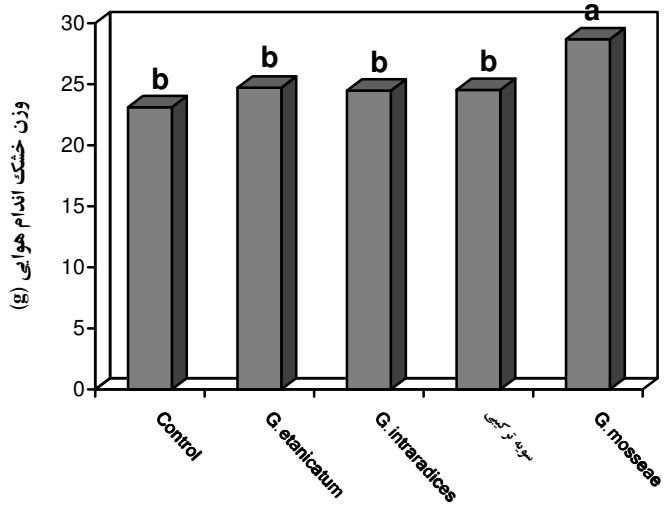
میکوریزا تاکید دارند (۲۰ و ۲ و۵). تأثیر قارچ‌های میکوریزا روی جذب فلز به وسیله ریشه گیاه واضح نمی‌باشد و به نوع فلز و گونه گیاهی بستگی دارد. برخی شواهد نشان می‌دهند میکوریزا سبب ممانعت از جذب فلز می‌شود (۲۰).

استفاده از میکوریزا سبب افزایش بیوماس گیاهی به دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی و هم‌چنین فعالیت فتوسنتزی می‌شود (۲۰). گیاهان هم‌زیست با سویه مناسب میکوریزا دارای جذب آب و عناصر غذایی (به خصوص فسفر) بیشتری هستند. نتیجه این نقش میکوریزا افزایش فعالیت فتوسنتزی و تثبیت CO_2 و تولید سطح برگ بیشتر می‌باشد، که در نهایت سبب افزایش تثبیت CO_2 و افزایش بیوماس اندام هوایی می‌شود. کمک قارچ‌های میکوریزا در انباشت ماده خشک در اندام هوایی می‌تواند مزیت رقابتی برای گیاهان هم‌زیست در مقابل گیاهانی که امکان هم‌زیستی ندارند در اکوسیستم زراعی باشد.

نتایج این بررسی نشان داد که سویه‌های مختلف میکوریزا اثرات متفاوتی روی ویژگی‌های ریشه گیاهان داشتند. سویه یا سویه‌هایی که دارای توانایی زیادی در ایجاد هم‌زیستی با گیاهان هستند، می‌توانند سبب افزایش تولید ماده خشک ریشه و اندام هوایی گیاه و جذب فسفر در میزبان می‌شوند. این نژادها به سویه‌های مؤثر معروف می‌باشند. قابلیت سویه‌های مؤثر می‌تواند ناشی از اثر این سویه (در آزمایش ما سویه *G. mosseae*) روی ویژگی‌های ریشه گیاه میزبان باشد. این سویه توانست با ایجاد هیف‌های خارج ریشه‌ای حجم بیشتری از خاک را در اختیار گیاه قرار دهد. بنابراین سبب افزایش کارایی جذب آب و مواد غذایی (فسفر، پتاسیم و روی) و در نهایت افزایش وزن فتوسنتز و تولید ماده خشک به وسیله گیاه میزبان شد.

نتیجه گیری کلی

قارچ‌های AM در ایجاد هم‌زیستی با گیاهان میزبان به طور غیر اختصاصی عمل می‌کنند. تقریباً هر AM می‌تواند با یک گونه میزبان تشکیل هم‌زیستی بدهد. با توجه به نتایج این تحقیق سویه *G. mosseae* دارای بیشترین کارایی در جذب فسفر، پتاسیم و روی بود. بنابراین از رهیافت انتخاب سویه مؤثر می‌توان در جهت افزایش جذب عناصر مورد نظر در گیاهان برای بهبود کیفیت محصولات استفاده نمود.



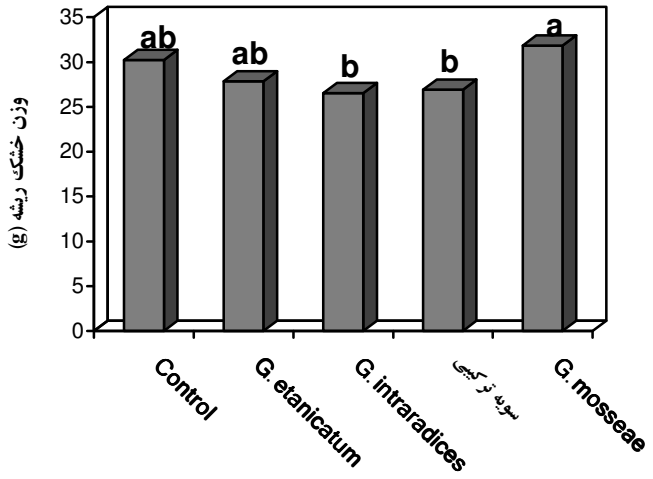
نمودار۱- تأثیر سویه‌های مختلف قارچ میکوریزا روی وزن خشک اندام هوایی

جدول۱- تجزیه واریانس تأثیر سویه‌های قارچ میکوریزا روی صفات یونجه

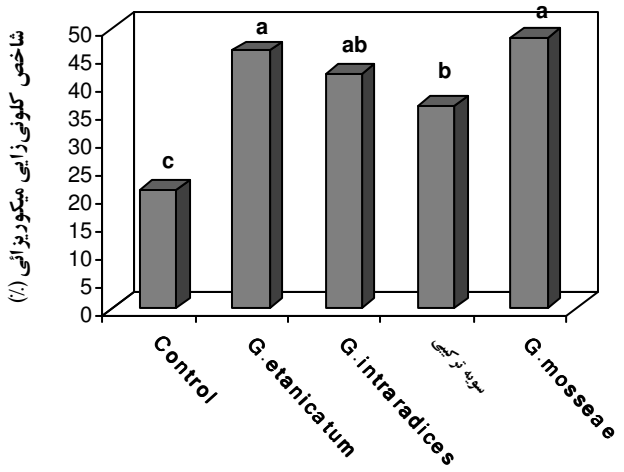
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	نسبت‌وزن خشک اندام هوایی به ریشه	شاخص کلونی‌زایی میکوریزا	وزن‌خشک ریشه‌های میکوریزایی	طول ریشه	طول ریشه‌های میکوریزایی یونجه	نسبت طول به وزن خشک ریشه	غلظت فسفر گیاه	غلظت پتاسیم گیاه	غلظت روی گیاه	غلظت آهن گیاه
تیمار	٤	۱۷/٦٦**	۲۰/۸٦^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۸۵**	۵۰/۳۱**	۱۳/۲۸^{ns}	۸٤/٤۰**	۰/۰٦۱^{ns}	۳۱٤۳۰/٦۸**	۵۳۰۵٤/۱٤ **	۲۸۳/۷٤**	۱۲۲۹۵۷/٦۷ **
خطا	۱۵	۱/٦۱	۷/۵۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳	۱/۰۵	۱۳/٦۲	۲/٦۹	۰/۰۱	۵۹٦/٦۰	۳٤۷۱/۸٦	۲/۳۰	۲۷/٦۰
CV(%)		۵/۵۰	۹/۵٦	۱۲/٦٦	۳/٦۷	۹/۱۳	۸/۷۸	۹/۷۵	٦/٦۳	۱/۸۸	۰/۹۳	٤/٤۷	۱/۲۰

ns : غیرمعنی‌دار

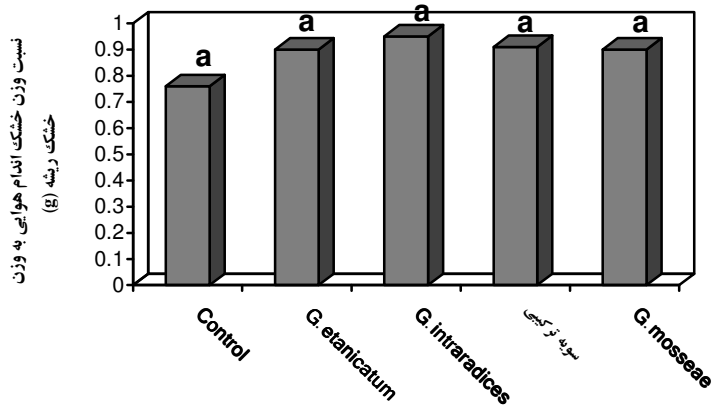
* و * * : به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۰/۰۵ و ۰/۰۱



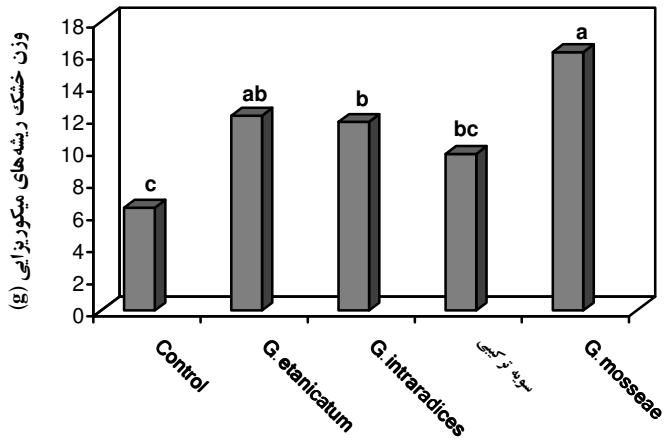
نمودار۲- تأثیر سویه‌های مختلف قارچ میکوریزا روی وزن خشک ریشه



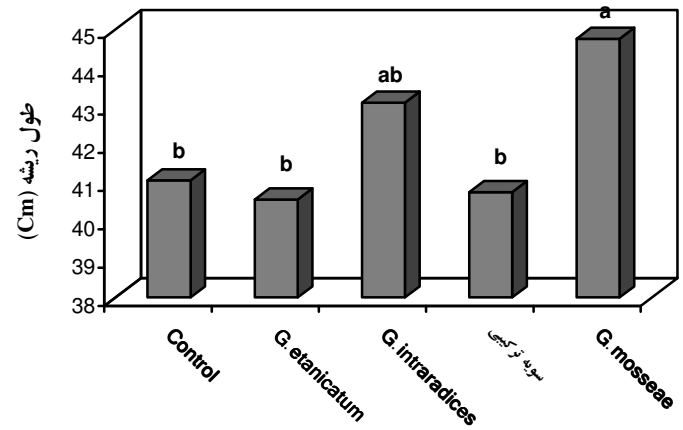
نمودار ۳- تأثیر سویه‌های مختلف قارچ میکوریزا روی شاخص کلونی‌زایی میکوریزا



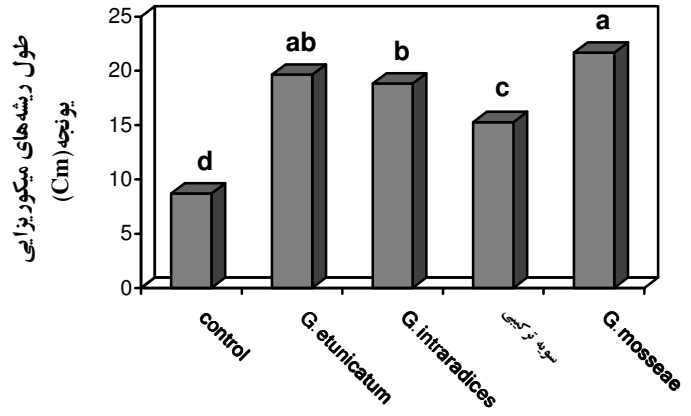
نمودار٤- تأثیر سویه‌های مختلف قارچ میکوریزا روی نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه



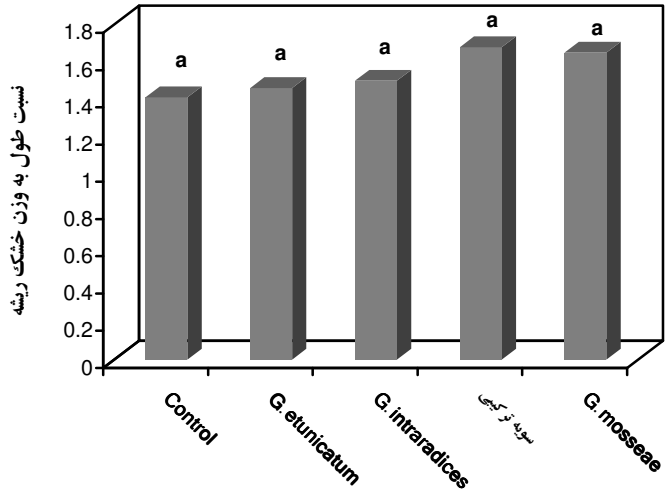
نمودار۵- تأثیر سویه‌های مختلف قارچ میکوریزا روی وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی یونجه



نمودار٦- تأثیر سویه‌های مختلف قارچ میکوریزا روی طول ریشه یونجه



نمودار۷- تأثیر سویه‌های مختلف قارچ میکوریزا روی طول ریشه‌های میکوریزایی یونجه



نمودار۸- تأثیر سویه‌های مختلف قارچ میکوریزا روی نسبت طول به وزن خشک ریشه‌های میکوریزایی یونجه

جدول۲- تأثیر سویه‌های قارچ میکوریزا روی غلظت فسفر، پتاسیم، روی و آهن یونجه

تیمار	غلظت فسفر گیاه	غلظت پتاسیم گیاه	غلظت روی گیاه	غلظت آهن گیاه
Control	۱۲۴۳/۰۴ c	۱۷۰۱/۶۶ b	۲۳/۶۰ e	۷۱۲/۷۲ a
G. etunicatum	۱۲۸۷/۵۲ c	۱۵۳۰/۹۱ d	۳۷/۷ b	۵۰۷/۱۰ b
G. intraradices	۱۲۸۷/۵۲ b	۱۵۱۵/۳۵ d	۲۹/۵۲ d	۲۸۴/۹۸ e
سویه ترکیبی	۱۲۸۴/۰۱ b	۱۶۴۸/۰۶ c	۳۳/۰۹ c	۳۶۹/۷۹ c
G. mosseae	۱۴۵۱/۹۵a	۱۷۸۷/۶۵a	۴۵/۸۸ a	۳۱۶/۹۸ d

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار ندارند.

منابع

1. Abbott, L. K., and Robson, A. D. 1979. A quantitative study on the spores and anatomy of mycorrhizas formed by a species of *Glomus*, with special reference to its taxonomy. Australian Journal of Botany 27:363-375.
2. Azcón, G., de Aguilar, C., Azcón, R., and Barea, J. M. 1979. Endomycorrhizal fungi and Rhizobium as biological fertilisers for *Medicago sativa* in normal cuntivation. Nature 279: 325-236.
3. Berta, G., Fusconi, A., and Hooker, J. E. 2002. Arbuscular mycorrhizal modifications to plant root systems: Scale, mechanisms and cosequences. In: Gianhinazzi, S., Schuepp, H., Barea, J. M., Haselwandter, K. (Eds.): Mycorrhizal technology in agriculture. Birkauser Verlag, Basel, Boston, Berlin, pp. 71-85.
4. Bago, B., Pfeffer, P. E., and Shachar-Hill, Y. 2000. Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. Plant Physiology 124: 949-957.
5. Diope, T. A., Krasova-wade, T., Diallo, A., Diouf, M., and Gueye, M. 2003. Solanum cultivar responses to arbuscular mycorrhizal fungi: growth and mineral status. Africal Journal of Biotechnology 2 (11): 429-433.
6. Giovannetti, M., and Mosse, B. 1980. An evaluation of technique to measure vesicular – arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytologist 84:489-500.

7. Giovannetti, M., Sbrana, C., and Logi, C. 1994. Early processes involved in host recognition by arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytology 127:703–9.
8. Giovannetti, M. L., Avio, C. Sbrana, C., and Citernetti, A. S. 1993. Factors affecting appressorium development in the vesicular–arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* (Nicol. and Gerd.) Gerd. and Trappe. New Phytologist 123: 115–22.
9. Khan, A. G. 2005. Mycorrhizas and phytoremediation. In: Willey, N. (ed.): method in biotechnology-phytoremediation: methods and reviews. Totowa, USA: Humana Press.
10. Klironomos, J. N. 2003. Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. Ecology 84: 2292–2301.
11. Koide, R. T. 1991. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. New Phytologist 117:365-386.
12. Ledig, F. T., Drew, A. P., and Clark, J. G. 1976. Maintenance and constructive respiration, photosynthesis, and net assimilation rate in seedlings of pitch pine (*Pinus rigida* Mill.). Annual Botany 4:289-300.
13. Liu, A., Hamel, C., Elmi, A., Costa, C., Ma, B., and Smith, D. L. 2002. Concentrations of K, Ca and Mg in maize colonised by arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. Canadian Journal of Soil Science 82(3): 271- 278.
14. Mohammad, M. J., Pan, W. L., and Kennedy, A. C. 1991. Wheat responses to vesicular and arbusculsr mycorrhizal fungi inoculation of soil from eroded to posequence. Journal of American Society of Soil Science 59: 1086.
15. Mosse, B. 1973. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhizae. IV. In soil given additional phosphate. New Phytologist 72:127-136.
16. Norris, J. R., Read, D. J., and Varma, A. K. 1994. Thechniques for mycorrhizal research methods in microbiology. Academic Press, Limited. London.
17. Rousseau, J. V. D., and Reid, C. P. P. 1991. Effects of phosphorus fertilization and mycorrhizal development on phosphorus nutrition and carbon balance of loblolly pine. New Phytologist 117:319-326.
18. SAS Statistical Analysis Systems. 2002. The SAS System for Windows, Version 6.12. Statistical Analysis System Institute.
19. Smith, S. F. and Read, D. J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. 2nd ed. Academic Press., Inc. U.S.A.
20. Swift, C. E. 2004. Mycorrhiza and soil phosphorus levels. Area Extension Agent. http://www.colostate.edu/Depts/CoopExt/TRA/PLANTS/mycorrhiza.
21. Tarafdar, J. C., and Marschner, H. 1994. Pytase activity in the rhizosphere on crops, trees and grsses under arid environment. Plant Soil 173:97.
22. Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersects method estimating root length. Journal of Ecology 63: 995-1001.