

بررسی تأثیر قارچهای میکوریز آربسکولار بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت در شرایط تنش تراکم خاک

محمدرضا میرانصاری مهابادی، حسینعلی بهرامی، فرهاد رجالی و محمدجعفر ملکوتی^{۱*}

چکیده

استفاده مداوم از وسایل مکانیکی در مزرعه موجب متراکم شدن خاک می‌گردد. تراکم بوجود آمده اثرات فراوان و طولانی مدتی بر خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک بر جای می‌گذارد و در صورت عدم استفاده از روشهای مناسب مدیریت مزرعه، تغییر ویژگیهای فیزیکی خاک و بخصوص تخریب تدریجی ساختمان خاک را در پی دارد. از جمله اثرات نامطلوب تراکم تغییر عمق رشد و توسعه ریشه می‌باشد که این خود بر میزان جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاهان و در نتیجه بر میزان انرژی و کود مصرف شده در اراضی زراعی و نهایتاً بر شرایط زیست محیطی و اقتصادی تأثیرات نامطلوبی را بر جای خواهد گذاشت. کاهش جذب عناصر غذایی ناشی از تراکم خاک، کاهش رشد گیاه و در نتیجه کاهش میزان محصول را در پی دارد. یکی از روشهای کاهش اثرات نامطلوب تراکم خاک استفاده از روشهای بیولوژیک همچون استفاده از قارچهای همزیست با ریشه (قارچهای میکوریز آربسکولار) می‌باشد. براین مبنای پژوهشی با استفاده از گونه‌های مختلف قارچهای میکوریز آربسکولار به منظور کاهش اثرات تنش تراکم بر میزان جذب عناصر غذایی و در نتیجه میزان محصول در گیاه ذرت و در شرایط مزرعه‌ای در طی دو سال به مرحله اجراء در آمد. در آزمایش‌های مربوطه که در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب واقع در مشکین دشت کرج انجام گرفت در سال اول، از سه سطح تراکم و سه گونه قارچ میکوریز آربسکولار در چهار تکرار استفاده گردید. با توجه به نتایج بدست آمده در سال اول، برای سال دوم ضمن استفاده از همان گونه‌های قارچ در سال اول به تیمارهای تراکم خاک یک سطح تراکم نیز اضافه گردید. در رطوبتهای مشخص وبا استفاده از نفوذ سنج (penetrometer)، میزان مقاومت خاک برای تیمارهای مختلف تراکم اندازه‌گیری گردید. جرم حجمی خاک نیز برای تیمارهای مختلف تراکم اندازه‌گیری شد. ارتفاع گیاه، وزن تازه و خشک برگها و میزان محصول ذرت به همراه غلظت عناصر ازت، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس در برگهای ذرت برای تیمارهای مختلف اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف تراکم ایجاد شده از نظر آماری دارای تفاوت معنی‌داری بودند. میکوریز آربسکولار به صورت معنی‌داری سبب افزایش فاکتورهای مربوط به رشد ذرت و میزان محصول گردید. جذب عناصر در سطوح مختلف تراکم در تیمارهای حاوی میکوریز آربسکولار افزایش یافت اگرچه با افزایش تراکم از میزان تأثیر میکوریز آربسکولار کاسته شد. براین اساس می‌توان نتیجه گرفت که برقراری رابطه همزیستی میکوریزی مؤثر از طریق افزایش جذب عناصر غذایی در گیاه ذرت سبب افزایش میزان محصول می‌گردد و بیشترین تأثیر برای کاهش تنش تراکم خاک بر رشد گیاه در سطوح متوسط تراکم می‌باشد.

واژه های کلیدی: تراکم خاک، میکوریز آربسکولار، جذب عناصر غذایی، ذرت (*Zea mays* L.)

مقدمه

وسپس سبب افزایش جرم حجمی خاک و کاهش خلل و فرج گشته و نهایتاً باعث تخریب ساختمان خاک می‌گردد. عوامل مؤثر بر شدت تراکم ایجاد شده ناشی از تردد ماشین آلات سنگین در مزرعه عبارتند از: میزان و توزیع فشار

تراکم خاک عبارتست از فشردگی خاک در اثر نیروهای وارده که در ابتدا موجب نظم جدید خاکدانه‌ها

۱- دکتری خاکشناسی از دانشگاه تربیت مدرس، استادیار خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس، استاد یار پژوهشی مؤسسه تحقیقات خاک و

آب، استاد خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس

* وصول: ۸۳/۱۰/۱۹ و تصویب: ۸۴/۱۰/۲۲

بررسی تأثیر قارچهای میکوریز آربسکولار بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت در شرایط تنش تراکم خاک / ۱۰۷

از اثرات سوء تنش تراکم خاک بر رشد گیاه بکاهد. میسلوم قارچهای میکوریزی از طریق ارتباط ریشه گیاه به محیطهای اطراف (فرا تر از منطقه نفوذ سیستم ریشه) سبب افزایش حجمی از خاک می‌شوند که در اختیار ریشه گیاه قرار می‌گیرد. این مسئله امکان بقای گیاه را در محیطهایی که با کمبود آب و عناصر غذایی مواجه می‌باشند افزایش می‌دهد (Marschener و Dell، ۱۹۹۴). بنابراین در شرایطی که غلظت عناصر قابل دسترس گیاه کم می‌باشد ریشه‌های دارای همزیستی میکوریز آربسکولار ممکن است میزان بیشتری از عناصر پر مصرف و ریزمغذی نسبتاً کم تحرک را جذب نمایند (Subramanian و Charest، ۱۹۹۹؛ Faber و همکاران، ۱۹۹۰). قارچهای میکوریز آربسکولار سبب تغییرات فیزیکی، شیمیایی یا میکروبیولوژیکی در محیط ریزوسفری شده که نتیجه آن جذب بعضی عناصر توسط هیفهای همزیست با ریشه می‌باشد (Amora-Lazcano و Azcon، ۱۹۹۷؛ Amora-Lazcano و همکاران، ۱۹۹۸؛ Marschener، ۱۹۹۵). اثرات مثبت تلقیح ریشه گیاه با قارچهای میکوریز آربسکولار در سطوح کم و متوسط عناصر غذایی و بویژه هنگامی که گیاه با تنش‌های محیطی روبرو می‌باشد نسبت به سطح بالای عناصر غذایی در خاک چشمگیرتر است (Brundett و همکاران، ۱۹۹۹). از طرف دیگر نشان داده شده است که افزایش بیش از حد تراکم خاک منجر به کاهش طول ریشه، وزن خشک اندام هوایی، جذب فسفر، ارتفاع گیاه و کاهش کلنیزاسیون ریشه گیاه شبدر با قارچ *Glomus intraradices* گردیده است (Nadian و همکاران، ۱۹۹۷). در هر صورت مطالعات قبلی انجام شده در کشور پیرامون توانایی قارچهای میکوریز آربسکولار نشان داده است که استفاده از این قارچهای همزیست با گیاه منجر به افزایش جذب فسفر و پتاسیم در گیاه گندم و سویا (شیرانی راد، ۱۳۷۹) باعث افزایش جذب فسفر و روی در گیاه گندم با تنش خشکی (رجالی، ۱۳۸۲)، و افزایش جذب عناصر غذایی فسفر و پتاسیم و روی و افزایش کارایی مصرف آب به صورت معنی‌داری در گیاه یونجه با تنش خشکی شده است (رضایی، ۱۳۸۲). همچنین در شرایط تنش شوری استفاده از این قارچهای همزیست با ریشه منجر به افزایش میزان وزن خشک اندام هوایی گیاه جو و وزن تر غده پیاز به صورت معنی‌داری گردیده است (علی اصغر زاده، ۱۳۷۹). از آنجا که تراکم خاک نیز محدودیتی است که بدلیل انجام کشت مکانیزه و در سطوح بالای خود کاهش عمق نفوذ ریشه در خاک و در نتیجه کاهش عملکرد را در پی دارد، ضروری بود تا توانایی قارچهای میکوریز - آربسکولار و نقش آنها در جبران بخشی از کاهش بوجود آمده در سطح

ایجاد شده از طریق وسیله مورد نظر و خصوصیات خاک همچون بافت خاک، ساختمان خاک و میزان آب خاک (Voorhees و Hakansson، ۱۹۹۸). معمول ترین روش برای تعیین میزان تراکم خاک اندازه‌گیری جرم حجمی ظاهری خاک و همچنین میزان مقاومت خاک به نفوذ با استفاده از دستگاه نفوذ سنج (penetrometer) می‌باشد که میزان مقاومت خاک را بر اساس واحد نیرو مشخص می‌نماید. تراکم خاک به دلایل مختلف سبب کاهش جذب مواد غذایی مورد نیاز گیاهان می‌گردد. از جمله مهمترین این دلایل تخریب ساختمان خاک و کاهش مقاومت خاکدانه‌ها می‌باشد که امکان ایجاد فرسایش خاک و در نتیجه هدررفت عناصر غذایی قابل جذب گیاه و کاهش میزان محصول را در پی دارد. همچنین به علت افزایش فشردگی خاک در اثر تراکم، نفوذ ریشه در خاک محدود گشته و در نتیجه اگرچه کل توده زنده ریشه ممکن است ثابت بماند لیکن حجم کمتری از خاک برای جذب آب و مواد غذایی در اختیار ریشه قرار خواهد گرفت (Boone و همکاران، ۱۹۷۸). میزان اکسیژن خاک نیز در اثر تراکم کاهش می‌یابد که این خود می‌تواند بر فعالیتهای ریشه و در نتیجه جذب آب و عناصر غذایی اثر سوء داشته باشد (Nadian و همکاران، ۱۹۹۸). بررسی اثرات استفاده از روشهای بیولوژیک همچون استفاده از قارچها میکوریز آربسکولار به منظور کاهش اثرات سوء تراکم بر جذب عناصر غذایی در خاک می‌تواند به عنوان یک راهکار تلقی گردد. قارچهای میکوریز آربسکولار با بیش از ۸۰٪ از گیاهان دارای ارتباط همزیستی می‌باشند که در این همزیستی گیاه قسمتی از کربن حاصل از فتوسنتز را در اختیار قارچ همزیست می‌گذارد و در ازای آن شبکه گسترده هیف قارچهای میکوریز آربسکولار جذب و انتقال آب و عناصر معدنی را از مناطقی که برای سیستم ریشه‌ای غیر قابل دسترس می‌باشد به گیاه تسریع می‌بخشد. این همزیستی به گیاهان کمک می‌کند تا قادر به رشد در شرایط نسبتاً دشوار باشند (Sylvia و Williams، ۱۹۹۲). هیفهای قارچهای میکوریز آربسکولار قادر به رشد در خلل و فرجی از خاک بوده که ریشه و یا حتی تارهای کشنده قادر به نفوذ در آنها نمی‌باشند (Sylvia، ۲۰۰۳). بنابراین هیفهای قارچهای میکوریزی قادرند راحت تر از ریشه گیاهان در خاکهای متراکم نفوذ نمایند. بعلاوه قارچهای میکوریزی باعث افزایش طول ریشه‌ها می‌گردد (Berta و همکاران، ۱۹۹۵). همزیستی میکوریزی از طریق ایجاد شبکه گسترده‌ای از هیفها و همچنین تولید ماده‌ای گلایکوپروتئینی به نام گلومالین می‌تواند موجب به هم پیوستن ذرات خاک در خاکهای متراکم با ساختمان تخریب شده گردد و در نتیجه

گرفت، در هر کرت ۴ ردیف کشت به فواصل ۶۰ سانتی متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. فاصله محل کاشت بذرها از همدیگر بر روی هر ردیف ۲۰ سانتی متر بود. با در نظر گرفتن فاصله مناسب بین کرتها از ایجاد اثر متقابل تیمارها بر یکدیگر جلوگیری بعمل آمد. همراه با کاشت بذر ذرت گونه‌های مختلف میکوریزا که قبلاً تکثیر گردیده بودند (Feldmann و Idczak ۱۹۹۲) (*Glomus mossea*(M2) جدا سازی شده از خاکهای ایران، *Glomus etunicatum*(M3) جدا سازی شده از خاکهای ایران، (*Glomales in vitro* Collection) GINCO کانادا با ترکیب نمودن با سطوح تراکم به حفره‌های ایجاد شده بر روی خطوط کشت که محل استقرار بذر بودند اضافه گردید، تیمار شاهد بدون مایکوریز (M1) نیز اعمال گردید. مقدار مایه تلقیح مصرف شده ۱/۶ گرم (به صورت شن استریل حاوی ۸۰٪ اندام فعال فارچی) به ازاء هر بذر بود (Sood، ۲۰۰۳; Toshihiro ۲۰۰۴). در زمانهای لازم مزرعه آبیاری گردید. بعد از سبز شدن بذرها، کود ازته از منبع اوره به میزان ۲۶۰ کیلوگرم در هکتار، کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم به میزان ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار و کود فسفره از منبع سوپرفسفات تریپل به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار بر اساس آزمون خاک به صورت سطحی اضافه گردید.

ج - شاخصهای بررسی

برداشت در تاریخ پنجم و هفتم آبان ماه ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ انجام گرفت و وزن تازه و خشک محصول مشخص و میزان آن بر حسب تن در هکتار محاسبه گردید. همچنین قبل از برداشت ارتفاع گیاهان ذرت اندازه‌گیری شد. در تاریخ هشتم (سال اول) و چهاردهم (سال دوم) همراه ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ ضمن اندازه‌گیری ارتفاع گیاهان ذرت نمونه‌های برگ تهیه و میزان وزن تازه و خشک آنها با استفاده از آون در 105°C تعیین گردید. میزان غلظت عناصر ازت، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس در نمونه برگهای ذرت در آزمایشگاه شیمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهران اندازه‌گیری گردید. میزان ازت توسط روش کلدال (Kejeldal)، فسفر با روش کالریمتری (Colorimetric method)، پتاسیم با استفاده از فلیم فوتومتر (Flame Photometer)، و آهن، منگنز، روی و مس با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Atomic Absorption) اندازه‌گیری گردید.

د- طرح و آنالیز آماری

آزمایش به صورت طرح اسپلیت پلات با پایه بلوکهای کامل طراحی گردید که در آن سطوح تراکم به عنوان کرت‌های اصلی و گونه‌های میکوریزا به عنوان کرت‌های

جذب کنندگی ریشه گیاه ذرت مورد بررسی قرار گرفته و تلاش گردد تا قسمتی از کاهش جذب عناصر غذایی در گیاه ذرت ناشی از پدیده تراکم با استفاده از این همزیستی جبران گردد.

مواد و روشها

الف- ایجاد سطوح تراکم در خاک مزرعه

برای بررسیهای مزرعه‌ای، آزمایشها در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب واقع در مشکین دشت کرج طی سالهای ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ انجام گرفت. برای تعیین ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی از خاک مزارع نمونه‌برداری تا عمق ۳۰ سانتی‌متری انجام گرفت و تجزیه‌های لازم صورت پذیرفت (جداول ۱ و ۲). برای ایجاد تراکم از تراکتور John Deere مدل ۳۱۴۰ (با وزن ۳۹۸۶ کیلوگرم و عرض تایر ۴۰ سانتی متر) با سرعت کمتر در ثانیه استفاده گردید (Jensen و همکاران، ۱۹۹۶)، به این صورت که از تعداد دفعات عبور تراکتور در رطوبت مشخص (۷/۲ و ۲/۳) به ترتیب در سال اول و دوم) خاک لوم (سال اول) و لوم رسی (سال دوم) برای متراکم نمودن مزرعه تا عمق حداقل ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. تیمارهای اعمال شده عبارت بودند از بدون عبور (C1)، ۴ بار عبور (C2) و ۱۲ بار عبور (C3) در سال اول و در سال دوم سطح ۲۰ بار عبور تراکتور (C4) نیز اضافه گردید. سطوح C3 و C4 به منظور بیشتر فشرده شدن خاک و همچنین فشرده نمودن خاک تا عمق نفوذ ریشه ذرت اعمال گردید (Horn و همکاران، ۱۹۹۵). بعد از ایجاد تراکم، با استفاده از دستگاه نفوذ سنج (penetrometer) مقدار مقاومت خاک در برابر نفوذ به میزان سه بار برای هر کرت (سه مرتبه در طول فصل کشت) اندازه‌گیری گردید، در هر بار اندازه‌گیری، نمونه‌برداری از خاک هر کرت انجام گرفت و رطوبت خاک با استفاده از آون در 105°C مشخص گردید. جرم حجمی خاک نیز برای تیمارهای مختلف با استفاده از سیلندر با حجم مشخص اندازه‌گیری گردید.

ب- کشت بذر همراه با استفاده از مایه تلقیح‌های میکوریزی

مایه تلقیح‌های میکوریزی به روش سنتی و در مجاورت ریشه گیاه سورگوم در محیط ماسه استریل در طی یک دوره رویشی ۴ ماهه تکثیر گردید. قبل از انجام آزمایش با استفاده از تست Most Probable Number (MPN) کل اندام فعال قارچهای میکوریزی در مایه تلقیح‌های تهیه شده مشخص گردید (Feldmann و Idczak، ۱۹۹۲). در تاریخ شانزدهم تیرماه ۱۳۸۲ کاشت بذرها ذرت (وارتبه ۷۰۴) در کرت‌هایی به ابعاد ۲/۴ در ۴ مترکه قبلاً سطوح مختلف تراکم در آنها اعمال گردیده بود انجام

از ۲۷، ۲۷ و ۳۵ درصد (جدول ۹). همچنین از بین گونه‌های مختلف قارچهای میکوریزی به کار گرفته شده در این تحقیق، گونه دوم یعنی *G. etunicatum* نسبت به دو گونه دیگر از کارایی بهتری برخوردار بوده است. نتایج بدست آمده در سال دوم نیز به نوعی تأکید کننده نتایج گرفته شده از سال اول بود، در سال دوم نیز بهترین نتایج حاصل از بکارگیری قارچهای میکوریز آریسکولار در سطح دوم تراکم با جرم حجمی ۱/۲۸ گرم برسانتی متر مکعب و میزان مقاومت ۰/۷۵ مگاپاسکال بدست آمد. همچنین اثر اعمال تیمارهای تراکم وقارچهای میکوریز آریسکولار در سطوح آماری در نظر گرفته شده معنی‌دار گردید (جدول شماره ۷). با افزایش تراکم از سطح دوم به چهارم از کارایی همزیستی میکوریزی در افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه میزان محصول کاسته شده است. بطوریکه بیشترین درصد افزایش جذب (سطح دوم تراکم) و کمترین میزان افزایش جذب (سطح چهارم) برای عناصر مختلف به ترتیب عبارت است از، ازت ۱۰۷ و ۲۱، فسفر ۵۴ و ۱۰، پتاسیم ۶۱ و ۹، آهن ۶۷ و ۲۶، منگنز ۱۵۶ و ۴۴، روی ۲۲۵ و ۴۵ و مس ۱۴۶ و ۲۷ (جدول ۷، ۸). در این سال تأثیر حاصل از بکارگیری گونه‌های *G. etunicatum* و *G. mosseae* کانادایی بهتر و بیشتر از *G. mosseae* ایرانی بود. همچنین در سال دوم بیشترین افزایش میزان محصول در سطوح مختلف تراکم در اثر میکوریز آریسکولار به ترتیب برای سطوح اول، دوم، سوم و چهارم تراکم در مقایسه با شاهد (بدون میکوریز) عبارت بودند از ۳۷، ۴۳، ۲۵ و ۲۷ درصد (جدول ۱۰).

فرعی در نظر گرفته شد. با استفاده از برنامه آنالیز آماری SAS (SAS Institute Inc، ۱۹۸۸) داده‌های آزمایش تجزیه و تفاوت بین تیمارهای مختلف مشخص گردید. با استفاده از روش آماری GLM و تست LSD میانگینها مقایسه گردیدند (Torrie و Steel، ۱۹۸۰).

نتایج

جرم حجمی‌های اندازه‌گیری شده در سال اول برای سطوح بدون عبور تراکتور، ۴ و ۱۲ بار عبور تراکتور به ترتیب عبارت بودند از ۱/۲۰، ۱/۲۷ و ۱/۴۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب و در سال دوم برای سطوح بدون عبور تراکتور، ۴، ۱۲ و ۲۰ بار عبور تراکتور به ترتیب عبارت بودند از ۱/۱۹، ۱/۲۸، ۱/۴۴ و ۱/۵۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب که نشان دهنده متراکم شدن خاک در اثر اعمال تیمارهای تراکم می‌باشد. میکوریز آریسکولار به صورت معنی‌داری (در سطح ۱۰٪) سبب افزایش ارتفاع، وزن تازه و میزان محصول ذرت گردید (جدول ۹ و ۱۰). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین تأثیر ناشی از بکارگیری قارچهای میکوریز آریسکولار در سال اول عمدتاً در سطح دوم تراکم خاک با جرم حجمی ۱/۲۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب و مقاومت خاک ۰/۷۸ مگا پاسکال حاصل شده است، بطوریکه بیشترین افزایش درصدی غلظت و جذب عناصر به ترتیب برای ازت ۵۳ و ۶، فسفر ۸ و ۶۲، پتاسیم ۱۰ و ۳۵، آهن ۶۴ و ۲۵، منگنز ۳۵ و ۱۱۸، روی ۱۶ و ۷۱ و مس ۱۴ و ۵۰ می‌باشد (جدول ۳، ۴ و ۵). همچنین بیشترین افزایش میزان محصول در سطوح مختلف تراکم در اثر میکوریز آریسکولار به ترتیب برای سطوح اول، دوم و سوم تراکم در مقایسه با شاهد (بدون میکوریز) عبارتند

جدول ۱ - مشخصات خاک مزرعه مورد استفاده در سال اول (تا عمق ۳۰ سانتی متری)

عامل	مقدار	عامل	مقدار	عامل	مقدار
درصد اشباع	۲۹٪	بافت خاک	لوم (۲۳٪ رس، ۳۷٪ سیلت، ۴۰٪ شن)	آهن قابل جذب	۳/۶ (mg/kg)
هدایت الکتریکی	۰/۶۰ (dS/m)	کربن آلی	۰/۴۸٪	منگنز قابل جذب	۱۱/۱۴ (mg/kg)
واکنش گل اشباع	۷/۸۶	فسفر قابل جذب	۱۰/۴ (mg/kg)	روی قابل جذب	۴/۸ (mg/kg)
مواد خنثی شونده	۱۰٪	پتاسیم قابل جذب	۳۱۸ (mg/kg)	مس قابل جذب	۱/۲۸ (mg/kg)

جدول ۲ - مشخصات خاک مزرعه مورد استفاده در سال دوم (تا عمق ۳۰ سانتی متری)

مقدار	عامل	مقدار	عامل	مقدار	عامل
۴/۶۲ (mg/kg)	آهن قابل جذب	لوم رسی	بافت خاک	۳۲٪	درصد اشباع
۱۸/۵ (mg/kg)	منگنز قابل جذب	۰/۵٪	کربن آلی	۱/۶۲ (dS/m)	هدایت الکتریکی
۱/۴۸ (mg/kg)	روی قابل جذب	۶/۱ (mg/kg)	فسفر قابل جذب	۷/۷	واکنش گل اشباع
۱/۳۸ (mg/kg)	مس قابل جذب	۲۵۰ (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب	۱۱٪	مواد خنثی شونده
				۰/۰۵٪	ازت کل

جدول ۳ - اثرات تراکم خاک (C) و میکوریزا (M) بر غلظت عناصر در برگهای ذرت در سال اول

غلظت مس	غلظت روی	غلظت منگنز	غلظت آهن	غلظت پتاسیم	غلظت فسفر	غلظت ازت	میکوریزا	متوسط میزان مقاومت خاک (مگا پاسکال)	سطح تراکم (بار عبور تراکتور)
(میلی گرم در کیلوگرم)			(درصد)						
۷/۵۰bcd	۴۷/۰۰a	۱۴۳abc	۳۲۰a	۱/۳۴b	۰/۲۶a	۱/۹۳abcd	شاهد	۰/۶۵	سطح اول (۰)
۶/۵۰d	۳۷/۲۵abc	۱۰۹cd	۲۹۴a	۱/۳۱b	۰/۲۵a	۱/۷۳cde	گونه اول		
۷/۰۰cd	۲۹/۰۰c	۸۷d	۳۴۲a	۱/۴۹ab	۰/۲۲a	۱/۴۹e	گونه دوم		
۷/۳۳bcd	۳۹/۶۷abc	۱۲۵bcd	۳۳۲a	۱/۳۶b	۰/۲۴a	۱/۹۰abcd	گونه سوم		
۹/۲۵abcd	۳۱/۲۵abc	۱۲۷bcd	۳۳۸a	۱/۵۱ab	۰/۲۳a	۲/۰۸abc	شاهد	۰/۷۸	سطح دوم (۴)
۱۰/۷۵a	۳۶/۵۰abc	۱۷۵ab	۳۰۸a	۱/۴۶ab	۰/۲۳a	۲/۲۰a	گونه اول		
۹/۵۰abc	۳۷/۲۵abc	۱۹۵a	۲۸۵a	۱/۴۱ab	۰/۲۵a	۲/۲۲a	گونه دوم		
۱۰/۰۰ab	۳۱/۷۵bc	۱۳۶bcd	۳۱۲a	۱/۴۹ab	۰/۲۳a	۲/۱۱ab	گونه سوم		
۸/۷۵abcd	۳۷/۲۵abc	۱۱۶cd	۳۲۲a	۱/۵۹a	۰/۲۴a	۱/۷۷bcde	شاهد	۱/۱۲	سطح سوم (۱۲)
۷/۲۵bcd	۴۰/۵۰ab	۱۳۹abcd	۳۲۰a	۱/۵۰ab	۰/۲۵a	۱/۸۲bcde	گونه اول		
۷/۳۳bcd	۳۴/۰۰bc	۱۴۰abcd	۳۲۰a	۱/۴۷ab	۰/۲۲a	۱/۶۷de	گونه دوم		
۶/۷۵cd	۳۶/۲۵abc	۱۳۱bcd	۳۱۲a	۱/۴۴ab	۰/۲۳a	۱/۷۹bcde	گونه سوم		
**	n.s.	**	n.s.	*	n.s.	**			تراکم
n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			میکوریزا
n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			تراکم میکوریزا
n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			مقایسه شاهد و گونه اول
n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			مقایسه شاهد و گونه دوم
n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			مقایسه شاهد و گونه سوم
۲/۸۵	۱۰/۹۸	۵۵	۶۹	۰/۲۱	۰/۰۵	۰/۳۵			($\alpha=0.05$) LSD
۲۰	۶ ⁺	۵ ⁺	۱۹	۹	۱۳	۱۳			ضریب تغییرات

** معنی دار در سطح ۵٪: معنی دار در سطح ۱۰٪

شاهد: بدون میکوریزا

اعداد با حروف غیر یکسان در یک ستون با هم به صورت معنی داری متفاوت می باشند.

گونه سوم: *Glomus mosseae* (Canadian)

گونه دوم: *Glomus etunicatum*

n.s.: از نظر آماری معنی دار نمی باشد
ضریب تغییرات، +: از لگاریتم داده های مورد نظر استفاده شده است.

گونه اول: *Glomus mosseae* (Iranian)

بررسی تأثیر فارجهای میکوریز آربسکولار بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت در شرایط تنش تراکم خاک / ۱۱۱

جدول ۴ - اثرات تراکم خاک (C) و میکوریز (M) بر جذب عناصر در برگیهای ذرت در سال اول

مس	روی	منگنز	آهن	پتاسیم	فسفر	ازت	میکوریز	مقاومت خاک (مگاپاسکال)	سطح تراکم (بار عبور تراکتور)
			(گرم)						
			(میلی گرم)						
۰/۲۹ab	۱/۶۷ab	۵/۳۲ab	۱۱/۲۰a	۰/۴۹ab	۰/۰۹ab	۰/۶۸bc	شاهد	۰/۶۵	سطح اول (۰)
۰/۲۱b	۱/۲۲ab	۳/۶۰b	۹/۸۰a	۰/۴۳b	۰/۰۸ab	۰/۵۸bc	گونه اول		
۰/۲۰b	۰/۸۶b	۲/۵۷b	۱۰/۱۰a	۰/۴۳b	۰/۰۶b	۰/۴۴c	گونه دوم		
۰/۲۶ab	۱/۴۴ab	۴/۶۱b	۱۰/۵۱a	۰/۴۲b	۰/۰۸ab	۰/۶۳bc	گونه سوم		
۰/۳۰ab	۱/۰۳ab	۴/۳۰b	۱۰/۷۹a	۰/۴۹ab	۰/۰۷b	۰/۶۸bc	شاهد	۰/۷۸	سطح دوم (۴)
۰/۴۰ab	۱/۳۹ab	۶/۷۸ab	۱۱/۴۷a	۰/۵۴ab	۰/۰۹ab	۰/۸۱ab	گونه اول		
۰/۴۵a	۱/۷۶a	۹/۴۰a	۱۳/۵۲a	۰/۶۶a	۰/۱۲a	۱/۰۴a	گونه دوم		
۰/۳۹ab	۱/۲۶ab	۵/۲۸ab	۱۲/۳۱a	۰/۵۹ab	۰/۰۹ab	۰/۸۳ab	گونه سوم		
۰/۲۹ab	۱/۲۲ab	۳/۸۴b	۱۰/۴۶a	۰/۵۱ab	۰/۰۸b	۰/۵۷bc	شاهد	۱/۱۲	سطح سوم (۱۲)
۰/۲۸ab	۱/۵۶ab	۵/۴۵ab	۱۱/۹۵a	۰/۵۷ab	۰/۰۹ab	۰/۶۸bc	گونه اول		
۰/۳۲ab	۱/۴۴ab	۶/۳۲ab	۱۲/۴۲a	۰/۵۸ab	۰/۰۹ab	۰/۷۱abc	گونه دوم		
۰/۲۷ab	۱/۴۱ab	۵/۲۲ab	۱۲/۲۰a	۰/۵۶ab	۰/۰۹ab	۰/۷۰bc	گونه سوم		
**	n.s.	**	n.s.	**	n.s.	**			تراکم
n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			میکوریز
n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			تراکم × میکوریز
n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			مقایسه شاهد و گونه اول
n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			مقایسه شاهد و گونه دوم
n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			مقایسه شاهد و گونه سوم
۰/۲۰	۰/۹۰	۴/۲۸	۵/۰۸	۰/۲۲	۰/۰۴	۰/۳۴			LSD ($\alpha=0.05$)

n.s.: از نظر آماری معنی دار نمی باشد

** : معنی دار در سطح ۵٪ : معنی دار در سطح ۱۰٪

اعداد با حروف غیر یکسان در یک ستون با هم شاهد: بدون میکوریز به صورت معنی داری متفاوت می باشند.

گونه اول: *Glomus mosseae* (Iranian) گونه دوم: *Glomus etunicatum* گونه سوم: *Glomus mosseae* (Canadian)

جدول ۵ - درصد افزایش غلظت و جذب عناصر در برگ ذرت در اثر استفاده از گونه های مختلف قارچ وزیکولار-آربسکولار جنس *Glomus* در سطوح مختلف تراکم در سال اول

عنصر	سطح تراکم شاهد			درصد افزایش غلظت عنصر در مقایسه با تیمار شاهد (M1)			درصد افزایش جذب عنصر در مقایسه با تیمار شاهد (M1)		
	شاهد	گونه اول	گونه دوم	شاهد	گونه دوم	گونه سوم	شاهد	گونه اول	گونه دوم
ازت	-	-	-	-	۶	۱/۴	-	-	-
فسفر	-	-	-	-	۸	-	-	-	-
پتاسیم	-	-	-	-	۱۰	۱/۴۷	-	-	-
آهن	-	-	-	-	۶/۴	۳/۹	-	-	-
منگنز	-	-	-	-	۲۷	۲۵	-	-	-

۳۶	۶۵	۴۲	-	۱۱/۴	۱۷	۱۶/۵	-	سطح سوم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح اول	
۲۲	۷۱	۳۵	-	۱/۶	۱۶	۱۴	-	سطح دوم	روی
۱۶	۱۸	۲۸	-	-	-	۸	-	سطح سوم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح اول	
۳۰	۵۰	۳۳	-	۷/۵	۲/۶	۱۴	-	سطح دوم	مس
-	۱۰	-	-	-	-	-	-	سطح سوم	

جدول ۶ - اثرات تراکم خاک (C) و میکوریزا (M) بر غلظت عناصر در برگهای ذرت در سال دوم

غلظت مس	غلظت روی	غلظت منگنز	غلظت آهن	غلظت پتاسیم	غلظت فسفر	غلظت ازت	میکوریزا	متوسط میزان مقاومت خاک (مگاپاسکال)	سطح تراکم (بار عبور تراکتور)
(میلی گرم در کیلوگرم)			(درصد)						
۹/۰۰abc	۹۱bcde	۱۲۹bcde	۱۹۴ab	۱/۹۶abc	۰/۲۲ab	۲/۰۴abc	شاهد	۰/۶۵	سطح اول (۰)
۱۰/۷۵ab	۱۱۵abcd	۱۸۴a	۱۹۱ab	۱/۹۰abc	۰/۲۰abc	۲/۳۵ab	گونه اول		
۸/۰۰bc	۹۰bcde	۱۵۷abc	۱۸۷ab	۱/۶۴c	۰/۲۰abc	۲/۱۶abc	گونه دوم		
۱۰/۰۰abc	۱۱۰abcde	۱۷۹a	۱۹۲ab	۱/۸۲bc	۰/۲۰abc	۲/۳۸a	گونه سوم		
۸/۰۰bc	۷۶e	۱۱۲de	۲۳۱a	۲/۰۴ab	۰/۲۳a	۱/۹۵bc	شاهد	۰/۷۵	سطح دوم (۴)
۱۰/۳۳abc	۹۳bcde	۱۳۱bcde	۱۸۶ab	۱/۹۱abc	۰/۱۸bc	۲/۰۰abc	گونه اول		
۱۱/۳۳a	۱۰۸abcde	۱۶۴ab	۱۹۸ab	۱/۹۱abc	۰/۱۸bc	۲/۱۰abc	گونه دوم		
۱۱/۰۰ab	۱۳۳a	۱۶۰abc	۲۲۴ab	۱/۶۰c	۰/۲۰abc	۲/۳۰ab	گونه سوم		
۷/۵۰c	۸۵cde	۱۱۹cde	۱۶۴b	۲/۱۱ab	۰/۱۹bc	۱/۸۸c	شاهد	۱/۱۲	سطح سوم (۱۲)
۱۱/۰۰abc	۱۱۶abc	۱۵۲abcd	۱۹۵ab	۱/۸۵bc	۰/۱۸bc	۲/۳۴ab	گونه اول		
۱۰/۰۰abc	۱۲۱ab	۱۴۸abcd	۱۹۰ab	۱/۹۲abc	۰/۱۹bc	۲/۲۶abc	گونه دوم		
۹/۷۵abc	۱۰۲bcde	۱۴۶abcd	۱۷۴ab	۱/۶۵c	۰/۱۸bc	۲/۳۹a	گونه سوم		
۸/۰۰bc	۸۰de	۱۰۳e	۱۹۵ab	۲/۲۶a	۰/۲۰abc	۱/۹۵bc	شاهد	۱/۳۸	سطح چهارم (۲۰)
۸/۰۰bc	۷۶e	۱۲۲bcde	۱۹۴ab	۱/۸۳bc	۰/۱۹bc	۲/۱۰abc	گونه اول		
۸/۷۵abc	۹۸bcde	۱۲۸bcde	۲۲۲ab	۲/۰۷ab	۰/۱۸bc	۱/۹۵bc	گونه دوم		
۱۱/۰۰ab	۱۰۲bcde	۱۲۱cde	۲۲۱ab	۲/۰۹ab	۰/۲۰abc	۲/۱۸abc	گونه سوم		
**	**	**	n.s.	**	*	n.s.			تراکم
**	**	**	n.s.	**	*	**			میکوریزا
n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			تراکم × میکوریزا
**	*	**	n.s.	**	**	**			مقایسه شاهدگونه اول
*	**	**	n.s.	**	**	*			مقایسه شاهدگونه دوم
**	**	**	n.s.	**	n.s.	**			مقایسه شاهدگونه سوم
۳/۰۴	۳۶	۳۲	۶۱	۰/۳۸	۰/۰۴	۰/۴۲			ضریب تغییرات
۶*	۴*	۲۰	۱۳*	۱۳	۱۳	۱۲			(α=0.05) LSD

** معنی دار در سطح ۵٪، * معنی دار در سطح ۱۰٪
شاهد: بدون میکوریزا

اعداد با حروف غیر یکسان در یک ستون با هم به صورت معنی داری متفاوت می باشند.

n.s.: از نظر آماری معنی دار نمی باشد
+، از لگاریتم داده های مورد نظر برای محاسبه ضریب تغییرات استفاده شده است.

گونه سوم: *Glomus mosseae* (Canadian)

گونه دوم: *Glomus etunicatum*

گونه اول: *Glomus mosseae* (Iranian)

بررسی تأثیر قارچهای میکوریز آربسکولار بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت در شرایط تنش تراکم خاک / ۱۱۳

جدول ۷- اثرات تراکم خاک (C) و میکوریزا (M) بر جذب عناصر در برگهای ذرت در سال دوم

مس	روی	منگنز	آهن	پتاسیم	فسفر	ازت	میکوریزا	متوسط میزان مقاومت خاک (مگا پاسکال)	سطح تراکم (بار عبور تراکتور)
(میلی گرم)			(گرم)						
۰/۳۳fg	۲/۳۷de	۴/۷۴de	۷/۰۷e	۰/۷۱ef	۰/۰۸fgh	۰/۷۴ef	شاهد	۰/۶۵	سطح اول (۰)
			۱۰/۵۰				گونه اول		
۰/۶۰abc	۶/۲۷abc	۱۰/۱۴a	abcde	۱/۰۵abc	۰/۱۱abc	۱/۳۰abc	گونه دوم		
			۱۰/۲۷				گونه سوم		
۰/۴۴cdef	۵/۰۰bcd	۸/۷۱abc	abcde	۰/۹۱cde	۰/۱۱abcd	۱/۱۸bcd	گونه سوم		
			۱۰/۲۳				شاهد	۰/۷۵	سطح دوم (۴)
۰/۵۳bcde	۵/۸۰abc	۹/۵۸ab	abcde	۰/۹۷cd	۰/۱۱abcd	۱/۲۷abc	گونه اول		
۰/۲۴g	۲/۲۹e	۳/۳۹e	۶/۸۵e	۰/۶۰f	۰/۰۷h	۰/۵۸f	گونه دوم		
			۸/۹۲				گونه سوم		
۰/۵۰bcdef	۴/۵۷bcd	۶/۳۹cde	bcd	۰/۹۱cde	۰/۰۹defgh	۰/۹۵ed	گونه دوم		
			۱۰/۱۱		۰/۰۹		گونه سوم		
۰/۵۹abcd	۵/۶۹abc	۸/۶۷abc	abcde	۰/۹۷cd	cdefgh	۱/۰۹cd	شاهد	۱/۱۲	سطح سوم (۱۲)
			۱۱/۴۸				گونه اول		
۰/۵۵abcde	۷/۴۳a	۸/۳۱abc	abc	۰/۸۱edf	۰/۱۰abcde	۱/۲۰bcd	گونه دوم		
			۷/۹۴		۰/۰۹		شاهد	۱/۲۸	سطح چهارم (۲۰)
۰/۳۷efg	۴/۲۵cde	۵/۹۰cde	cde	۱/۰۵abc	bdefg	۰/۹۴de	گونه اول		
			۱۲/۶۹				گونه دوم		
۰/۷۲a	۷/۵۷a	۱۰/۰۹a	a	۱/۲۱ab	۰/۱۱ab	۱/۵۴a	گونه سوم		
			۱۲/۲۲				شاهد		
۰/۶۴ab	۷/۸۲a	۹/۵۲ab	ab	۱/۲۲a	۰/۱۲a	۱/۴۴ab	گونه اول		
			۱۱/۳۳				گونه دوم		
۰/۶۴ab	۶/۷۱ab	۹/۵۷ab	abcd	۱/۰۸abc	۰/۱۲a	۱/۵۶a	گونه سوم		
			۷/۷۲				شاهد	۱/۲۸	سطح چهارم (۲۰)
۰/۳۲fg	۳/۱۲de	۴/۱۱de	de	۰/۸۷cde	۰/۰۸gh	۰/۷۷ef	گونه اول		
			۱۰/۴۰		۰/۱۰		گونه دوم		
۰/۴۳cdef	۴/۲۲cde	۶/۹۴bcd	abcde	۰/۹۸bcd	abcdef	۱/۱۴bcd	گونه سوم		
			۱۰/۴۰				شاهد		
۰/۴۱defg	۴/۵۲bcd	۵/۹۳cde	abcde	۰/۹۶cd	۰/۰۸efgh	۰/۹۰ed	گونه اول		
			۹/۷۰				گونه دوم		
۰/۴۸bcdef	۴/۳۷cde	۵/۲۱de	abcde	۰/۹۰cde	۰/۰۸efgh	۰/۹۳ed	گونه سوم		
**	**	**	n.s.	**	**	**			تراکم
**	**	**	**	**	**	**			میکوریزا
n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			تراکم × میکوریزا
**	**	**	**	**	**	**			مقایسه شاهد و گونه اول
**	**	**	**	**	**	**			مقایسه شاهد و گونه دوم
**	**	**	**	**	**	**			مقایسه شاهد و گونه سوم
۰/۱۹	۲/۲۳	۳/۰۲	۳/۷	۰/۲۳	۰/۰۲	۰/۲۶			(α=0.05) LSD

** معنی دار در سطح ۵٪؛ * معنی دار در سطح ۱۰٪

شاهد: بدون میکوریزا

n.s.: از نظر آماری معنی دار نمی باشد

اعداد با حروف غیر یکسان در یک ستون با هم به صورت معنی داری متفاوت می باشند.

گونه سوم: *Glomus mosseae* (Canadian)

گونه دوم: *Glomus etunicatum*

گونه اول: *Glomus mosseae* (Iranian)

جدول ۸ - درصد افزایش غلظت و جذب عناصر در برگ ذرت در اثر استفاده از گونه های مختلف قارچ *Glomus* در سطوح مختلف تراکم در سال دوم

عصر	سطح تراکم	شاهد	درصد افزایش غلظت عنصر در مقایسه با تیمار شاهد (MI)			درصد افزایش جذب عنصر در مقایسه با تیمار شاهد (MI)		
			گونه اول	گونه دوم	گونه سوم	شاهد	گونه اول	گونه دوم
ازت	سطح اول	-	-	-	-	-	-	-
	سطح دوم	-	۳	۸	۱۸	-	۱۰۷	۸۹
	سطح سوم	-	۲۴	۲۰	۲۷	-	۶۶	۵۴
	سطح چهارم	-	۸	-	۱۱	-	۲۱	۱۷
فسفر	سطح اول	-	-	-	-	-	-	-
	سطح دوم	-	-	-	-	-	۵۴	۳۴
	سطح سوم	-	-	-	-	-	۲۸	۲۷
	سطح چهارم	-	-	-	-	-	۱۰	۹
پتاسیم	سطح اول	-	-	-	-	-	-	-
	سطح دوم	-	-	-	-	-	۳۴	۶۱
	سطح سوم	-	-	-	-	-	۲	۱۶
	سطح چهارم	-	-	-	-	-	۴	۹
آهن	سطح اول	-	-	-	-	-	-	-
	سطح دوم	-	-	-	-	-	۶۷	۴۸
	سطح سوم	-	۱۸	۱۶	۶	-	۴۳	۵۴
	سطح چهارم	-	-	۱۴	۱۳	-	۲۶	۳۵
منگنز	سطح اول	-	-	-	-	-	-	-
	سطح دوم	-	۱۷	۴۷	۴۳	-	۱۴۵	۱۵۶
	سطح سوم	-	۲۸	۲۵	۲۳	-	۶۲	۶۱
	سطح چهارم	-	۲۰	۲۴	۱۷	-	۲۷	۴۴
روی	سطح اول	-	-	-	-	-	-	-
	سطح دوم	-	۲۴	۲۲	۸۸	-	۳۲۵	۱۴۹
	سطح سوم	-	۳۷	۴۳	۲۳	-	۵۸	۸۴
	سطح چهارم	-	-	۲۲	۲۷	-	۴۰	۴۵
مس	سطح اول	-	-	-	-	-	-	-
	سطح دوم	-	۲۹	۴۲	۳۸	-	۱۲۷	۱۴۶
	سطح سوم	-	۳۷	۳۳	۲۰	-	۷۱	۷۳
	سطح چهارم	-	۰	۹	۲۸	-	۵۰	۲۷

جدول ۹ - اثرات تراکم خاک (C) و میکوریزا (MI) بر مقاومت خاک، ارتفاع گیاهان، وزن تازه و خشک برگها و میزان محصول ذرت در سال اول

میزان محصول (تن در هکتار)	وزن خشک برگها (گرم)	وزن تازه برگها (گرم)	ارتفاع گیاهان ذرت (سانتیمتر)	مقاومت خاک (مگاپاسکال)			تیمار میکوریزا	سطح تراکم (بار عبور تراکتور)
				مقاومت خاک (بار اول)	مقاومت خاک (بار دوم)	مقاومت خاک (بار سوم)		
۸/۱d	۳۶/۲۲ab	۱۰۶/۵۶bc	۱۹۸e	۰/۶۷e	۰/۹۴c	۰/۳۶de	شاهد	سطح اول (۰)
۹/۷cd	۳۳/۲۷b	۹۸/۸۶bc	۲۱۲ de	۰/۸۰de	۰/۸۸cd	۰/۲۸ cde	گونه اول	میانگین سطح دوم (۴)
۱۰/۳cd	۲۹/۳۱b	۸۵/۱۱c	۲۱۱ de	۰/۸۰de	۰/۷۹cd	۰/۳۴e	گونه دوم	
۹/۲cd	۳۱/۰۷b	۹۳/۲۶bc	۲۱۰de	۰/۶۹e	۰/۸۴cd	۰/۳۶ de	گونه سوم	
۹/۳	۳۲/۴۷	۹۵/۹۵	۲۰۸	۰/۷۴	۰/۸۶	۰/۳۶	شاهد	
۱۲/۶abc	۳۲/۴۸b	۹۰/۸۹bc	۲۳۱abc	۱/۰۹bc	۰/۸۶cd	۰/۴۹ bc	گونه اول	میانگین سطح سوم (۱۲)
۱۴/۷ab	۳۷/۰۸ab	۱۱۱/۳۲abc	۲۴۴a	۱/۰۹bc	۰/۷۳d	۰/۴۶cde	گونه دوم	
۱۲/۱bc	۳۶/۹۲a	۱۳۹/۵۰a	۲۴۱ab	۰/۹۵cd	۰/۷۹cd	۰/۴۷bcd	گونه سوم	
۱۶/۰a	۳۹/۳۳ab	۱۲۰/۰۷ab	۲۴۳a	۱/۱۴ab	۰/۸۲cd	۰/۴۷bcd	شاهد	
۱۳/۸	۳۸/۹۵	۱۱۵/۴۴	۲۴۰	۱/۰۷	۰/۸۰	۰/۴۷	گونه اول	میانگین تراکم
۹/۳cd	۳۲/۱۰ b	۹۷/۳۲bc	۲۱۴cde	۱/۸۱ab	۱/۳۱ab	۰/۶۰ab	گونه دوم	
۱۱/۷bcd	۳۷/۱۸ ab	۱۱۹/۸۹ab	۲۲۲cd	۱/۲۵ab	۱/۲۶b	۰/۷۰a	گونه سوم	
۱۱/۸bcd	۴۰/۰۶ ab	۱۱۹/۶۰ab	۲۲۳bcd	۱/۳۶ab	۱/۱۸b	۰/۶۷a	شاهد	
۱۲/۶abc	۳۸/۷۳ ab	۱۱۱/۰۵abc	۲۲۶abcd	۱/۳۰a	۱/۴۱a	۰/۶۳a	گونه اول	میانگین تراکم میکوریزا
۱۱/۳	۳۷/۰۲	۱۱۱/۹۶	۲۲۱	۱/۴۳	۱/۳۰	۰/۶۵	گونه دوم	
**	**	**	**	**	**	**	گونه سوم	
*	n.s.	n.s.	*	n.s.	**	n.s.	تراکم میکوریزا	

بررسی تأثیر قارچهای میکوریزا آریسکولار بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت در شرایط تنش تراکم خاک / ۱۱۵

n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	تراکم میکوریزا
*	n.s.	n.s.	**	n.s.	*	n.s.	مقایسه شاهدگونه اول
n.s.	n.s.	*	**	n.s.	**	n.s.	مقایسه شاهدگونه دوم
**	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	مقایسه شاهدگونه سوم
۳/۹	۱۱/۰۸	۳۲/۵۵	۱۸	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۳	($\alpha=0.1$) LSD
۲۰	۲۰	۱۹	۵	۱۱	۱۱	۱۴	ضریب تغییرات

n.s.: از نظر آماری معنی دار نمی باشد

*: معنی دار در سطح ۱۰٪

** : معنی دار در سطح ۵٪

C.V.: ضریب تغییرات

بدون تراکم C1: تیمار بدون میکوریزا: M1
 ۴ بار عبور تراکتور: C2: M2: *Glomus mossea* (Iranian)
 ۱۲ بار عبور تراکتور: C3: M3: *Glomus etunicatum*
 M4: *Glomus mossea* (Canadian)

ارقام در ستونهای یکسان با حروف غیر یکسان از نظر آماری در سطح ۱۰٪ به صورت معنی دار متفاوت می باشند. این مقایسه توسط تست LSD انجام گردیده است.

جدول ۱۰ - اثرات تراکم خاک (C) و میکوریزا (M) بر مقاومت خاک، ارتفاع گیاهان، وزن تازه و خشک برگها و میزان محصول ذرت در سال دوم

میزان محصول (تن در هکتار)	وزن خشک برگها (گرم)	وزن تازه برگها (گرم)	ارتفاع گیاهان ذرت (سانتیمتر)	مقاومت خاک (بار سوم) (مگاپاسکال)	مقاومت خاک (بار دوم) (مگاپاسکال)	مقاومت خاک (بار اول) (مگاپاسکال)	تیمار میکوریزا	سطح تراکم (بار عبور تراکتور)
۹/۱۴	۲۶/۳gh	۱۲۷/۶۱ def	۲۱۶abc	۰/۷۲ef	۰/۶۱e	۰/۶۸edf	شاهد	سطح اول (۰)
۱۱/۴bcdef	۵۵/۱۵cd	۱۹۰/۲۴a	۲۵۳a	۰/۶۹f	۰/۵۹e	۰/۵۴f	گونه اول	
۱۲/۴abcde	۵۵/۵۳bcd	۱۸۶/۵۶a	۲۵۴a	۰/۷۴ef	۰/۶۴ed	۰/۵۸ef	گونه دوم	
۱۲/۵abcde	۵۲/۲۸d	۱۸۳/۷۹ ab	۲۵۰ab	۰/۷۲ef	۰/۶۶ed	۰/۶۳edf	گونه سوم	
۱۱/۴	۵۰/۰۹	۱۲۲/۰۵	۲۴۳	۰/۷۲	۰/۶۳	۰/۶۱	میانگین	
۱۰/۴ef	۲۹/۶۸h	۱۰۶/۱۵f	۱۶۸ed	۰/۷۴ef	۰/۷۹d	۰/۷۲ed	شاهد	سطح دوم (۴)
۱۳/۷abcd	۴۷/۴۴edf	۱۶۲/۱۱ abc	۲۱۱abcd	۰/۸۱e	۰/۶۸ed	۰/۷۴d	گونه اول	
۱۴/۹a	۵۱/۳۶ed	۱۷۲/۲۸ ab	۱۶۴e	۰/۷۶ef	۰/۷۴ed	۰/۷۴d	گونه دوم	
۱۴/۷ab	۵۱/۵۶ed	۱۶۷/۴۵ ab	۲۰۸abcde	۰/۷۸ef	۰/۷۱ed	۰/۷۴d	گونه سوم	
۱۳/۳	۴۵/۰۱	۱۵۲/۲۵	۱۸۸	۰/۷۸	۰/۷۳	۰/۷۳	میانگین	
۱۱/۰cdef	۵۰/۰۷ed	۱۱۹/۴۴ cf	۱۹۰cde	۱/۱۲cd	۱/۰۲c	۱/۲۰c	شاهد	سطح سوم (۱۲)
۱۳/۸abc	۶۵/۶۰a	۱۶۵/۵۶ abc	۲۲۴abc	۱/۱۹cd	۱/۰۱c	۱/۱۸c	گونه اول	
۱۲/۷abcde	۶۳/۴۰abc	۱۶۴/۰۹ abc	۲۲۱abc	۱/۱۴cd	۱/۰۴bc	۱/۲۴c	گونه دوم	
۱۱/۸bcdef	۶۵/۲۰ab	۱۶۷/۰۲ abc	۲۲۷abc	۱/۱۱d	۰/۹۸c	۱/۲۴c	گونه سوم	
۱۲/۳	۶۱/۰۷	۱۵۴/۰۳	۲۱۶	۱/۱۴	۱/۰۲	۱/۲۱	میانگین	
۱۰/۸cdef	۳۹/۶۳fg	۱۳۷/۶۲ cde	۲۰۵bcde	۱/۲۲abc	۱/۲۱ab	۱/۵۱ab	شاهد	سطح چهارم (۲۰)
۱۳/۷abc	۵۳/۳۲d	۱۷۸/۷۸ ab	۲۲۲abc	۱/۳ab	۱/۳۸a	۱/۶۴a	گونه اول	

۱۰/۹cdef	۴۶/۵yedf	۱۵۴/۲۸ bcd	۲۰۵bcde	۱/۲۹ab	۱/۲a	۱/۳۹b	گونه دوم
۱۰/۶def	۴۳/۴۵efg	۱۵۴/۹۴ bcd	۲۱۵abcd	۱/۳۲a	۱/۲۳a	۱/۶۳ab	گونه سوم
۱۱/۵	۴۵/۷۶	۱۵۶/۳۳	۲۱۲	۱/۲۸	۱/۲۸	۱/۵۷	میانگین
**	**	**	**	**	**	**	تراکم
**	**	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	میکوریزا
n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	تراکم میکوریزا
**	**	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	مقایسه شاهد و گونه اول
**	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	مقایسه شاهد و گونه دوم
**	**	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	مقایسه شاهد و گونه سوم
۳/۸	۹/۶۸	۲۹/۷۰	۴۷	-/۱۲	-/۱۷	-/۱۴	($\alpha=0.1$) LSD
۱۸	۱۴	۱۴	۱۵	۸	۱۳	۸	ضریب تغییرات

n.s.: از نظر آماری معنی دار نمی باشد

*: معنی دار در سطح ۱۰٪

** : معنی دار در سطح ۵٪

C.V.: ضریب تغییرات

M1: تیمار بدون میکوریزا	C1: بدون تراکم
M2: <i>Glomus mossea</i> (Iranian)	C2: ۳ بار عبور تراکتور
M3: <i>Glomus etunicatum</i>	C3: ۱۲ بار عبور تراکتور
M4: <i>Glomus mossea</i> (Canadian)	C4: ۲۰ بار عبور تراکتور

ارقام در ستونهای یکسان با حروف غیر یکسان از نظر آماری در سطح ۱۰٪ به صورت معنی دار متفاوت می باشند. این مقایسه توسط تست LSD انجام گردیده است.

بحث

رس خاک یا وجود بافت لوم (بافت خاک مزرعه مورد استفاده) در خاک باعث افزایش مقاومت خاک در برابر نیروهای اعمال شده (در شرایطی که میزان رطوبت خاک بیشتر باشد) بدون رسیدن به شرایط حاد تراکم می گردد (Sanches-Giron و همکاران، ۱۹۹۸). این دلایل می تواند بیان کننده تفاوت های مشاهده شده بین تیمارهای مختلف تراکم در این آزمایش باشد. در سطوح بالاتر تراکم (سوم و چهارم) از غلظت عناصر در برگ ذرت و همچنین میزان محصول کاسته شده است که علت آن، نیز کاهش رشد ریشه و همچنین آب قابل استفاده و محدودیت تهویه ای خاک می باشد که فرآیند دنیتریفیکاسیون را نیز در پی خواهد داشت (Ishaq و همکاران، ۲۰۰۱؛ Al-Adawi و Reeder، ۱۹۹۶). فرآیند جذب عناصر توسط ریشه گیاه یک فرآیند فعال است و در نتیجه مستلزم صرف اکسیژن جهت تأمین انرژی مورد نیاز می باشد. تیمارهای میکوریزی سبب افزایش غلظت ازت در برگ گردید که با تحقیقات (Strandberg و Johansson، ۱۹۹۹) موافق می باشد. همچنین میکوریزا سبب افزایش جذب روی در گیاه ذرت گردیده است که با پژوهشهای (Chen و همکاران، ۲۰۰۱) هماهنگ می باشد. علت افزایش جذب عناصر در گیاهان همزیست با میکوریزا ممکن است هیفهای میکوریزا باشد که در حجم بیشتری از خاک رشد می نمایند و در نتیجه به

افزایش میزان جرم حجمی بیش از میزان آستانه سبب کاهش رشد ریشه و در نتیجه کاهش جذب آب و عناصر غذایی و در نهایت کاهش میزان محصول از طریق کاهش ریشه های جانبی در قسمتهای عمیق تر خاک می گردد (Kuchenbuch و Ingram، ۲۰۰۴). به همان صورت که در سطوح سوم و چهارم تراکم مشخص می باشد. میزانی از تراکم خاک ممکن است دارای اثرات مثبت بر خصوصیات خاک و در نتیجه رشد گیاه باشد (Arts و Bouwman، ۲۰۰۰؛ Miransari و همکاران، ۲۰۰۴). برای مثال میزانی از تراکم ممکن است باعث بهبود وضعیت خاک به عنوان محیطی برای جوانه زدن و رشد بذر گردد و همچنین باعث کاهش قابلیت فرسایش گردد (Simota و O'Sullivan، ۱۹۹۵). با مقایسه سطوح C₁ و C₂ مشخص می گردد که در سطح دوم تراکم و تیمار بدون میکوریزا غلظت عناصر ازت، پتاسیم، منگنز و مس در سال اول و غلظت پتاسیم و آهن در سال دوم و همچنین میزان محصول در سال اول و دوم افزایش یافته است (جداول ۳، ۶، ۹ و ۱۰). در رطوبت ثابت خاکهایی با مقاومت بیشتر قادر به تحمل استرس تراکم بیشتری می باشند. اهمیت نسبی میزان آب خاک و فشار اعمال شده در فرآیند تراکم به بافت خاک بستگی دارد. در مقایسه با شن افزایش میزان

افزایش میزان محصول را در پی داشته است. بر طبق آنچه بیان گردید میکوریزا قادر به افزایش جذب عناصر غذایی در شرایط تنش تراکم می‌باشد و با افزایش میزان تراکم از این تأثیر کاسته می‌گردد. اگر چه در مقایسه با ریشه گیاه، هیفهای میکوریزا خصوصیات منحصر بفردی همچون قدرت نفوذ در خلل و فرج ریزتر خاکهای متراکم و در نتیجه قابلیت جذب آب و مواد معدنی بیشتری را دارا می‌باشد، ولی همانند ریشه گیاه به اکسیژن نیاز دارند که در شرایط تراکم بالا به علت کمبود میزان اکسیژن از فعالیت قارچهای میکوریزا آربسکولار کاسته می‌گردد (Nadian و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین در اثر افزایش میزان تراکم خاک ممکن است قطر خلل و فرج تا حدی کاهش یابد که دیگر اجازه نفوذ به هیف قارچهای میکوریزی را ندهد. از طرف دیگر در شرایط تراکم بالا ارتباط همزیستی گیاه و میکوریزا آربسکولار به ارتباط شبه انگلی تبدیل شده است. بدین معنی که قارچ مقداری از ترکیبات کربنه گیاه را مصرف کرده بدون اینکه جذب و انتقال عناصر غذایی و آب را به گیاه تسریع بخشد. همچنین نتایج گرفته شده در طی دو سال آزمون مزرعهای نشان می‌دهد که مسئله تراکم خاک در خاکهای با بافت سنگین نسبت به خاکهای با بافت سبک محدودیت بیشتری را برای گیاه بوجود می‌آورد. بطوریکه در سال دوم که آزمون در خاک با بافت لوم رسی انجام پذیرفته است نسبت به سال اول با بافت لوم، تأثیر تیمارهای تراکم مشهودتر بوده و همچنین سیستم همزیستی میکوریزی نیز برای کاهش اثرات تنش بوجود آمده در خاکهای با بافت سنگین از کارایی بهتری برخوردار بوده است (جداول ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷). همزیستی میکوریزا آربسکولار از طریق افزایش راندمان استفاده از عناصر غذایی در خاک بوسیله گیاه از نقطه نظر مسائل زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی قابل توجه بوده و می‌تواند سبب سوق به سمت کشاورزی پایدار گردد.

منابع بیشتری از عناصر در خاک دسترسی می‌یابند (Gupta و Janardhanan، ۱۹۹۱). هیفهای توسعه یافته قارچهای میکوریزا آربسکولار قادر به نفوذ در منافذ و خلل و فرجی از خاک می‌باشند که تارهای کشنده و ریشه‌های موین امکان نفوذ ندارند در نتیجه ناحیه جذب عناصر غیر متحرک همچون فسفر افزایش می‌یابد (Grant و همکاران، ۲۰۰۲). مطابق پژوهشهای (Dell و Marschener، ۱۹۹۴) افزایش فسفر جذب شده در گیاهان همزیست با میکوریزا بخصوص از منابع غیرمحلول فسفر تأثیر بسیاری بر رشد گیاه از خود بر جای می‌گذارد، در این پژوهش قارچهای میکوریزا آربسکولار سبب افزایش جذب فسفر در سطوح مختلف تراکم گردیده است که با افزایش تراکم از این تأثیر کاسته شده است.

ریشه دهی سریع و عمیق گیاه می‌تواند تأثیر خوبی در جذب مواد غذایی متحرکی همچون نترات قبل از حرکت این عناصر به زیر عمق ریشه داشته باشد. از طرف دیگر گسترده شدن ریشه سطحی و اثر متقابل آن با میکوریزا ممکن است برای جذب عناصر با تحرک کمتر همچون فسفر پتاسیم و روی که تمایل به تجمع در سطح خاک دارند، مهمتر باشد (Grant و همکاران، ۲۰۰۲). در خاکهای با غلظت کم فسفر، بکارگیری همزیستی میکوریزی موجب افزایش جذب فسفر می‌گردد. جذب عناصر غذایی در گیاه گندم دارای میکوریزا در مقایسه با گیاهان بدون میکوریزا در شرایط تنش رطوبتی افزایش یافته است (Clark، ۱۹۹۷). بطور مشابه در ذرت دارای همزیستی میکوریزی نیز میزان جذب آهن در خاکهای آهکی افزایش یافته که با نتایج این پژوهش هماهنگ می‌باشد (Clark و همکاران، ۲۰۰۰).

مقایسه غلظت و جذب عناصر غذایی در سطوح مختلف تراکم هم بار دیگر نشان دهنده اثر مثبت قارچهای میکوریزا آربسکولار بر رشد گیاه ذرت می‌باشد، بدین معنی که میکوریزا تقریباً در اکثر سطوح تراکم سبب افزایش جذب عناصر غذایی گردیده و به عبارت دیگر میکوریزا با افزایش جذب عناصر غذایی افزایش رشد گیاه و در نتیجه

فهرست منابع:

۱. رجالی، ف. ۱۳۸۲. تهیه مایه تلقیح قارچهای میکوریزا آربسکولار به روش درون شیشه ای و بررسی اثر آن در افزایش جذب عناصر غذایی در گیاه گندم با تنش خشکی. رساله نامه دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
۲. رضایی، ل. ۱۳۸۲. اثر همزیستی سه گانه مایکوریزا-ریزوبیوم-لگوم در افزایش جذب عناصر غذایی و مقاومت به خشکی در گیاه یونجه تحت تنش رطوبتی. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

۳. شیرانی، ا. ع.، علیزاده، هاشمی دزفولی. ۱۳۷۹. بررسی اثر قارچ میکوریز و سیکولار-آربسکولار، فسفر و تنش خشکی بر کارایی جذب عناصر غذایی در گیاه گندم. نشریه علمی پژوهشی نهال و بذر جلد ۱۶ شماره ۳. ص ۳۲۷ تا ۳۴۹. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر.
۴. شیرانی، ا. ع.، علیزاده، هاشمی دزفولی. ۱۳۷۹. بررسی قارچ میکوریز و سیکولار-آربسکولار، باکتری *Bradyrhizobium japonicum* و فسفر بر کارایی جذب برخی از عناصر غذایی در سویا. نشریه علمی پژوهشی نهال و بذر. جلد ۱۶ شماره ۲. ص ۱۷۲ تا ۱۹۱، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر.
۵. علی اصغرزاده، ن. ۱۳۷۹. بررسی پراکنش و تراکم جمعیت قارچهای میکوریز آربسکولار در خاکهای شور دشت تبریز و تعیین اثرات تلقیح آنها در بهبود تحمل پیاز و جو به تنش شوری. پایان نامه دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.
7. Al-Adawi, S. S. and R. C. Reeder. 1996. Compaction and subsoiling effects on corn and soybean yields and soil physical properties. Trans. ASAE, 39: 1641-1649.
8. Amora-Lazcano, E., M. M. Vazquez, R. Azcon. 1998. Response of nitrogen transforming microorganisms to arbuscular mycorrhizal fungi. Biology and Fertility of Soils, 27: 65-70.
9. Amora-Lazcano, R. and R. Azcon. 1997. Response of sulfur cycling microorganisms to arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of maize. Applied Soil Ecology, 6: 217-222.
10. Amora-Lazcano, E., M. M. Vazquez, R. Azcon. 1998. Response of nitrogen transforming microorganisms to arbuscular mycorrhizal fungi. Biology and Fertility of Soils, 27: 65-70.
11. Berta, G., A. Trotta, A. Fusconi, J. E. Hooker, M. Munro, D. Arkinson, M. Giovannetti, S. Morini, P. Furtuna, B. Tisserant, V. Gianinazzi-Pearson, S. Gianinazzi. 1995. Arbuscular mycorrhizal induced changes to plant growth and root system morphology in *Prunus cerasifera*. Tree Physiology, 15: 281-293.
12. Boone, F. R., J. Bouma, and L. A. de Smet. 1978. A case study on the effect of compaction on potato growth in a loamy sand soil. I. Physical measurements and rooting patterns. Netherland Journal of Agricultural Sciences, 26: 405-420.
13. Bouwman, L. A., Arts W.B.M. (2000). Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties. Applied Soil Ecology, 14: 213-222.
14. Brundett, M. C., D. A. Jasper, N. Ashwath. 1999. Glomalean mycorrhizal fungi from tropical Australia II. The effect of nutrient levels and host species on the isolation of fungi. Mycorrhiza, 8: 315-321.
15. Chen, B., Chrisite, P., Li, X. 2001. A modified glass bead compartment cultivation system for studies on nutrient and trace metal uptake by arbuscular mycorrhiza. Chemosphere, 42: 185-192.
16. Clark, R. B. 1997. Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. Plant and Soil, 192: 15-22.
17. Clark, R. B. and S. K. Zeto. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. Journal of Plant Nutrition. 23: 867-902.
18. Grant, C. A., G.A. Peterson, C. A. Campbell. 2002. Nutrient Considerations for Diversified Cropping Systems in the Northern Great Plains. Agronomy Journal, 94: 186-198.
19. Gupta, M. L., K. K. Janardhanan. 1991. Mycorrhizal association of *Glomus aggregatum* with palmarosa enhances growth and biomass. Plant and Soil, 131: 261-263.
20. Faber, B. A., R. J. Zasoski, R. G. Burau, K. Uriu. 1990. Zinc uptake by corn as affected by vesicular arbuscular mycorrhizae. Plant and Soil, 129: 121-130.

21. Feldmann, F. and Idczak, E. (1992). Inoculum production of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for use in tropical nurseries. *Methods in Microbiology*, pp. 339-357. Volume 24. Academic Press Limited.
22. Hakansson, I., W. B. Voorhees. 1998. Soil Compaction. *In* Lal, R., W.H. Blum, C. Valentine, B.A. Stewart (Eds.), *Methods for Assessment of Soil Degradation*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 167-179.
23. Horn, R., H. Domzal, Anna Slowinska-Jurkiewicz and C. van Ouwerkerk. 1995. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and environment. *Soil and Tillage Research*, 35: 23-36.
24. Ishaq, M., M. Ibrahim, A. Hassan, M. Saeed, R. Lal. 2001. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan. II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. *Soil Tillage research*. 60: 153-161.
25. Jensen, L. S., D. J. McQueen and T. G. Shepherd. 1996. Effects of soil compaction on N-mineralization and microbial-C and -N. I. Field measurements. *Soil and Tillage Research*, 38: 175-188.
26. Kuchenbuch, R. and K. T. Ingram. 2004. Effects of soil bulk density on seminal and lateral roots of young maize plants (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167 (2) 229-235.
27. Mahaveer, P. S., Singh, R., Adholeya, A. 2000. Laboratory manual for basic techniques in arbuscular mycorrhizal research. Center for Mycorrhizal Research, Tata Energy Research Institute, New Dehli.
28. Marschener, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, second ed., Academic Press, London.
29. Marschener, H. and B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*. 159: 89-102.
30. Miransari M., H. A. Bahrami, M. J. Malakouti, D. Smith, F. Rejali. 2004. Proceedings of the 4th International Iran and Russia Conference "Agriculture and Natural Resources".
31. Nadian, H., Smith, S. E., Alston, A. M., Murray, R. S. 1996. The effects of soil compaction on growth and P uptake by *Trifolium subterraneum*: Interactions with mycorrhizal colonisation. *Plant and Soil*, 182(1): 39-49.
32. Nadian, H. S. E. Smith, A. M. Alston and R. S. Murray. 1997. Effects of soil compaction on plant growth, phosphorous uptake and morphological characteristics of vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization of *Trifolium subterraneum*. *New Phytologist*, 135: 303-311.
33. Nadian H., S. E. Smith, A. M. Alston, R. S. Murray and B. D. Siebert .1998. Effects of soil compaction on phosphorus uptake and growth of *Trifolium subterraneum* colonized by four species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi *Cambridge Journals Online*. 140: 155-165.
34. O'Sullivan, M. F., Simota. C. (1995). Modelling the environmental impacts of soil compaction: a review. *Soil and Tillage Research*, 35: 69-84.
35. Sanchez-Giron, V., Andreu, E., Hernanz, J. L. (1998). Response of five types of soil to simulated compaction in the form of confined uniaxial compression tests. *Soil and Tillage Research*, 48:37-50.
36. Sas Institute Inc. 1990. *SAS/STAT user's guide*. Version 6. Fourth Edition. Statistical Analysis Institute Inc., Cary North Carolina.
37. Sood S. G. 2003. Chemotactic response of plant-growth-promoting bacteria towards roots of vesicular-arbuscular mycorrhizal tomato plants. *FEMS Microbiology Ecology*, 45(3): 219-227.
38. Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. *Principles and procedures of statistics: A biometrical approach*. Second edition, McGraw-Hill Book Company.

39. Strandberg, M., M. Johanson. 1999. Uptake of nutrients in *Calluna vulgaris* seed plants grown with and without mycorrhiza. *Forest Ecology and Management*, 114: 129-135.
40. Subramanian, K. S. and C. Charest. 1999. Acquisition of N by external hyphae of an arbuscular mycorrhizal fungus and its impact on physiological responses in maize under drought-stressed and well-watered conditions. *Mycorrhiza*, 9: 69-75.
41. Sylvia, D. 2003. <http://dmsylvia.ifas.ufl.edu/mycorrhiza.htm>. University of Florida, U.S.A.
42. Sylvia, D. M., and S. E. Williams. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stresses. *In* *Mycorrhiza in Sustainable Agriculture*. G. Bethlenfalvay and R. Linderman (eds). Special Publication Number 54, American Society of Agronomy, Madison, WI. Pp. 101-124.
43. 42. Toshihiro Aono, Maldonado-Mendoza, I. E, Dewbre, G. R., Harrison, M. J. and Saito, M. 2004. Expression of alkaline phosphatase genes in arbuscular mycorrhizas. *New phytologist*. 162: 525-534.

Evaluating the Effects of Arbuscular Mycorrhizae on Nutrient Uptake and Corn Yield in A Compacted Soil¹

M. Miransari, H. A. Bahrami, F. Rejali, and M. J. Malakouti²

Abstract

The continuous use of agricultural machinery in the field results in soil compaction with many long term effects on the physical and chemical properties of the soil and in the case of improper field management may alter and deteriorate soil physical properties. For example the alteration of root depth that results from soil compaction influences water and nutrient uptake as well as the amount of energy and fertilizer used in crop production and eventually affects the environmental conditions, soil fertility and economic returns because soil compaction reduces nutrient uptake and hence decreases plant yields. Biological methods that employ symbiotic fungi (arbuscular mycorrhizae, AM) may be considered to reduce the stressful effects of soil compaction on plant growth. Based on these considerations two years of field experiments were conducted using different species of arbuscular mycorrhiza to reduce the effects of soil compaction on corn nutrient uptake and yield. The experiments were conducted in the research field of Soil and Water Research Institute in Meshkin-Dasht, Karaj using three levels of compaction (in the first year) and three species of arbuscular mycorrhiza in four replicates. In the second year, with regard to the first year's results, an extra level of compaction was added. Using a penetrometer, soil resistance for different soil compaction treatments at certain soil moistures was measured. Soil bulk density was also measured. Corn height, leaf fresh and dry weights and corn yield as well as concentrations of N, P, K, Fe, Mn, Zn and Cu in corn leaf were measured. The results demonstrated that compaction treatments were significantly different. AM treatments significantly increased corn growth parameters and yield. In AM treatments nutrient uptake increased at different levels of soil compaction, though the effectiveness of AM decreased with increasing compaction. It may be concluded that, through increasing nutrient uptake, AM decreases the stressful effects of soil compaction on corn growth resulting in increased corn yield, and this effect may be more pronounced in the medium levels of compaction.

Keywords: Soil compaction, Arbusccular mycorrhizae, Nutrient uptake, Corn (*Zea mays* L.).

1- This paper is taken from a Ph.D. thesis in soils, Tarbiat Modares University. Ph.D. in Soil Science.

2- Associate professor, Tarbiat Modares University; Research Associate Professor at Soil and Water Research Institute; Professor of Soil Science, Tarbiat Modares University, respectively.