

بررسی تأثیر قارچهای میکوریز آربسکولار بر جذب عناصر غذایی و عملکرد ذرت در

شرایط تنش تراکم خاک

محمد رضا میرانصاری مهابادی، حسینعلی بهرامی، فرهاد رجالی و محمدجعفر ملکوتی^{*1}

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 مبنا 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 نفوذسنج (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.)

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: 83/10/19 و تصویب: 84/10/22

مقدمه

تراکم خاک عبارتست از فشردگی خاک در اثر نیروهای وارده که در ابتدا موجب نظم جدید خاکدانه‌ها و سپس 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 ایجاد شده از طریق وسیله مورد نظر و خصوصیات خاک همچون بافت خاک، ساختمان خاک و میزان آب خاک (Hakansson و Voorhees, 1998). 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، 1978). 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، 1998). 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 80% 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, 1992). 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, 2003). 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، 1995). 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 از اثرات سوء تنش تراکم خاک بر رشد گیاه بکاهد. میسلیوم 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, 1994). 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, 1999; Faber و همکاران، 1990). 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, 1997; Amora-Lazcano و همکاران، 1998; Marschener, 1995). 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، 1999). 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، 1997). 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، 1379) باعث افزایش جذب فسفر و روی در گیاه گندم با تنش خشکی (رجالی، 1382)، 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، 1382). همچنین در شرایط تنش شوری استفاده از این قارچهای همزیست با ریشه منجر به افزایش میزان

طی یک دوره رویشی 4 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, 1992). در تاریخ شانزدهم تیرماه 1382 کاشت بذرهاى ذرت (واريته 704) در کرتهايي به ابعاد 2/4 در 4 مترکه قبلاً سطوح مختلف تراکم در آنها اعمال گردیده بود انجام گرفت، در هر کرت 4 ردیف کشت به فواصل 60 سانتی متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. فاصله محل کاشت بذرها از همدیگر بر روی هر ردیف 20 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, 1992) (*Glomus mossea*(M2) جداسازی شده از خاکهای ایران، *Glomus etunicatum*(M3) جدا سازی شده از خاکهای ایران، *Glomus mossea*(M4) (Glomales in vitro Collection) 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 میکوریز (M1) نیز اعمال گردید. مقدار مایه تلقیح مصرف شده 1/6 گرم (به صورت شن استریل حاوی 10 ± 80 اندام فعال قارچی) به ازاء هر بذر بود (Sood, 2003; Toshiihiro, 2004). در زمانهای لازم مزرعه آبیاری گردید. بعد از سبز شدن بذرها، کود ازته از منبع اوره به میزان 260 کیلوگرم در هکتار، کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم به میزان 160 کیلوگرم در هکتار و کود فسفره از منبع سوپرفسفات تریپل به میزان 40 کیلوگرم در هکتار بر اساس آزمون خاک به صورت سطحی اضافه گردید.

ج - شاخصهای بررسی

برداشت در تاریخ پنجم و هفتم آبان ماه 1382 و 1383 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 1382 و 1383 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

وزن خشک اندام هوایی گیاه جو و وزن تر غده پیاز به صورت معنی‌داری گردیده است (علی اصغر زاده، 1379). 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 - آریسکولار و نقش آنها در جبران بخشی از کاهش بوجود آمده در سطح 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 1382 و 1383 انجام گرفت. برای تعیین ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی از خاک مزارع نمونه‌برداری تا عمق 30 سانتی‌متری انجام گرفت و تجزیه‌های لازم صورت پذیرفت (جداول 1 و 2). برای ایجاد تراکم از تراکتور John Deere مدل 3140 (با وزن 3986 کیلوگرم و عرض تایر 40 سانتی متر) با سرعت 1 متر در ثانیه استفاده گردید (Jensen و همکاران، 1996). به این صورت که از تعداد دفعات عبور تراکتور در رطوبت مشخص (7/2 و 2/3% به ترتیب در سال اول و دوم) خاک لوم (سال اول) و لوم رسی (سال دوم) برای متراکم نمودن مزرعه تا عمق حداقل 30 سانتی‌متر استفاده شد. تیمارهای اعمال شده عبارت بودند از بدون عبور (C1)، 4 بار عبور (C2) و 12 بار عبور (C3) در سال اول و در سال دوم سطح 20 بار عبور تراکتور (C4) نیز اضافه گردید. سطوح C3 و C4 به منظور بیشتر فشردن خاک و همچنین فشردن نمودن خاک تا عمق نفوذ ریشه ذرت اعمال گردید (Hom و همکاران، 1995). 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

و مس 14 و 50 می باشد (جدول 3، 4 و 5). همچنین بیشترین افزایش میزان محصول در سطوح مختلف تراکم در اثر میکوریز آربسکولار به ترتیب برای سطوح اول، دوم و سوم تراکم در مقایسه با شاهد (بدون میکوریز) عبارتند از 27، 27 و 35 درصد (جدول 9). 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 آربسکولار در سطح دوم تراکم با جرم حجمی 1/28 گرم بر سانتی متر مکعب و میزان مقاومت 0/75 مگاپاسکال بدست آمد. همچنین اثر اعمال تیمارهای تراکم و قارچهای میکوریز آربسکولار در سطوح آماری در نظر گرفته شده معنی دار گردید (جدول شماره 7). 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 107 و 21، فسفر 54 و 10، پتاسیم 61 و 9، آهن 67 و 26، منگنز 156 و 44، روی 225 و 45 و مس 146 و 27 (جدول 7، 8). 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 آربسکولار به ترتیب برای سطوح اول، دوم، سوم و چهارم تراکم در مقایسه با شاهد (بدون میکوریز) عبارت بودند از 37، 43، 25 و 27 درصد (جدول 10).

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 کرتها اصلی و گونه‌های میکوریزا به عنوان کرتها فرعی در نظر گرفته شد. با استفاده از برنامه آنالیز آماری SAS (SAS Institute Inc، 1988) داده‌های آزمایش تجزیه و تفاوت بین تیمارهای مختلف مشخص گردید. با استفاده از روش آماری GLM و تست LSD میانگینها مقایسه گردیدند (Steel و Torrie، 1980).

نتایج

جرم حجمی‌های اندازه‌گیری شده در سال اول برای سطوح بدون عبور تراکتور، 4 و 12 بار عبور تراکتور به ترتیب عبارت بودند از 1/20، 1/27 و 1/46 گرم بر سانتی‌متر مکعب و در سال دوم برای سطوح بدون عبور تراکتور، 4، 12 و 20 بار عبور تراکتور به ترتیب عبارت بودند از 1/19، 1/28، 1/44 و 1/51 گرم بر سانتی‌متر مکعب که نشان دهنده متراکم شدن خاک در اثر اعمال تیمارهای تراکم می‌باشد. میکوریز آربسکولار به صورت معنی‌داری (در سطح 10%) سبب افزایش ارتفاع، وزن تازه و میزان محصول ذرت گردید (جدول 9، 10). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین تأثیر ناشی از بکارگیری قارچهای میکوریز آربسکولار در سال اول عمدتاً در سطح دوم تراکم خاک با جرم حجمی 1/27 گرم بر سانتی متر مکعب و مقاومت خاک 0/78 مگا پاسکال حاصل شده است، بطوریکه بیشترین افزایش درصدی غلظت و جذب عناصر به ترتیب برای ازت 53 و 6، فسفر 8 و 62، پتاسیم 10 و 35، آهن 6/4 و 25، منگنز 35 و 118، روی 16 و 71

جدول 1 - مشخصات خاک مزرعه مورد استفاده در سال اول (تا عمق 30 سانتی متری)

عامل	مقدار	عامل	مقدار	عامل	مقدار
درصد اشباع	29%	لوم (23% ر، 37% س، 40% شن)	3/6 (mg/kg)	آهن قابل جذب	3/6 (mg/kg)
هدایت الکتریکی	0/60 (dS/m)	0/48%	11/14 (mg/kg)	منگنز قابل جذب	11/14 (mg/kg)
واکنش گل اشباع	7/86	10/4 (mg/kg)	4/8 (mg/kg)	روی قابل جذب	4/8 (mg/kg)
مواد خنثی شونده	10%	318 (mg/kg)	1/28 (mg/kg)	مس قابل جذب	1/28 (mg/kg)

جدول 2 - مشخصات خاک مزرعه مورد استفاده در سال دوم (تا عمق 30 سانتی متری)

مقدار	عامل	مقدار	عامل	مقدار	عامل
4/62 (mg/kg)	آهن قابل جذب	لوم رسی	بافت خاک	32%	درصد اشباع
18/5 (mg/kg)	منگنز قابل جذب	0/5%	کربن آلی	1/62 (dS/m)	هدایت الکتریکی
1/48 (mg/kg)	روی قابل جذب	6/1 (mg/kg)	فسفر قابل جذب	7/7	واکنش گل اشباع
1/38 (mg/kg)	مس قابل جذب	250 (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب	11%	مواد خنثی شونده
				0/05%	ازت کل

جدول 3 - 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 (مکاپاسکال)	سطح تراکم (بار عبور تراکتور)
(میلی گرم در کیلوگرم)							(درصد)		
7/50bcd	47/00a	143abc	320a	1/34b	0/26a	1/93abcd	شاهد	0/65	سطح اول (0)
6/50d	37/25abc	109cd	294a	1/31b	0/25a	1/73cde	گونه اول		
7/00cd	29/00c	87d	342a	1/49ab	0/22a	1/49e	گونه دوم		
7/33bcd	39/67abc	125bcd	333a	1/36b	0/24a	1/90abcd	گونه سوم		
9/25abcd	31/25bc	127bcd	338a	1/51ab	0/23a	2/08abc	شاهد	0/78	سطح دوم (4)
10/75a	36/50abc	175ab	308a	1/46ab	0/23a	2/20a	گونه اول		
9/50abc	37/25abc	195a	285a	1/41ab	0/25a	2/22a	گونه دوم		
10/00ab	31/75bc	136bcd	312a	1/49ab	0/23a	2/11ab	گونه سوم		
8/75abcd	37/25abc	116cd	322a	1/59a	0/24a	1/77bcde	شاهد	1/12	سطح سوم (12)
7/25bcd	40/50ab	139abcd	320a	1/50ab	0/25a	1/82bcde	گونه اول		
7/33bcd	34/00bc	140abcd	320a	1/47ab	0/22a	1/67de	گونه دوم		
6/75cd	36/25abc	131bcd	313a	1/44ab	0/23a	1/79bcde	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
2/85	10/98	55	69	0/21	0/05	0/35			LSD ($\alpha=0.05$)
20	6 [†]	5 [†]	19	9	13	13			ضریب تغییرات

** : معنی دار در سطح 5%؛ * : معنی دار در سطح 10%

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*

گونه اول: *Glomus mosseae* (Iranian)

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

جدول 4 - اثرات تراکم خاک (C) و میکوریزا (M) بر جذب عناصر در برگهای ذرت در سال اول

مس	روی	منگنز	آهن	پتاسیم	فسفر	ازت	میکوریزا	مقاومت خاک (مگا پاسکال)	سطح تراکم (بار عبور تراکتور)
(میلی گرم)			(گرم)						
0/29ab	1/67ab	5/32ab	11/20a	0/49ab	0/09ab	0/68bc	شاهد	0/65	سطح اول (0)
0/21b	1/22ab	3/60b	9/80a	0/44b	0/08ab	0/58bc	گونه اول		
0/20b	0/86b	2/57b	10/10a	0/44b	0/06b	0/44c	گونه دوم		
0/26ab	1/44ab	4/61b	10/51a	0/42b	0/08ab	0/63bc	گونه سوم		
0/30ab	1/03ab	4/30b	10/79a	0/49ab	0/07b	0/68bc	شاهد	0/78	سطح دوم (4)
0/40ab	1/39ab	6/78ab	11/47a	0/54ab	0/09ab	0/81ab	گونه اول		
0/45a	1/76a	9/40a	13/52a	0/66a	0/12a	1/04a	گونه دوم		
0/39ab	1/26ab	5/38ab	12/31a	0/59ab	0/09ab	0/83ab	گونه سوم		
0/29ab	1/22ab	3/84b	10/46a	0/51ab	0/08b	0/57bc	شاهد	1/12	سطح سوم (12)
0/28ab	1/56ab	5/45ab	11/95a	0/57ab	0/09ab	0/68bc	گونه اول		
0/32ab	1/44ab	6/32ab	12/42a	0/58ab	0/09ab	0/71abc	گونه دوم		
0/27ab	1/41ab	5/22ab	12/20a	0/56ab	0/09ab	0/70bc	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.	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.			مقایسه شاهد و گونه دوم
n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			مقایسه شاهد و گونه سوم
0/20	0/90	4/28	5/08	0/22	0/04	0/34			($\alpha=0.05$) LSD

n.s.: از نظر آماری معنی دار نمی باشد **: معنی دار در سطح 5%؛ * معنی دار در سطح 10%

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

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

جدول 5 - 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

عناصر	درصد افزایش غلظت عنصر در مقایسه با تیمار شاهد (M1)			درصد افزایش جذب عنصر در مقایسه با تیمار شاهد (M1)			سطح تراکم	شاهد
	گونه اول	گونه دوم	گونه سوم	شاهد	گونه اول	گونه دوم		
ازت	-	-	-	-	-	-	سطح اول	-
	6	6	6	-	1/4	6	سطح دوم	-
	2/7	-	2/7	-	1/1	-	سطح سوم	-
فسفر	-	-	-	-	-	-	سطح اول	-
	-	8	-	-	-	8	سطح دوم	-
	-	4	-	-	1/47	10	سطح سوم	-
پتاسیم	-	-	-	-	-	-	سطح اول	-
	-	-	-	-	-	-	سطح دوم	-
	-	-	-	-	-	-	سطح سوم	-
آهن	-	-	-	-	-	-	سطح اول	-
	-	-	-	-	3/9	6/4	سطح دوم	-
	-	-	-	-	-	-	سطح سوم	-
منگنز	-	-	-	-	-	-	سطح اول	-
	-	-	-	-	-	-	سطح دوم	-
	-	-	-	-	-	-	سطح سوم	-
	26	118	58	-	6/6	35	27	-

36	65	42	-	11/4	17	16/5	-	سطح سوم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح اول	
22	71	35	-	1/6	16	14	-	سطح دوم	روی
16	18	28	-	-	-	8	-	سطح سوم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح اول	
30	50	33	-	7/5	2/6	14	-	سطح دوم	مس
-	10	-	-	-	-	-	-	سطح سوم	

جدول 6 - 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 (مگا پاسکال)	سطح تراکم (بار عبور تراکتور)
(میلی گرم در کیلوگرم)			(درصد)						
9/00abc	91bcde	129bcde	194ab	1/96abc	0/22ab	2/04abc	شاهد	0/65	سطح اول (0)
10/75ab	115abcd	184a	191ab	1/90abc	0/20abc	2/35ab	گونه اول		
8/00bc	90bcde	157abc	187ab	1/64c	0/20abc	2/16abc	گونه دوم		
10/00abc	110abcde	179a	192ab	1/82bc	0/20abc	2/38a	گونه سوم		
8/00bc	76e	112de	231a	2/04ab	0/23a	1/95bc	شاهد	0/75	سطح دوم (4)
10/33abc	94bcde	131bcde	186ab	1/91abc	0/18bc	2/00abc	گونه اول		
11/33a	108abcde	164ab	198ab	1/91abc	0/18bc	2/10abc	گونه دوم		
11/00ab	143a	160abc	224ab	1/60c	0/20abc	2/30ab	گونه سوم		
7/50c	85cde	119cde	164b	2/11ab	0/19bc	1/88c	شاهد	1/12	سطح سوم (12)
11/00ab	116abc	152abcd	195ab	1/85bc	0/18bc	2/34ab	گونه اول		
10/00abc	121ab	148abcd	190ab	1/92abc	0/19bc	2/26abc	گونه دوم		
9/75abc	103bcde	146abcd	174ab	1/65c	0/18bc	2/39a	گونه سوم		
8/00bc	80de	103e	195ab	2/26a	0/20abc	1/95bc	شاهد	1/38	سطح چهارم (20)
8/00bc	76e	124bcde	194ab	1/83bc	0/19bc	2/10abc	گونه اول		
8/75abc	98bcde	128bcde	223ab	2/07ab	0/18bc	1/95bc	گونه دوم		
11/00ab	102bcde	121cde	221ab	2/09ab	0/20abc	2/18abc	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 شاهد و گونه اول
*	**	**	n.s.	**	**	*			مقایسه شاهد و گونه دوم
**	**	**	n.s.	**	n.s.	**			مقایسه شاهد و گونه سوم
3/04	36	42	61	0/38	0/04	0/42			LSD ($\alpha=0.05$)
6 ⁻	4 ⁺	20	13 ⁺	13	13	12			ضریب تغییرات

** معنی دار در سطح 5%، * معنی دار در سطح 10%

شاهد: بدون میکوریزا

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

گونه دوم: *Glomus etunicatum*

گونه سوم: *Glomus mosseae* (Canadian)

n.s. : از نظر آماری معنی دار نمی باشد

، + : از لگاریتم داده های مورد نظری برای محاسبه ضریب تغییرات استفاده شده است.

گونه اول: *Glomus mosseae* (Iranian)

جدول 7- اثرات تراکم خاک (C) و میکوریزا (M) بر جذب عناصر در برگهای ذرت در سال دوم

مس	روی	منگنز	آهن	بتاسیم	فسفر	ازت	میکوریزا	متوسط میزان مقاومت خاک (مکاپاسکال)	سطح تراکم (بار عبور تراکتور)
(میلی گرم)			(گرم)						
0/33fg	3/37de	4/74de	7/07e	0/71ef	0/08fgh	0/74ef	شاهد	0/65	سطح اول (0)
0/60abc	6/27abc	10/14a	10/50 abcde	1/05abc	0/11abc	1/30abc	گونه اول		
0/44cdef	5/00bcd	8/71abc	10/27 abcde	0/91cde	0/11abcd	1/18bcd	گونه دوم		
0/53bcde	5/80abc	9/58ab	10/23 abcde	0/97cd	0/11abcd	1/27abc	گونه سوم		
0/24g	2/29e	3/39e	6/85e 8/92b	0/60f	0/07h	0/58f	شاهد	0/75	سطح دوم (4)
0/50bcdef	4/57bcd	6/39cde	cde 10/11	0/91cde	0/09defgh	0/95ed	گونه اول		
0/59abcd	5/69abc	8/67abc	abcde 11/48	0/97cd	0/09cdefg h	1/09cd	گونه دوم		
0/55abcde	7/43a	8/31abc	abc 7/94c	0/81edf	0/10abcde	1/20bcd	گونه سوم		
0/37efg	4/25cde	5/90cde	de 12/69	1/05abc	0/09bcdef g	0/94de	شاهد	1/12	سطح سوم (12)
0/72a	7/57a	10/09a	a 12/22	1/21ab	0/11ab	1/54a	گونه اول		
0/64ab	7/82a	9/52ab	ab 11/33	1/22a	0/12a	1/44ab	گونه دوم		
0/64ab	6/71ab	9/57ab	abcd 7/72d	1/08abc	0/12a	1/56a	گونه سوم		
0/32fg	3/12de	4/11de	e 10/40	0/87cde	0/08gh	0/77ef	شاهد	1/38	سطح چهارم (20)
0/43cdef	4/22cde	6/94bcd	abcde 10/40	0/98bcd	0/10abcde f	1/14bcd	گونه اول		
0/41defg	4/53bcd	5/93cde	abcde 9/70a	0/96cd	0/08efgh	0/90ed	گونه دوم		
0/48bcdef	4/37cde	5/21de	bcde	0/90cde	0/08efgh	0/93ed	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
0/19	2/23	3/02	3/7	0/23	0/02	0/26			(α=0.05) LSD

** : معنی دار در سطح 5% : معنی دار در سطح 10%

n.s. : از نظر آماری معنی دار نمی باشد

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*

گونه اول: *Glomus mosseae* (Iranian)

جدول 8 - درصد افزایش غلظت و جذب عناصر در برگ ذرت در اثر استفاده از گونه های مختلف قارچ *Glomus*

درصد افزایش غلظت عنصر در مقایسه با تیمار شاهد (M1)				درصد افزایش جذب عنصر در مقایسه با تیمار شاهد (M1)				سطح تراکم	عنصر
شاهد	گونه اول	گونه دوم	گونه سوم	شاهد	گونه اول	گونه دوم	گونه سوم		
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح اول	ازت
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح دوم	
۲	۸	۱۸	۲۴	-	۳	۸	۱۸	سطح سوم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح چهارم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح اول	فسفر
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح دوم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح سوم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح چهارم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح اول	پتاسیم
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح دوم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح سوم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح چهارم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح اول	آهن
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح دوم	
۱۸	۱۶	۶	۱۴	-	۱۸	۱۶	۱۴	سطح سوم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح چهارم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح اول	منگنز
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح دوم	
۲۸	۲۵	۲۳	۲۴	-	۱۷	۲۴	۲۰	سطح سوم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح چهارم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح اول	روی
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح دوم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح سوم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح چهارم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح اول	مس
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح دوم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح سوم	
-	-	-	-	-	-	-	-	سطح چهارم	

جدول 9 - اثرات تراکم خاک (C) و میکوریزا (M) بر مقاومت خاک، ارتفاع گیاهان، وزن تازه و خشک برگها و میزان محصول

ذرت در سال اول								سطح تراکم (بار عبور تراکتور)
میزان محصول (تن در هکتار)	وزن خشک برگها (گرم)	وزن تازه برگها (گرم)	ارتفاع گیاهان ذرت (سانتیمتر)	مقاومت خاک (بار سوم) (مگا پاسکال)	مقاومت خاک (بار دوم) (مگا پاسکال)	مقاومت خاک (بار اول) (مگا پاسکال)	تیمار میکوریزا	
8/1d	36/22ab	106/56bc	198e	0/67e	0/94c	0/36de	شاهد	سطح اول (0)
9/7cd	33/27b	98/86bc	212 de	0/80de	0/88cd	0/38 cde	گونه اول	
10/3cd	29/31b	85/11c	211 de	0/80de	0/79cd	0/34e	گونه دوم	
9/2cd	31/07b	93/26bc	210de	0/69e	0/84cd	0/36 de	گونه سوم	
9/3	32/47	95/95	208	0/74	0/86	0/36		میانگین
12/6abc	32/48b	90/89bc	231abc	1/09bc	0/86cd	0/49 bc	شاهد	سطح دوم (4)
14/7ab	37/08ab	111/32abc	244a	1/09bc	0/73d	0/46cde	گونه اول	
12/1bc	46/92a	139/50a	241ab	0/95cd	0/79cd	0/47bcd	گونه دوم	
16/0a	39/33ab	120/07ab	243a	1/14ab	0/82cd	0/47bcd	گونه سوم	
13/8	38/95	115/44	240	1/07	0/80	0/47		میانگین
9/3cd	32/10 b	97/32bc	214cde	1/81ab	1/31ab	0/60ab	شاهد	سطح سوم (12)
11/7bcd	37/18 ab	119/89ab	222cd	1/25ab	1/26b	0/70a	گونه اول	
11/8bcd	40/06 ab	119/60ab	223bcd	1/36ab	1/18b	0/67a	گونه دوم	
12/6abc	38/73 ab	111/05abc	226abcd	1/30a	1/41a	0/63a	گونه سوم	
11/3	37/02	111/96	221	1/43	1/30	0/65		میانگین
**	**	**	**	**	**	**	**	تراکم
*	n.s.	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.	*	n.s.	مقایسه شاهدگونه
n.s.	n.s.	*	**	n.s.	**	n.s.	اول
n.s.	n.s.	*	**	n.s.	**	n.s.	مقایسه شاهدگونه سوم
**	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	دوم
3/9	11/08	32/55	18	0/17	0/15	0/13	مقایسه شاهدگونه سوم
20	20	19	5	11	11	14	($\alpha=0.1$) LSD
							ضریب تغییرات

n.s.: از نظر آماری معنی دار نمی باشد.

*: معنی دار در سطح 10%

** : معنی دار در سطح 5%

C.V.: ضریب تغییرات

M1: تیمار بدون میکوریزا

C1: بدون تراکم

M2: *Glomus mossea* (Iranian)

4 بار عبور تراکتور

M3: *Glomus etunicatum*

12 بار عبور تراکتور

M4: *Glomus mossea* (Canadian)

ارقام در ستونهای یکسان با حروف غیر یکسان از نظر آماری در سطح 10% به صورت معنی دار متفاوت می باشند. این مقایسه توسط تست LSD انجام گردیده است.

جدول 10 - 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)
9/1f	36/3gh	127/61def	216abc	0/72ef	0/61e	0/68edf	شاهد	سطح اول (0)
11/4bcdef	55/15cd	190/24a	253a	0/69f	0/59e	0/54f	گونه اول	
12/4abcde	55/54bcd	186/56a	254a	0/76ef	0/64ed	0/58ef	گونه دوم	
12/5abcde	53/38d	183/79ab	250ab	0/72ef	0/66ed	0/63edf	گونه سوم	
11/4	50/09	172/05	243	0/72	0/63	0/61		میانگین
10/4ef	29/68h	106/15f	168ed	0/76ef	0/79d	0/72ed	شاهد	سطح دوم (4)
13/7abcd	47/44edf	162/11abc	211abcd	0/81e	0/68ed	0/74d	گونه اول	
14/9a	51/36ed	173/28ab	164e	0/76ef	0/74ed	0/74d	گونه دوم	
14/2ab	51/56ed	167/45ab	208abcde	0/78ef	0/71ed	0/74d	گونه سوم	
13/3	45/01	152/25	188	0/78	0/73	0/73		میانگین
11/0cdef	50/07ed	119/44ef	190cde	1/12cd	1/03c	1/20c	شاهد	سطح سوم (12)
13/8abc	65/60a	165/56abc	224abc	1/19cd	1/01c	1/18c	گونه اول	
12/7abcde	63/40abc	164/09abc	221abc	1/14cd	1/04bc	1/24c	گونه دوم	
11/8bcdef	65/20ab	167/02abc	227abc	1/11d	0/98c	1/24c	گونه سوم	
12/3	61/07	154/03	216	1/14	1/02	1/21		میانگین
10/8cdef	39/63fg	137/62cde	205bcde	1/22abc	1/21ab	1/51ab	شاهد	سطح چهارم (20)
13/7abc	53/42d	178/78ab	222abc	1/3ab	1/38a	1/64a	گونه اول	
10/9cdef	46/52edf	154/38bcd	205bcde	1/29ab	1/3a	1/49b	گونه دوم	
10/6def	43/45efg	154/94bcd	215abcd	1/32a	1/24a	1/63ab	گونه سوم	
11/5	45/76	156/43	212	1/28	1/28	1/57		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 شاهدگونه اول
**	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	مقایسه شاهدگونه دوم
**	**	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	مقایسه شاهدگونه سوم
3/1	9/68	29/70	47	0/12	0/17	0/14	($\alpha=0.1$) LSD
18	14	14	15	8	13	8	ضرب تغییرات

n.s.: از نظر آماری معنی دار نمی باشد

*: معنی دار در سطح ۱۰٪

** : معنی دار در سطح ۵٪

C.V.: ضرب تغییرات

M1: تیمار بدون میکوریزا	C1: بدون تراکم
M2: <i>Glomus mossea</i> (Iranian)	C2: ۴ 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 (Dell و Marschener، ۲۰۰۲). مطابق پژوهشهای افزایش فسفر جذب شده در گیاهان همزیست با میکوریزا بخصوص از منابع غیرمحلول فسفر تأثیر بسیاری بر رشد گیاه از خود بر جای می گذارد، در این پژوهش قارچهای میکوریز آربسکولار سبب افزایش جذب فسفر در سطوح

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 منابع بیشتری از عناصر در خاک دسترسی می یابد (Gupta و Janardhanan، ۱۹۹۱). هیفهای توسعه یافته قارچهای میکوریز آربسکولار قادر به نفوذ در منافذ و خلل و فرجی از خاک می باشند که تارهای کشنده و ریشه های مویین امکان نفوذ ندارند در نتیجه ناحیه جذب عناصر غیر متحرک همچون فسفر افزایش می یابد (Grant و همکاران،

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، 2002). 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، 1997). 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، 2000).

مقایسه غلظت و جذب عناصر غذایی در سطوح مختلف تراکم هم بار دیگر نشان دهنده اثر مثبت قارچهای میکوریز 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 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 میکوریز آربسکولار کاسته می‌گردد (Nadian و همکاران، 1998). 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 میکوریز 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 3، 4، 5، 6 و 7). همزیستی میکوریز 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.

فهرست منابع:

1. رجالی، ف. 1382. تهیه مایه تلقیح قارچهای میکوریز 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.
2. رضایی، ل. 1382. 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.
3. شیرانی، ا.ع.، علیزاده، هاشمی دزفولی. 1379. 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 16 شماره 3، ص 327 تا 349. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر.
4. شیرانی، ا.ع.، علیزاده، هاشمی دزفولی. 1379. 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 16 شماره 2، ص 172 تا 191، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر.

6. علی اصغرزاده، ن. 1379. 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. *Netherlands 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. Bureau, 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. 33.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. Bethlenfalvai 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.