نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۰، شماره ۱ ، بهار ۱۳۹۱، ص ۲۲۴-۲۱۴

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 10, No. 1, Spring. 2012, p. 214-224

تاثیر باکتری حل کننده فسفات، قارچ میکوریز آربسکولار و کود شیمیایی فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت در شرایط آبیاری معمول و کم آبیاری در منطقه کرج

مهدی قورچیانی[1*]- حسینعلی علیخانی[2]- غلامعباس اکبری[3]- مهدی زارعی[4]- ایرج اله دادی[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۲/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱/۲۱

چکیده

به منظور بررسی تاثیر کاربرد متعادل کود شیمیایی فسفر و تلقیح بذر با باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت در شرایط تنش کم آبی آزمایشی به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها عبارت از آبیاری در دو سطح شامل: آبیاری پس از ۶۰ (آبیاری معمول) و ۱۲۰ (کم آبیاری) میلیمتر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A؛ ترکیب ریزموجودات حل کننده فسفات نامحلول (قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری حل کننده فسفات) در چهار سطح مختلف و تیمار کود شیمیایی فسفر در سه سطح شامل: عدم مصرف کود شیمیایی فسفر (شاهد)، مصرف۵۰٪ کود سوپر فسفات تریپل مورد نیاز براساس نتایج آزمون خاک و نیز مصرف خاک فسفات (براساس کمیت فسفر مصرفی از منبع سوپر فسفات تریپل) بودند. نتایج نشان دادند که اثر سطوح آبیاری روی کلیه صفات به جز شاخص برداشت و اثر ریزموجودات حل کننده فسفات نیز در کلیه صفات به جز شاخص برداشت و تعداد ردیف دانه در بلال معنی دار می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان دادند که بیشترین مقدار اکثر صفات مورد بررسی در سطوح آبیاری مربوط به تیمار آبیاری معمول و در سطوح ریزموجودات حل کننده فسفات مربوط به تیمار کاربرد توأم باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار است. اثر سطوح کود شیمیایی فسفر روی کلیه صفات نیز معنی دار بود. نتایج بر همکنش آبیاری و ریزموجودات حل کننده فسفات در هر دو شرایط آبیاری معمول و کم آبیاری نشان داد که کاربرد توأم باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار، عملکرد دانه را بیش از سایر تیمارها افزایش می‌دهد. همچنین نتایج بر همکنش کود شیمیایی فسفر و ریزموجودات حل کننده فسفات نیز نشان دادند که تاثیر کاربرد متعادل کود سوپر فسفات تریپل در تلفیق با ریزموجودات حل کننده فسفات در صفات اندازه گیری شده نسبت به خاک فسفات بیشتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خاک فسفات، ریزموجودات حل کننده فسفات، سوپرفسفات تریپل، کشاورزی پایدار

مقدمه

هر چند فسفر به فرم معدنی و آلی به فراوانی در خاک‌ها وجود دارد اما یکی از مهم‌ترین عناصر ضروری محدود کننده رشد گیاهان است (۲۶). یکی از روش‌های رایج برای مقابله با کمبود عناصر غذایی نظیر فسفر، استفاده از کودهای شیمیایی فسفره است (۸)، اما مقدار زیادی از فسفر موجود در کودهای شیمیایی از طریق واکنش با آهن و آلومینیوم در خاک‌های اسیدی و کلسیم در خاک‌های آهکی و تا کمی خنثی سریعاً به فرم فسفات‌های نامحلول و غیر قابل دسترس برای گیاهان تبدیل می‌شود. کارایی کودهای شیمیای فسفر در سراسر جهان در حدود ۱۰ تا ۲۵ درصد است (۲۹). در سال‌های اخیر و در راستای اهداف کشاورزی پایدار و حفظ اگرو اکوسیستم‌ها، استفاده از پتانسیل ژنتیکی گیاهان برای حصول بالاترین عملکرد و کارایی بهره وری از خاک و نیز استفاده از ریزموجودات همزیست و همیار برای افزایش رشد و جذب عناصر غذایی، از راهکارهای مهم جایگزین است که در جهت حفظ محیط زیست و صرفه اقتصادی، توصیه می‌شود (۶). جهان و همکاران (۵) در تحقیقی به منظور بررسی تأثیر قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری های آزادزی تثبیت کننده‌ی نیتروژن بر ویژگی‌های رشد و کارکرد جمعیت میکروبی خاک در نظام های زراعی رایج و اکولوژیک نشان دادند که ترکیب نظام‌های کم نهاده و اکولوژیک و تلقیح توأم قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری های آزادزی تثبیت کنندهٔ نیتروژن، می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای

۱، ۳ و ۵- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: mghorchiani@ymail.com)
۲-دانشیار گروه مهندسی علوم خاک و آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران
۴-استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

شیمیایی و نظام‌های پرنهاده باشد.

استفاده از ریزموجودات خاکزی که توانایی انحلال فسفات‌های نامحلول آلی و معدنی و تبدیل آن به فسفر محلول را دارند، یکی از راهکارهای مؤثر برای افزایش قابلیت جذب فسفر، در خاک است (۶). بسیاری از ریزموجودات خاکزی توانایی تبدیل فسفات‌های نامحلول به فرم محلول و قابل استفاده برای تغذیه گیاهان را دارا می‌باشند، که به آنها ریزموجودات حل کننده فسفات اطلاق می‌شود (۲۹). از رایج‌ترین ریزموجودات حل کننده فسفات می‌توان به باکتری‌های حل کننده فسفات (۲۷) و قارچ‌های میکوریز آربسکولار (۳۳) اشاره کرد.

در میان باکتری‌های حل کننده فسفات، جنس *Pseudomonas* یکی از مهمترین باکتری‌های حل کننده فسفات در گیاهان می‌باشند (۱۶)، که به دلیل طیف گسترده‌ای از صفات تحریک کننده رشد گیاه مانند تولید اکسین، تولید آنزیم ACC-دآمیناز، تولید سیدروفور، سالیسیلیک اسید و کیتیناز بطور مستقیم یا غیر مستقیم باعث افزایش رشد گیاه نیز می‌گردند (۱۰). از طرفی برخی از باکتری‌های گونه *Pseudomonas fluorescens* به دلیل توانایی در توسعه میکوریزی به عنوان باکتری‌های کمک کننده میکوریز نیز شناخته می‌شوند (۲۴).

قارچ میکوریز آربسکولار طیف وسیعی از شرایط محیطی را تحمل می‌کند و از پراکندگی جغرافیایی گسترده‌ای برخوردار است، و به دلایلی از جمله افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر، نیتروژن و برخی عناصر کم مصرف، افزایش جذب آب، تولید هورمون‌های گیاهی، کاهش اثر تنش‌های محیطی، افزایش مقاومت گیاه در مقابل عوامل بیماریزا، تاثیر بر ساختمان خاک، تاثیر مثبت بر سایر ریزموجودات خاک و بهبود ویژگی‌های کیفی و کمی محصولات زراعی نیز مورد توجه بسیاری از محققان می‌باشد (۴، ۱۷). ثمربخش (۳) گزارش کرد که کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار روی افزایش صفات وزن هزار دانه، تعداد دانه در ردیف بلال، عملکرد دانه و عملکرد زیستی تاثیر معنی داری داشت. خلیلی (۷) بیان داشت که تلقیح توأم گیاه با قارچ *Glomus mosseae* و باکتری‌های *Pseudomons fluorescens* متحمل به خشکی و مولد آنزیم ACC-دآمیناز نسبت به تیمار عدم تلقیح علاوه بر کاهش اثرات تنش خشکی بر روی رشد و عملکرد دانه گیاه، میزان جذب فسفر، نیتروژن و همچنین مقدار پروتئین را در گیاه گندم افزایش دادند. موسوی جنگلی و همکاران (۱۵) نشان دادند که هر چند کود شیمیایی فسفر و باکتری‌های حل کنندهٔ فسفات هر یک به تنهایی بر رشد و عملکرد ذرت مؤثر بوده‌اند، ولی هنگامی که کودهای زیستی همراه با کود شیمیایی فسفر استفاده شدند، نتایج مطلوب‌تری حاصل شد. تاثیر کودهای شیمیایی روی کلنیزاسیون و کارایی قارچ میکوریز آربسکولار متناقض می‌باشد؛ فسفر محلول معمولاً باعث کاهش درصد کلنیزاسیون می‌شود، البته گزارشاتی مبنی بر افزایش درصد کلنیزاسیون نیز در این رابطه منتشر شده است (۱۷). کاربرد توأم قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری حل کننده فسفات باعث افزایش فسفر قابل جذب خاک و در نتیجه انحلال بیشتر فسفات‌های نامحلول از منبع کودی خاک فسفات می‌شود (۲۰). همچنین یزدانی و همکاران (۴۳) اظهار داشتند که تلقیح بذر با باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار باعث کاهش ۵۰ درصدی مصرف کود شیمیایی فسفر بدون کاهش عملکرد ذرت شد.

ذرت پر محصول‌ترین گیاه از خانواده غلات به شمار می‌آید، که از قابلیت تولید ماده خشک بالایی برخوردار است، از این رو تولید بالای این گیاه با مصرف زیاد نهاده‌ها همراه می‌باشد. در کشور ما مقادیر بالایی از کودهای فسفر برای افزایش عملکرد ذرت مصرف می‌شود. مطالعه جنبه‌های مختلف همزیستی قارچ‌های میکوریز آربسکولار و باکتری‌های حل کننده فسفات با گیاه ذرت، می‌تواند اتکا به نهاده‌های شیمیایی در تولید این گیاه را کاهش دهد. با توجه به تحقیقات انجام گرفته، هدف از اجرای این تحقیق، بررسی تأثیر کاربرد ریزموجودات حل کننده فسفات‌های نامحلول به همراه مصرف متعادل کودهای شیمیایی فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای از طریق تغذیه تلفیقی گیاه در شرایط تنش آبی بوده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی واقع در دولت آباد کرج با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۱۲ متر از سطح دریا، به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در سه تکرار به اجرا درآمد. عوامل مورد بررسی در این آزمایش عبارت از: آبیاری در دو سطح شامل: آبیاری پس از ۶۰ (آبیاری معمول) و ۱۲۰ (کم آبیاری) میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A به عنوان عامل کرت اصلی؛ ترکیب ریزموجودات حل کننده فسفات نامحلول در چهار سطح شامل: کاربرد توأم باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار، کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار، کاربرد باکتری حل کننده فسفات، عدم کاربرد باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار (شاهد) به عنوان عامل کرت فرعی و تیمار کود شیمیایی فسفر در سه سطح شامل: عدم مصرف کود شیمیایی فسفر (شاهد) مصرف ۵۰٪ کود سوپر فسفات تریپل مورد نیاز ذرت براساس نتایج آزمون خاک جدول ۱ (به میزان ۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار) و مصرف خاک فسفات (به میزان۴۴/۵ کیلوگرم در هکتار) براساس کمیت فسفر مصرفی از منبع سوپر فسفات تریپل به عنوان عامل کرت فرعی فرعی بودند. خاک فسفات مورد استفاده در این بررسی حاوی ۳۹ درصد P_2O_5 بود.

قبل از کاشت ذرت نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی متر برای

آزمون خاک جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه به عمل آمد و مشخص گردید که خاک محل آزمایش دارای بافت لوم رسی، pH= ۸/۳، قابلیت هدایت الکتریکی ۱/۶۲ دسی زیمنس بر متر و ماده آلی ۰/۷۳ درصد بوده است (۳۴) (جدول۱).

عملیات تهیه زمین مطابق عرف منطقه با اجرای یک شخم و دو دیسک عمود بر هم قبل از کاشت اجرا شد. عملیات کاشت در ۲۵ خرداد ماه صورت گرفت و بذور به صورت کپه‌ای و با قرار دادن ۲ الی۳ بذر سالم در روی پشته های ۷۵ سانتی‌متری و به فاصله ۲۰ سانتی‌متر در روی ردیف کشت، کاشته و در مرحله ۴-۳ برگی تنک شدند. همزمان با کاشت بذور، بلافاصله کودهای نیتروژن و پتاسیم بر مبنای آزمون خاک و مطابق با توصیه کودی برای ذرت بصورت نواری به خاک داده شد. علاوه بر این کود نیتروژن در دو نوبت دیگر نیز بصورت سرک در اختیار گیاه قرار گرفت. در این آزمایش از بذر ذرت رقم تری وی کراس ۵۲۴ استفاده گردید.

باکتری مورد استفاده گونه *Pseudomonas fluorescens* بود که توانایی انحلال منابع معدنی و آلی فسفاته را داشت و از بانک ژن گروه مهندسی علوم خاک و آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه و در آزمایشگاه بیولوژی خاک این مرکز تکثیر شد. بذور پس از قرار گرفتن در سوسپانسیون باکتری با جمعیت ۱×۱۰^{۸} باکتری زنده و فعال در هر میلی لیتر (CFU/ml) پس از ۴۸ ساعت (۱۲) در مزرعه کشت شدند. قارچ میکوریزی مورد استفاده در این تحقیق از طریق کشت تله گلدانی با گیاه سورگوم و با اسپورهای قارچ *Glomus mosseae* در آزمایشگاه بیولوژی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شد. مایه تلقیح میکوریزی به صورت مخلوطی از اسپور، هیف، ریشه‌های کلنیزه شده گیاه سورگوم و ماسه بادی با مقدار کلنیزاسیون ۷۰ درصد و میانگین اسپور ۱۲ عدد در هر گرم مایه تلقیح بود، قبل از کاشت حدود شش گرم از مایه تلقیح میکوریزی به ازای هر بذر در حفره کاشت بذور در عمق سه تا چهار سانتی متری قرار داده شد (۳).

برای اندازه گیری عملکرد و اجزای عملکرد پس از فرا رسیدن مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه، با رعایت حاشیه از هر کرت فرعی فرعی ۱۰ بوته انتخاب و صفات مورد نظر اندازه گیری شدند. وزن خشک برگ و سطح برگ در مرحله پرشدن دانه اندازه گیری گردیدند. وزن خشک برگ پس از قرار گرفتن در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت اندازه گیری شد. سطح برگ نیز توسط دستگاه اندازه گیری سطح برگ، مدل Delta T-ΔT Area Meter MK2)Devices UK.) اندازه گیری گردید. شمارش جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات و شمارش تعداد اسپور قارچ میکوریز آربوسکولار در هر گرم خاک نیز بر اساس روش زارعی (۹) انجام گرفت. همچنین برای محاسبه درصد کلنیزاسیون ریشه در مرحله تاسل‌دهی از ریشه‌های نازک گیاه به اندازه تقریبی یک گرم نمونه‌برداری و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه ریشه‌های ریز و ظریف انتخاب و پس از شستشو با آب مقطر تا زمان رنگ آمیزی در لوله‌های آزمایش حاوی محلول تثبیت کننده فرمالین-اسید استیک-الکل (FAA) با نسبت ۵-۵-۹۰ نگهداری شدند؛ رنگ آمیزی با محلول لاکتوگلیسرول-جوهر آبی انجام گرفت (۹) و درصد کلنیزاسیون ریشه نیز با روش تقاطع خطوط شبکه محاسبه گردید (۳۰).

داده‌ها با نرم افزار SAS تجزیه شدند و مقایسه میانگین‌ها نیز با روش آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد توسط نرم افزار MSTAT-C محاسبه گردیدند.

نتایج و بحث

وزن خشک برگ و سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین (جداول ۲ و۳) نشان دادند که بین سطوح مختلف آبیاری از لحاظ صفت سطح برگ و وزن خشک برگ اختلاف آماری معنی داری وجود دارد و کم آبیاری باعث کاهش صفات مذکور در مقایسه با شرایط آبیاری معمول شد. آسیمیلاسیون گیاه در شرایط تنش خشکی به میزان زیادی توسط دو عامل اصلی سطح برگ و فتوسنتز در هر واحد سطح برگ کنترل می‌شود، در شرایط کمبود آب، افزایش میزان آبسزیک اسید از طریق کاهش میزان تکثیر سلول در مریستم برگ و کاهش فعالیت‌های حل کنندگی دیواره سلولی که لازمه‌ی طویل شدن برگ می باشد از توسعه سطح برگ جلوگیری می‌کند (۲۳). بعلاوه افزایش مقاومت مزوفیلی و روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی باعث کاهش ورود دی اکسید کربن به درون گیاه و کاهش فتوسنتز ظاهری گیاه می‌گردد (۱۴)، در نتیجه وزن خشک اندام‌های گیاه در اثر افت مواد فتوسنتزی کاهش می یابد.

نتایج تجزیه واریانس سطوح ریزموجودات حل کننده فسفات نشان دادند که در صفات وزن خشک برگ و سطح برگ بین تیمارها اختلاف آماری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد (جدول ۲). بیشترین مقدار وزن خشک برگ و سطح برگ مربوط به تیمار کاربرد توأم باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار بود (جدول ۳). همچنین نتایج جدول ۳ نشان دادند که در کاربرد جداگانه این ریزموجودات کارایی قارچ میکوریز آربسکولار نسبت به باکتری حل کننده فسفات در افزایش صفات مذکور بیشتر می باشد. گزارش‌هایی وجود دارد مبنی بر اینکه قارچ میکوریز آربسکولار سطح برگ را مستقیما افزایش نمی‌دهد بلکه روی دوام سطح برگ و وزن مخصوص برگ تاثیر می‌گذارد (۴)، با این حال پولتون و همکاران (۳۵)، مهربان و همکاران (۳۲) اظهار داشتند که کاربرد قارچ میکوریزی سبب افزایش سطح برگ سورگوم و گوجه فرنگی گردید.

جدول۱- نتایج آزمون خاک محل آزمایش

pH	قابلیت هدایت الکتریکی dS/m	ماده آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر (السن) mg/kg	پتاسیم قابل استفاده mg/kg	جمعیت باکتری های حل کننده فسفات CFU/g Soil	تعداد اسپور قارچ میکوریز آربوسکولار در هر گرم خاک	کلاس بافت
۸/۳	۱/۶۲	۰/۷۳	۰/۰۷۱	۱۳/۵	۱۲۴	۱۶۰	۳	لوم رسی

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات اندازه گیری شده ذرت در بررسی تاثیر کود شیمیایی فسفر و تلقیح بذر با باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار در شرایط تنش آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک برگ	سطح برگ	وزن هزار دانه	تعداد دانه در ردیف بلال	تعداد ردیف دانه در بلال	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت	درصد کلنیزاسیون
بلوک	۲	۳۶/۱ ns	۰/۰۰۱۷ns	۹۸۳/۴ns	۵۹/۵*	۰/۹*	۰/۵ns	۰/۸ns	۲۲/۴ns	۱۶/۷ns
آبیاری (I)	۱	۳۱۳/۱*	۰/۱۳**	۶۸۱۲۳/۵**	۷۴۱/۱**	۱۷/۶**	۴۸/۷**	۱۶۷/۹**	۰/۸ns	۱۰۶۰*
خطای کرت اصلی	۲	۴/۸	۰/۰۰۰۱	۶۲۹/۹	۲/۶	۰/۰۲	۰/۲	۰/۴	۳/۷	۲۱/۴
ریز موجودات حل کننده فسفات (FB)	۳	۲۲۶/۱**	۰/۰۱۱**	۸۱۳۷/۳**	۳۱۴/۳**	۲/۳ns	۱۴/۵**	۴۴/۳**	۲/۲ns	۳۳۴۳/۴**
FB×I	۳	۱/۳ ns	۰/۰۰۳*	۷۱۹/۷*	۳۵/۳ns	۰/۵ns	۱/۹*	۱/۳ns	۳۱/۱ns	۶۲/۷*
خطای کرت فرعی	۱۲	۱۵/۱	۰/۰۰۰۵	۲۰۳/۹۶	۳۱/۸۶	۱/۰۱	۰/۴۶	۰/۴	۹/۱	۱۳/۷
کودشیمیایی فسفر (P)	۲	۲۳۷/۶**	۰/۰۲**	۸۰۱۸/۱**	۲۲۹/۵**	۱/۷**	۲۲/۳**	۵۱/۲**	۲۸/۰*	۲۷۴/۳**
I×P	۲	۲/۶ ns	۰/۰۰۰۴ ns	۴۳/۳ns	۳۲/۵**	۰/۶ns	۱/۸*	۳/۱*	۵/۸ns	۶/۷ns
FB×P	۶	۴/۷ ns	۰/۰۰۱*	۷۸۴/۴*	۱۳/۷*	۰/۲ns	۰/۴ns	۰/۵ns	۶/۷ns	۱۹/۲ns
FB×I×P	۶	۹/۱ ns	۰/۰۰۰۷ ns	۲۹۵/۲ns	۱/۶ns	۰/۳ns	۰/۷ns	۱/۱ns	۶/۳ns	۷/۶ns
خطا کرت فرعی فرعی	۳۲	۶/۱	۰/۰۰۰۵	۲۳۶/۰	۵/۷	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۷/۶	۱۱/۸
ضریب تغییرات٪	–	۷/۶	۴/۳	۵/۳	۶/۹	۴/۶	۹/۴	۵/۹	۵/۰	۹/۱

** ، * و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیرمعنی دار

تجزیه واریانس بر همکنش سطوح آبیاری و ریزموجودات حل کننده فسفات نشان دادند که بین تیمارها از نظر صفت سطح برگ اختلاف معنی دار وجود دارد (جدول ۲)، و بیشترین میزان سطح برگ مربوط به دو تیمار آبیاری معمول و کاربرد توأم باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار و تیمار آبیاری معمول و کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار بود اگر چه از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند، در شرایط کم آبیاری نیز کاربرد توأم باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار نسبت به کاربرد جداگانه این ریزموجودات از میانگین بیشتری برخوردار بود (شکل 1a). کمبود آب سبب کاهش فتوسنتز و کاهش تولید مواد پرورده و در نتیجه باعث کاهش وزن خشک برگ و سطح برگ در شرایط تنش رطوبتی می‌گردد، به دلیل تاثیر مثبت قارچ میکوریز آربسکولار روی روابط آبی گیاه میزبان (۲۱) و همچنین افزایش جذب فسفر توسط قارچ میکوریز آربسکولار (۲۵) و باکتری های حل کننده فسفات (۱۶، ۲۶) و اثرات هم افزایی این دو ریزموجودات در بهبود رشد گیاه (۱، ۲۴) در هر دو شرایط آبیاری معمول و کم آبیاری، کاربرد ریزموجودات حل کننده فسفات نسبت به عدم کاربرد آنها منجر به افزایش صفات فوق شد.

نتایج تجزیه واریانس سطوح کود شیمیایی فسفر نشان دادند که بین سطوح مختلف کود فسفر از نظر صفات وزن خشک برگ و سطح برگ اختلاف آماری معنی دار وجود دارد (جدول ۲) و بیشترین میانگین این صفات مربوط به تیمار کودی سوپر فسفات تریپل بود (جدول ۳). تجزیه واریانس بر همکنش سطوح کود فسفر و آبیاری حاکی از عدم معنی داری صفات وزن خشک برگ و سطح برگ بود (جدول ۲).

اثر متقابل سطوح کود شیمیایی فسفر و ریزموجودات حل کننده فسفات تنها برای صفت سطح برگ معنی دار بود (جدول ۲) و بیشترین میزان این صفت نیز مربوط به دو تیمار، مصرف متعادل سوپر فسفات تریپل و کاربرد توأم باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار و تیمار مصرف متعادل سوپر فسفات تریپل و کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار بود، که البته این دو تیمار با تیمار مصرف خاک فسفات و کاربرد توأم باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار از لحاظ آماری اختلاف معنی داری نداشتند.

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی صفات اندازه گیری شده در بررسی تاثیر کود شیمیایی فسفر و تلقیح بذر با باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت در شرایط تنش آبی

تیمار	وزن خشک برگ (گرم)	سطح برگ (متر مربع)	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه در ردیف بلال	تعداد ردیف در بلال	عملکرد دانه (تن درهکتار)	عملکرد زیستی (تن درهکتار)	شاخص برداشت (درصد)	درصد کلنیزاسیون (درصد)
آبیاری									
آبیاری معمول	۳۴/۶a	۰/۵۸a	۳۱۸/۷a	۳۷/۵a	۱۲/۵a	۸/۵a	۱۵/۵a	۵۴/۶a	۴۱/۷a
کم آبیاری	۳۰/۵b	۰/۴۹b	۲۵۷/۱b	۳۱/۰b	۱۱/۵b	۶/۹b	۱۲/۵b	۵۴/۹a	۳۴/۰b
ریزموجودات حل کننده فسفات نامحلول									
شاهد	۲۸/۳۷d	۰/۵۰c	۲۶۲/۳d	۲۸/۸c	۱۱/۵b	۶/۷d	۱۲/۲d	۵۴/۵a	۱۹/۴d
باکتری حل کننده فسفات	۳۱/۲۷c	۰/۵۲bc	۲۸۰/۳c	۳۳/۹b	۱۱/۹ab	۷/۳c	۱۳/۴c	۵۴/۵a	۳۶/۳c
قارچ میکوریز آربسکولار	۳۳/۸۹b	۰/۵۴b	۲۹۷/۶b	۳۵/۳ab	۱۲/۱ab	۸/۰b	۱۴/۶b	۵۴/۹a	۴۵/۷b
کاربرد توأم باکتری و قارچ	۳۶/۶۵a	۰/۵۷a	۳۱۱/۴a	۳۸/۹a	۱۲/۴a	۸/۸a	۱۵/۸a	۵۵/۲a	۵۰/۱a
کود شیمیایی فسفر									
شاهد	۲۹/۸c	۰/۵۰c	۲۶۷/۸c	۳۱/۶c	۱۱/۷b	۶/۸c	۱۲/۷c	۵۳/۷b	۴۱/۵a
سوپرفسفات تریپل	۳۶/۰a	۰/۵۶a	۳۰۳/۶a	۳۷/۶a	۱۲/۲a	۸/۷a	۱۵/۶a	۵۵/۹a	۳۴/۹c
خاک فسفات	۳۱/۹b	۰/۵۳b	۲۹۲/۳b	۳۳/۶b	۱۱/۹ab	۷/۶b	۱۳/۸b	۵۴/۶ab	۳۷/۲b

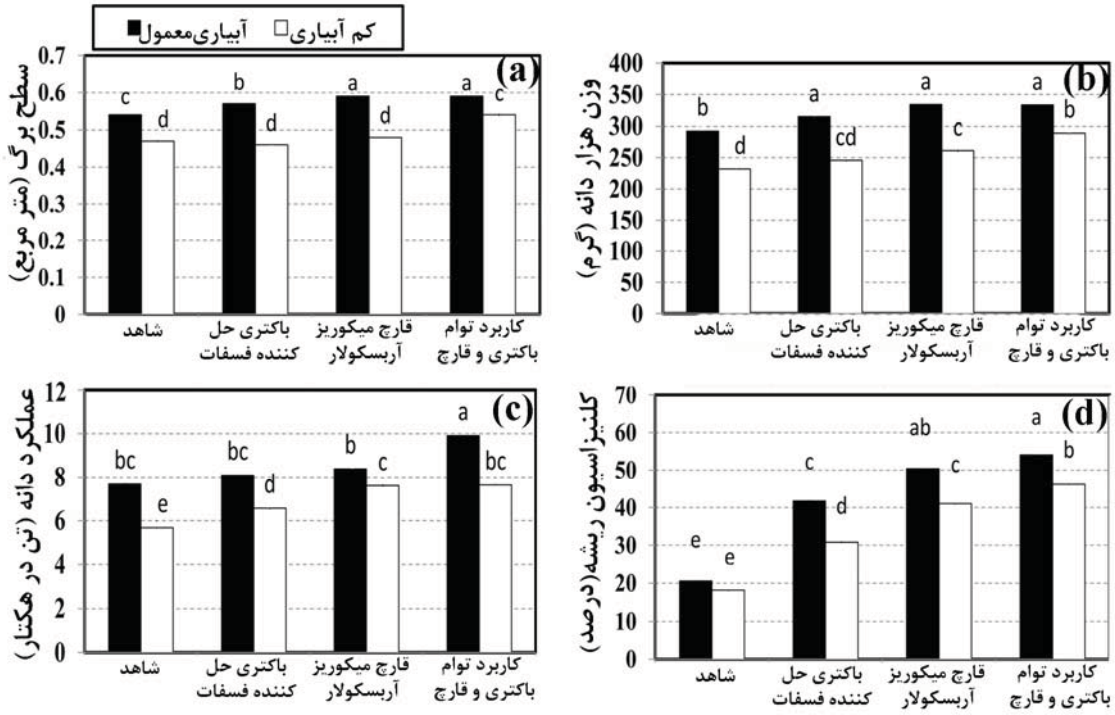
در هرستون، میانگین های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف آماری معنی دار در سطح احتمال ۵٪ می باشند.

(شکل ۳a). باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار با انحلال فسفات نامحلول خاک و همچنین از طریق مکانیسم‌های هورمونی قادرند طول و عمق نفوذ ریشه را گسترش دهند، از طرفی هیف‌های قارچ میکوریز آربسکولار منطقه تخلیه ریشه را برای جذب عناصر غذایی و آب گسترش می‌دهند (۱۹، ۴۱)، که با این افزایش در میزان جذب آب و عناصر غذایی و در نتیجه افزایش تولید مواد فتوسنتزی، سطح برگ نیز افزایش می‌یابد.

عملکرد و اجزای عملکرد

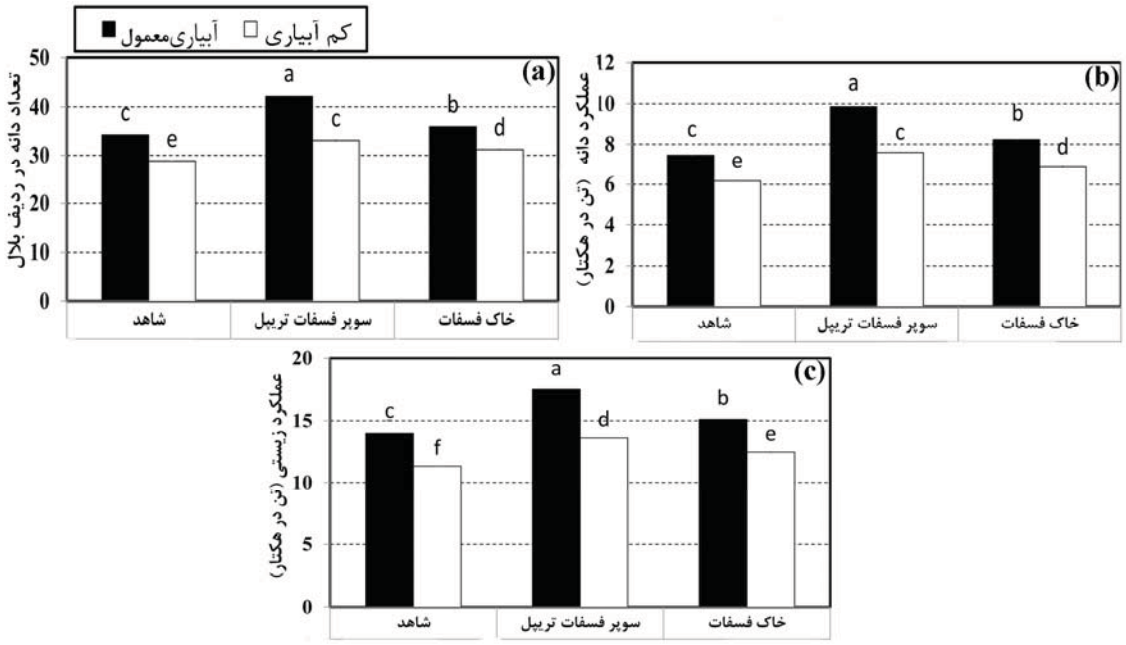
نتایج تجزیه واریانس نشان دادند که اثر سطوح آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد (وزن هزار دانه، تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف در بلال) در سطح احتمال یک درصد معنی دار می‌باشد (جدول ۲). بیشترین میزان عملکرد و اجزای عملکرد مربوط به تیمار آبیاری معمول بود (جدول ۳). علت کاهش عملکرد به طور عمده مربوط به کاهش تعداد دانه در ردیف و وزن هزار دانه بود و به دلیل اینکه تعداد ردیف در بلال بیشتر تحت کنترل خصوصیات ژنتیکی است و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد، بنابراین با وجود معنی دار بودن این صفت در سطوح مختلف آبیاری، میانگین آن در تیمار آبیاری معمول و تیمار کم آبیاری اختلاف کمی با هم داشتند و در نتیجه تاثیر چندانی در میزان عملکرد نداشت (۱۳). تنش خشکی باعث کوتاه شدن دوره تمایز سنبلچه‌ها و در نتیجه کاهش تعداد سنبلچه در تاسل می‌شود، همچنین قدرت بقای گلچه‌ها را نیز شدیداً کاهش می‌دهد و در نتیجه سبب کاهش تعداد دانه در بلال می‌گردد؛ و همچنین می‌توان مهم ترین علت کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش رطوبتی را کاهش دوره پر شدن دانه دانست (۱۴). این یافته‌ها مطابق با یافته‌های سایر محققان در زمینه کاهش عملکرد و اجزای عملکرد ذرت تحت تاثیر شرایط تنش رطوبتی می‌باشد (۱۳، ۲۱).

اثر ریزموجودات حل کننده فسفات تنها بر تعداد ردیف در بلال معنی دار نبود و در سایر صفات اختلاف آماری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان دادند که بیشترین میزان عملکرد و اجزای عملکرد مربوط به تیمار کاربرد توأم باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار بود که از نظر عملکرد و وزن هزار دانه اختلاف آن با سایر تیمارها معنی دار بود (جدول ۳). در کل، نتایج بدست آمده از این بررسی نشان دادند که کاربرد توأم باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار نسبت به تیمارهای کاربرد جداگانه این ریزموجودات، یک اثر هم افزایی مثبت داشته و منجر به افزایش بیشتر عملکرد و اجزای عملکرد شده است. قارچ میکوریز آربسکولار جذب عناصر غذایی، به ویژه فسفر و عناصر ریز مغذی نظیر روی و مس را بهبود می‌بخشد و باعث تحریک رشد و کاهش اثرات تنش‌های محیطی روی گیاه میزبان می‌شود (۳۸). این قارچ از طریق افزایش زیست توده ساقه به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی توسط هیف‌ها و یا بهبود رشد ریشه و همچنین افزایش آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی در ساقه به علت افزایش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی در دوره قبل از گلدهی، می‌تواند در مرحله پس از گلدهی با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن عملکرد دانه ذرت را بهبود ببخشد (۱۹).

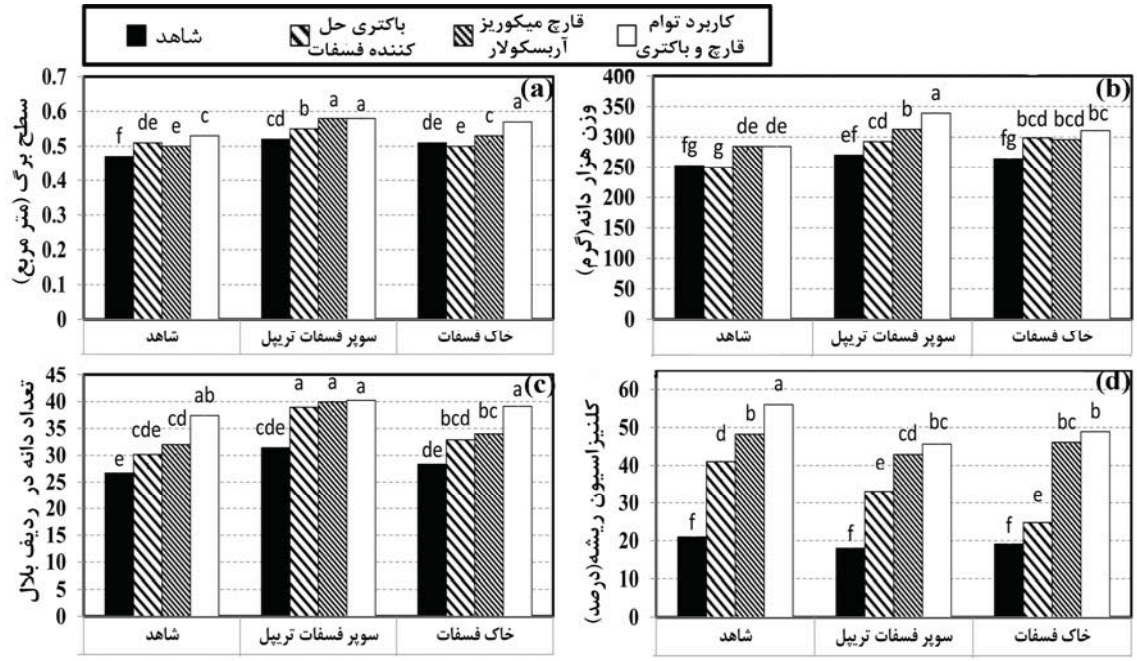


شکل ۱- اثر متقابل سطوح آبیاری و ترکیب ریزموجودات حل کننده فسفات بر صفات سطح برگ (a)، وزن هزار دانه (b)، عملکرد دانه (c) و درصد کلنیزاسیون ریشه (d)

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.



شکل ۲- اثر متقابل سطوح آبیاری و کود شیمیایی فسفر بر صفات تعداد دانه در ردیف بلال (a)، عملکرد دانه (b) و عملکرد زیستی (c). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.



شکل ۳- اثر متقابل ترکیب ریزموجودات حل کننده فسفات و کود شیمیایی فسفر بر صفات سطح برگ (a)، وزن هزار دانه (b)، تعداد دانه در ردیف بلال (c) و درصد کلنیزاسیون ریشه (d). میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

هنری و همکاران (۲۸) اظهار داشتند که اکثر جنس های *Pseudomonas* علاوه بر افزایش قابلیت جذب فسفات نامحلول خاک، از طریق ترشح هورمون و فاکتورهای تحریک کننده رشد گیاه نیز روی رشد و نمو گیاهان تاثیر می‌گذارند. افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ذرت به وسیله کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار توسط ثمربخش (۳) و به وسیله کاربرد باکتری حل کننده فسفات، جنس *Pseudomonas* توسط توحیدی‌مقدم و همکاران (۲) تایید شده است. همچنین اثر هم افزایی کاربرد توأم این ریزموجودات حل کننده فسفات نامحلول بر روی صفات عملکرد و اجزای عملکرد ذرت نیز توسط احتشامی و همکاران (۱) گزارش شده است.

نتایج تجزیه واریانس بر همکنش سطوح آبیاری و ریزموجودات حل کننده فسفات نشان داد که تنها از نظر صفات عملکرد دانه و وزن هزار دانه، بین تیمارها اختلاف آماری معنی دار وجود دارد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل این صفات نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه و وزن هزار دانه به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری معمول و کاربرد توأم باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار و تیمار آبیاری معمول و عدم کاربرد باکتری حل کننده فسفات و کاربرد قارچ میکوریز آربسکولار است (شکل ۱b,c). همچنین نتایج این آزمایش نشان داد که قارچ میکوریز آربسکولار در کنترل شرایط تنش رطوبتی نسبت به باکتری حل کننده فسفات از مزیت نسبی بیشتری برخوردار بوده است. این مطلب را می‌توان این گونه توضیح داد که میسلیوم‌ها و هیف‌های بیرون سلولی قارچ میکوریز آربسکولار حجم وسیعی از خاک را در اختیار گیاه میزبان قرار می دهند و در نتیجه زیست فراهمی آب و عناصر غذایی را افزایش داده و اثرات تنش رطوبتی را تعدیل می‌کنند (۱۹). همچنین یکی دیگر از اثرات همزیستی میکوریزی ایجاد تغییرات در هدایت روزنه ای و تعرق گیاه است، که باعث تاخیر در کاهش پتانسیل آب برگ در طول دوره تنش خشکی شده و بازگشت گیاه به شرایط طبیعی را پس از رفع تنش تسریع می‌کند، در نتیجه این رابطه همزیستی به میزان زیادی رشد گیاه را افزایش داده (۱۸)، و باعث افزایش عملکرد گیاهان زراعی از جمله ذرت می‌گردد.

تجزیه واریانس اثر کود شیمیایی فسفر برای صفات عملکرد و اجزای عملکرد نشان دادند که اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف کود شیمیایی فسفر در سطح احتمال یک درصد وجود دارد (جدول ۲). بیشترین مقدار صفات اندازه گیری شده مربوط به تیمار مصرف متعادل سوپر فسفات تریپل بود که اختلاف آن با تیمار مصرف خاک فسفات در تمام صفات مذکور به جز صفت تعداد ردیف در بلال معنی دار بود. این نتایج نشان دادند که اثر مصرف متعادل سوپر فسفات تریپل نسبت به خاک فسفات در صفات مذکور بیشتر بوده است (جدول ۳). دلیل این امر می‌تواند به علت حلالیت بیشتر کود سوپر فسفات تریپل نسبت به خاک فسفات باشد. از آنجایی که فسفر نقش مهمی در فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان مانند فتوسنتز، تبدیل قند به نشاسته و انتقال خصوصیات ژنتیکی ایفا می‌کند (۳۱) افزایش جذب فسفر و انتقال آن به سلول‌های گیاه، سبب

بهبود رشد و افـزایش فتوسـنتز و تولیـد مـواد فتوسـنتزی گشـته و در نتیجه در مرحله پر شدن دانه شیره پرورده کافی به دانه‌ها انتقال یافته و احتمالا از این طریق موجب افزایش تعداد کل دانه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه ذرت گردید.

اثر بر همکنش کود شیمایی فسـفر و آبیـاری تنهـا بـرای صـفات عملکرد دانه و تعداد دانه در ردیف بـلال معنـی دار بـود (جـدول ۲) و بیشترین میانگین این صفات نیز مربوط به تیمـار آبیـاری معمـول بـه همراه مصرف متعادل کـود سـوپر فسـفات تریپـل بـود. همچنـین در شرایط کم آبیاری نیز استفاده متعـادل از کـود سـوپر فسـفات تریپـل نسبت به خاک فسفات بهتر بود (شکل ۲a,b). علی آبادی فرهـانی و همکاران (۱۱) اظهار کردند که فسفر نقش مهمی در افزایش عملکرد ماده خشک داراست و با افزایش عملکرد، می تواند بازده مصرف آب را نیز افزایش دهد.

اثر بر همکنش کود شـیمایی فسـفر و ریزموجـودات حـل کننـده فسفات تنها بر وزن هزار دانه و تعداد دانه در ردیف بلال معنی دار بود (جدول ۲)، بیشترین میانگین این صفات مربوط به تیمار کـاربرد تـوأم باکتری حل کننـده فسـفات و قـارچ میکـوریز آربسـکولار بـه همـراه مصرف متعادل کود سوپر فسفات تریپل بود، که البته از نظر تعداد دانه در ردیف بلال، اختلاف این تیمار، با تیمار کاربرد باکتری حـل کننـده فسفات و مصرف سوپر فسفات تریپل و همچنین تیمـار کـاربرد تـوأم باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار و مصرف خـاک فسفات معنی دار نبود (شکل ۳b,c). به طور کلـی ایـن نتـایج نشـان دادند که کاربرد باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسـکولار به همراه مصرف متعادل کود سوپر فسـفات تریپـل نسـبت بـه خـاک فسفات بهتر بوده است، این مطلب احتمالاً می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که ریزموجودات حـل کننـده فسـفات در ایـن آزمـایش توانـایی پایینی در انحلال خاک فسفات داشته‌اند. توحیدی مقـدم و همکـاران (۲) اظهار داشتند که تلقـیح بـذور ذرت بـا بـاکتری‌هـای حـل کننـده فسفات می‌تواند مصـرف کودهـای شـیمیایی فسـفر را بـه میـزان ۵۰ درصد کاهش دهد، ساندرا و همکاران (۴۲) نیز میزان کاهش کودهای شیمیایی فسفر در تلقیح با باکتری‌های حل کننده فسفات را بین ۲۵-۵۰ درصد گزارش کردند. از آن جایی که فسـفر نقـش مـوثری در فـاز زایشـی گیـاه ذرت دارد، زیسـت فراهمـی بیشـتر فسـفات در حضـور باکتری‌های حل کننـده فسـفات و قـارچ میکـوریز آربسـکولار باعـث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می شود. نتـایج تحقیـق سـینگ و کاپور (۳۹) بر روی گندم و نیز نتایج حاصل از آزمـایش دوبـی و بیلـور (۲۲) روی غلات و سیب زمینی، همگی حاکی از افزایش عملکرد ایـن محصولات، با کاربرد ریزموجودات حل کننده فسفات بود که با نتـایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد.

عملکرد زیستی، شـاخص برداشـت و درصـد کلنیزاسـیون ریشه

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات عملکـرد زیسـتی، شـاخص برداشـت و درصـد کلنیزاسـیون ریشـه در سـطوح آبیـاری و همچنین سطوح ریزموجودات حل کننده فسفات نشان دادند کـه تنهـا در صفات عملکرد زیستی و درصد کلنیزاسیون ریشه اخـتلاف آمـاری معنـی دار وجـود دارد، و بیشـترین میـزان عملکـرد زیسـتی و درصـد کلنیزاسیون ریشه در سطوح آبیـاری مربـوط بـه آبیـاری معمـول و در سطوح ریزموجودات حل کننده فسفات نیز بیشـترین میـزان عملکـرد زیستی و درصد کلنیزاسیون ریشه مربوط به کاربرد توأم باکتری حـل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار بود (جداول ۲ و۴). از این رو می‌توان نتیجه گرفت که در سـطوح مختلـف آبیـاری عمـلا شـاخص برداشت ثابت است، زیرا همان طور که تنش خشـکی باعـث کـاهش عملکرد دانه می‌شود، وزن خشک کل گیـاه را نیـز کـاهش مـی‌دهـد. سینکلر و همکاران (۴۰) عنوان کردند کـه شـاخص برداشـت در ذرت کمتر تحت تاثیر تنش خشکی قرار مـی‌گیـرد. لـک و همکـاران (۱۳) اظهار داشتند که کمبود آب از جمله عوامل محدود کننده رشـد و نمـو گیاه می‌باشد که علاوه بر کاهش عملکرد ماده خشک، موجب اختلال در تسهیم کربوهیدرات‌ها به دانه و کاهش شاخص برداشت می‌شود. از طرفی تفاوت بیشترین و کمترین شاخص برداشت بـه دسـت آمـده در سطوح مختلف باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسـکولار حدود یک درصد (۱/۲۶ درصد) بود که از نظر آماری نیز معنی دار نبود (جدول ۳). این نتایج نشان دادند که کاربرد سـطوح مختلـف بـاکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار در این بررسی عملکـرد ماده خشک و دانه را به نسبت مشابهی افزایش داده اسـت، در نتیجـه تاثیری روی شاخص برداشت نداشته است.

نتایج تجزیه واریانس برهمکنش سـطوح آبیـاری و ریزموجـودات حل کننده فسفات تنها بـر درصـد کلنیزاسـیون ریشـه معنـی دار بـود (جدول ۲)، بیشترین میزان کلنیزاسیون ریشه مربوط به تیمـار آبیـاری معمول به همراه کاربرد تـوأم بـاکتری حـل کننـده فسـفات و قـارچ میکوریز آربسکولار بود، در شرایط کم آبیاری نیـز بیشـترین میـانگین هنگامی بدست آمد که گیاه ذرت با هر دوی این ریزموجـودات تلقـیح شده بود (شکل ۱d). کلنیزاسیون توسط قارچ میکـوریز آربسـکولار بـا ایجاد تغییرات مورفولوژیک در ریشه منجر بـه افـزایش سـطح ریشـه می‌گردد. ریشه‌ها ساختاری را بـه منظـور حمایـت گیاهـان و افـزایش کارایی جذب آب و تامین عناصر غذایی معدنی بـرای گیـاه میزبـان و دامنه‌ی وسیعی از ریزموجودات خاک فراهم می‌کنند (۱۷). احتشامی و همکاران (۱) گزارش کردند که استفاده از مایه تلقیح میکوریزی سبب افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه می‌شـود امـا اسـتفاده از مایـه تلقـیح باکتری حل کننده فسفات باعث کاهش معنی دار درصـد کلنیزاسـیون

ریشه نسبت به تیمار شاهد گشته است، همچنین آنها مشاهده کردند که بر همکنش قارچ و باکتری باعث افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه شده است.

اثر سطوح مختلف کود فسفر برای هر سه صفت فوق معنی دار بود و نتایج مقایسه میانگین نشان دادند که بهترین تیمار کود شیمیایی فسفر، کود سوپر فسفات تریپل می‌باشد (جدول ۲). فسفر برای گیاهان جهت تحریک رشد گیاه جوان و تسریع رسیدگی اهمیت زیادی داشته، در نتیجه رشد گیاهان و رسیدگی آن‌ها در شرایط کمبود فسفر به تعویق افتاده و عملکرد گیاه کاهش می یابد (۳۷).

بر همکنش اثرات سطوح مختلف کود فسفر و سطوح آبیاری تنها برای صفت عملکرد زیستی معنی دار بود (جدول ۲) و بیشترین میزان این صفت نیز مربوط به تیمار آبیاری معمول و مصرف متعادل سوپر فسفات تریپل بود (شکل 2c). همچنین بر همکنش اثرات سطوح مختلف کود فسفر و ریزموجودات حل کننده فسفات برای هیچکدام از صفات فوق معنی دار نشد (جدول ۲). با وجود عدم معنی داری اثر متقابل کود فسفر و ریزموجودات حل کننده فسفات بر کلنیزاسیون ریشه، بیشترین درصد کلنیزاسیون در تیمارهای کاربرد توأم ریزموجودات حل کننده فسفات، آبیاری معمول و عدم مصرف کود شیمیایی و کمترین از تیمارهای عدم کاربرد باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار، کم آبیاری و مصرف سوپر فسفات تریپل بدست آمد (شکل 3d). ساورز و همکاران (۳۶) اظهار داشتند که در شرایط گلخانه‌ای زمانی که عناصر غذایی محدود هستند معمولا گیاهان زراعی میکوریزی شده نسبت به گیاهان میکوریزی نشده عملکرد بهتری دارند. در شرایط اشباع عناصر غذایی در سیستم‌های کشاورزی با مصرف نهاده بالا این مزیت نسبی کاهش می‌یابد، در حالیکه هزینه کربن (بیش از ۲۰ درصد کربن تثبیت شده توسط میزبان که به مصرف همزیست میکروبی‌اش می‌رسد)، باقی خواهد ماند و عملکرد گیاهان کلنیزه شده نسبت به گیاهان کلنیزه نشده کاهش چشم گیری خواهد داشت، به این دلیل آن‌ها عنوان کردند که کلنیزاسیون ریشه ذرت در صورت افزایش دسترسی به فسفر کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

در این بررسی کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار، به صورت توأم و یا جداگانه، باعث افزایش زیست توده کل گیاه، اجزای عملکرد و در نتیجه عملکرد دانه ذرت گشت. در هر دو شرایط کم آبیاری و آبیاری معمول کاربرد توأم باکتری حل کننده فسفات و قارچ میکوریز آربسکولار نسبت به کاربرد جداگانه این ریزموجودات از کارایی بیشتری در بهبود عملکرد دانه و سایر صفات برخوردار بود، که احتمالا به دلیل وجود یک اثر هم افزایی مثبت بین ریزموجودات حل کننده فسفات در این آزمایش می‌باشد. در کاربرد جداگانه این ریزموجودات نیز قارچ میکوریز آربسکولار نسبت به باکتری حل کننده فسفات تاثیر بیشتری روی کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی و افزایش زیست توده اندام هوایی و عملکرد دانه داشت. با استناد به نتایج این آزمایش و نتایج بدست آمده از مطالعات سایر محققین در این زمینه، به نظر می رسد که استفاده از ریزموجودات حل کننده فسفات یک شیوه بسیار موثر و با کارایی بالا در افزایش و بهبود رشد و نمو ذرت در شرایط کمبود آب و حاصلخیزی پایین خاک باشد. از این رو با توجه به هزینه بالای کودهای شیمیایی و خطرات زیستی محیطی ناشی از مصرف زیادی این کودها، استفاده از ریزموجودات حل کننده فسفات به تنهایی یا در تلفیق با مقدار متعادل و بهینه کودهای شیمیایی، گزینه مناسبی گزینه به منظور دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار می باشد.

منابع

۱- احتشامی، س.م.ر.، م. آقاعلیخانی، م.ر. چائی چی و ک. خاوازی. ۱۳۸۷. تاثیر کودهای زیستی فسفاته بر خواص کمی و کیفی ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط تنش کم آبی. مجله علوم گیاهان زراعی. ۴۰(۱): ۱۵-۲۶.

۲- توحیدی‌مقدم، ح.، م. نصری، ف. پاک‌نژاد و ح. زاهدی. ۱۳۸۶. بهینه سازی مصرف کودهای شیمیایی فسفات با کاربرد باکتری های حل کننده فسفات در زراعت ارقام دانه ای ذرت. فصلنامه دانش کشاورزی ایران. ۴(۴): ۴۱۳-۴۲۰.

۳- ثمربخش، س. ۱۳۸۵. تاثیر سموم قارچ کش بر کارایی همزیستی سویه های مختلف قارچ میکوریز آربسکولار با گیاه ذرت. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.

۴- جهان، م.، ع. کوچکی و م. نصیری‌محلاتی. ۱۳۸۶. رشد، فتوسنتز و عملکرد ذرت در پاسخ به تلقیح با قارچ میکوریزا و باکتری های آزادزی تثبیت کننده نیتروژن در نظام های رایج و اکولوژیک. مجله پژوهشهای زراعی ایران، ۵(۱): ۵۳-۶۷.

۵- جهان، م.، ع. کوچکی، ر. قربانی، ف. رجالی، م. آریایی و ا. ابراهیمی. ۱۳۸۸. اثر کاربرد کودهای زیستی بر برخی ویژگی های اگرواکولوژیکی ذرت در نظام های زراعی رایج و اکولوژیک. مجله پژوهشهای زراعی ایران. ۷(۲): ۳۷۵-۳۹۰.

۶- حاجی بلند، ر.، ن. علی‌اصغرزاده و ر. برزگر. ۱۳۸۶. تأثیر تلقیح گیاه برنج با دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار بر رشد، جذب فسفر و پتاسیم و تغییر

pH ریزوسفر. مجله علوم خاک و آب. ۲۱(۱): ۱۱۹-۱۲۹.
۷- خلیلی، ر. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر قارچ میکوریزی AM و باکتری های سودوموناس فلورسنس مقاوم به خشکی و مولد آنزیم ACC- دآمیناز بر شاخص های رشد و عملکرد گیاه گندم در شرایط تنش خشکی. پایان نامه کارشناسی ارشد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۸- راثی‌پور، ل و ن. علی‌اصغرزاد. ۱۳۸۶. اثرات متقابل باکتری های *سودموناس فلورسنس* و (*Bradyrhizobiom japanicum*) بر شاخص های رشد، غده بندی و جذب برخی عناصر غذایی در سویا. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴: ۵۳-۶۵.
۹- زارعی، م. ۱۳۸۷. بررسی تنوع قارچ های میکوریزی آربوسکولار در خاک های آلوده به فلزات سنگین و کارآیی آنها در گیاه پالایی. رساله دکتری خاکشناسی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۱۰- سلطانی طولارود، ع.ا.، ن. صالح راستین، ک. خاوازی، ه. اسدی‌رحمانی و پ. عباس‌زاده‌دهجی. ۱۳۸۶. جداسازی و بررسی صفات محرک رشد گیاهی(PGP) برخی از *سودوموناس های فلورسنت* بومی خاکهای ایران. مجله علوم خاک و آب. ۲۱(۲): ۲۸۷-۳۰۰
۱۱- علی آبادی فراهانی، ح.، م.ح. لباسچی، ا.ح. شیرانی راد، س.ع. ولدآبادی، آ. حمیدی و ع. علیزاده‌سهزابی. ۱۳۸۶. تأثیر قارچ *Glomus hoi*، سطوح مختلف فسفر و تنش خشکی بر تعدادی از صفات فیزیولوژیکی گشنیز. فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۳(۳): ۴۰۵-۴۱۵.
۱۲- کرمی، ع. ۱۳۸۷. بررسی تاثیر سودوموناس‌های تولید کننده سیدروفور بر گره زایی، عملکرد بیولوژیک و جذب برخی عناصر غذایی در دو رقم سویا. پایان نامه کارشناسی ارشد، گرایش بیولوژی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۱۳- لک، ش.، ا. نادری، س.ع. سیادت، ا. آیینه‌بند و ق. نورمحمدی. ۱۳۸۵. اثر سطوح مختلف نیتروژن و تراکم بوته در شرایط مختلف رطوبتی بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ در خوزستان. مجله علوم زراعی ایران. ۸(۲): ۱۵۳-۱۷۰.
۱۴- مجیدیان، م.، ا. قلاوند، ن. کریمیان و ع.ا. کامکارحقیقی. ۱۳۸۷. تاثیر تنش رطوبت، کود شیمیایی نیتروژنه، کود دامی و تلفیقی از کود نیتروژن و کود دامی بر عملکرد، اجزای عملکرد و راندمان استفاده از آب ذرت سینگل کراس ۷۰۴. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲(۴۵): ۴۱۷-۴۳۲.
۱۵- موسوی جنگلی، س.ا.، ب. ثانی، م. شریفی و ز. حسینی‌نژاد. ۱۳۸۳. بررسی تأثیر باکتری های حل کنندهٔ فسفات و میکوریز بر روی صفات کمی ذرت دانه ای (سینگل کراس ۷۰۴). چکیدهٔ مقالات هشتمین کنگرهٔ علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه گیلان، ص ۱۸۴.
16-Abdul Jaleel, C., P. Manivannan, B. Sankar, A. Kishorekumar, R. Gopi, R. Somasundaram and R. Panneerselvam. 2007. *Pseudomonas fluorescens* enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 60:7–11.
17-Akhtar, M.S., and Z.A. Siddiqui. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi as potential bioprotestants against plant pathogens. P. 61–97. In: Z.A. Siddiqui, et al., (Eds.) Mycorrhizae: sustainable agriculture and forestry. Springer Science+ Business Media B.V.
18-Auge´, R.M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza. 11:3–42.
19-Boomsma, C.R., and T.J. Vyn. 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. Field Crops Res. 108:14–31.
20-Cabello, M., G. Irrazabal, A.M. Bucsinszky, M. Saparrat and S. Schalamuck. 2005. Effect of an arbuscular mycorrhizal fungus, *G. mosseae* and a rock-phosphate-solubilizing fungus, *P. thomii* in *Mentha piperita* growth in a soilless medium. J. Basic Microbiol. 45:182-189.
21-Campos, H., M. Cooper, J.E. Habben, G.O. Edmeades and J.R. Schussler. 2004. Improving drought tolerance in maize. Field Crops Res. 90:19–34.
22-Dubey, S.K., and S.d. Billore. 1992. Phosphate solubilizing microorganism as inoculants and their role in augmenting crop productivity in India: A review. Crop Research Hisar. 5:1-11.
23-Edmeades, G.O., M. Bänziger, H.R. Mickelson and C.B. Peña-Valdivia. 1996. Developing drought- and low N tolerant maize. P. 1-558. proceedings of a symposium sustainable maize and wheat systems for the poor, 25-29 March 1996. CIMMYT, El Batán, Mexico.
24-Garbaye, J. 1994. Helper bacteria-a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. New Phytol. 128:197-210.
25-George, E., H. Marschner and I. Jakobsen. 1995. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. Crit. Rev. Biotechnol. 15:257–270.
26-Gyaneshwar, P., G. Naresh Kumar, L.J. Parekh and P.S. Poole. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. Plant and Soil. 245:83-93.
27-Han, H.S., and K.D. Lee. 2005. Phosphate and potassium solubilizing bacteria effect on mineral uptake, soil availability and growth of eggplant. Res. J. Agric. & Biol. Sci. 1(2):176-180.
28-Henri, F., N.N. Laurette, D. Annette, Q. John, M. Wolfgang, E. François-Xavier and N. Dieudonné. 2008. Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by strains of *Pseudomonas fluorescens* isolated from acidic soils of Cameroon. Afr. J. Microbiol. Res. 2:171-178.

29-Khan, A.A., G. Jilani, M.S. Akhtar, S.M.S. Naqvi and M. Rasheed. 2009. Phosphorus solubilizing bacteria: Occurrence, mechanisms and their role in crop production. J. agric. biol. sci. 1(1):48-58.
30-Kormanik, P.P., and A.C. McGraw. 1982. Quantification of Vesicular-arbuscular Mycorrhizae in Plant Roots. p. 37-45. In: Sheed N.C. (Ed.) Methods and Principles of Mycorrhizal Research. American Phytopathological Society. St. Paul.
31-Mehrvarz, S., and M.R. Chaichi 2008. Effect of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on forage and grain quality of barely (*Hordeum vulgare* L.). American-Eurasian J. Agric. and Environ. Sci. 3(6): 855-860.
32-Mehraban, A., S. Vazan, M.R. Naroui-Rad and M.R. Ardakany. 2009. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza (VAM) on yield of sorghum cultivars. J. Food, Agric. Environ. 7:461- 463.
33-Ngwene, B., E. George, W. Claussen, and E. Neumann 2010. Phosphorus uptake by cowpea plants from sparingly available or soluble sources as affected by nitrogen form and arbuscular-mycorrhiza-fungal inoculation. J. Plant Nutr. Soil Sci. 173: 353–359.
34-Page, A.L., H.R. Miller and R.D. Keeney. 1982. Methods of soil analysis, Part.II, Chemical and microbiological properties. Monograph number 9, Second edition, ASA, Madison, WI.
35-Poulton, J.L., D. Bryla, R.T. Koide and A.G. Stephenson. 2002. Mycorrhizal infection and high soil phosphorus improve vegetative growth and the female and male functions in tomato. New Phytol. 154: 255–264.
36-Sawers, R.J.H., C. Yang, S.Y. Gutjahr and U. Paszkowski 2008. The Molecular Components of Nutrient Exchange in Arbuscular Mycorrhizal Interactions. P. 37–59. In: Z.A. Siddiqui et al., (Eds) Mycorrhizae: Sustainable agriculture and forestry. Springer Science+ Business Media B.V.
37-Sawyer, J. and J. Creswell. 2000. Integrated crop management. P. 182-183. In: Phosphorus basics. Iowa State University, Ames, Iowa.
38-Siddiqui, Z.A. and J. Pichtel. 2008. Mycorrhizae: an overview. P. 1–35. In: Z.A. Siddiqui et al., (Eds) Mycorrhizae: Sustainable agriculture and forestry. Springer Science+ Business Media B.V.
39-Singh, S. and K.K. Kapoor. 1998. Inoculation with phosphate solubilizing microorganism and a vesicular mycorrhizal fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat growth in a sandy soil. Biology and Fertility of soil. 28:139-144.
40-Sinclair, T.R., J.M. Bennett and R.C. Muchow. 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field grown maize. Crop Sci. 30:690-693.
41-Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its Mechanisms. Electronic J. Biology. 1(3):44-48.
42-Sundara, B., V. Natarajan and K. Hari. 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yield. Field Crops Res. 77:43-49.
43-Yazdani, M., M.A. Bahmanyar, H. Pirdashti and M.A. Esmaili. 2009. Effect of phosphate solubilizing microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of Corn (*Zea mays* L.*)*. Proc. World Acad. Science, Eng. Technol. 37:90-92.