نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد سیزدهم، شماره ۳(۵۱)، پاییز ۱۳۹۸، صفحه ۳۷۶-۳۵۹

تأثیر کاربرد قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) سینگل کراس ۷۰۴ تحت رژیم‌های آبیاری

خوشناز پاینده[1*]، مانی مجدم[2] و نازلی دروگر[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۳ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۵/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۲۳

چکیده

امروزه کاربرد قارچ‌های میکوریزی به‌منظور بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه و افزایش مقاومت آن در برابر تنش‌های محیطی از جمله کمبود آب قابل دسترس به‌طور گسترده‌ای در کشورهای در حال توسعه مورد توجه قرار گرفته است. این تحقیق بر اساس آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۹۷ در منطقه حمیدیه اجرا گردید. تیمار رژیم‌های آبیاری در سه سطح (۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) در کرت‌های اصلی و اثر توأم قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات در چهار سطح (عدم کاربرد میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (شاهد)، کاربرد میکوریزا، کاربرد توأم میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اثر رژیم‌های آبیاری و اثر توأم قارچ میکوریزا و کود زیستی فسفر بر شاخص سطح برگ، درصد همزیستی، تعداد دانه در ردیف بلال، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه و عملکرد دانه معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار توأم قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات حداکثر تعداد دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، وزن هزار دانه و شاخص سطح برگ را به خود اختصاص داد. بیشترین عملکرد دانه (با میانگین ۶۴۰۰/۵۵ کیلوگرم در هکتار) از تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و کاربرد توأم میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کمترین عملکرد دانه از تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و عدم کاربرد میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات به‌دست آمدند. در مجموع، جهت دست‌یابی به حداکثر عملکرد کمّی، کشت گیاه ذرت با کاربرد اثر توأم میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات در شرایط رطوبتی مناسب می‌تواند در شرایط منطقه تحت آزمایش مورد توجه باشد.

واژگان کلیدی: شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، کود زیستی فسفر، میکوریزا.

۱- استادیار گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. (نگارنده‌ی مسئول) payandeh426@gmail.com
۲- استادیار گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۳- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهم‌ترین غلات است که در بیش از ۱۸۰ میلیون هکتار از اراضی دنیا کشت می‌شود و تولید دانه آن بالغ بر ۱۰۰۰ میلیون تن است (Anonymous, 2014). ذرت به همراه برنج حداقل ۳۰٪ کالری غذایی را در ۹۴ کشور درحال‌توسعه، جایی که یک‌سوم کودکان در آنجا سوءتغذیه دارند، فراهم می‌کند (Chaudhary *et al.*, 2014). تا سال ۲۰۵۰ تقاضا برای ذرت در کشورهای در حال توسعه دو برابر تقاضای فعلی خواهد شد (Von Braun *et al.*, 2010) و این در حالی است که هرساله عملکرد ذرت در دنیا به سبب رخداد خشکی حدود ۱۵ تا ۲۰٪ کاهش می‌یابد و در سال‌های آینده این میزان به سبب خشکی‌های شدیدتر بیشتر خواهد شد (Anonymous, 2014). عملکرد محصولات زراعی در بسیاری از مناطق توسط تنش‌های محیطی زنده یا غیرزنده محدود شده و به همین دلیل اختلاف قابل‌توجهی بین عملکرد واقعی و عملکرد بالقوه محصولات زراعی مشاهده می‌شود. آب برای تمامی مراحل رشد گیاهان ضروری است. در این صورت ناکافی بودن آب یک عامل محدود کننده برای زمین و گیاه به‌شمار می‌رود (Tabatabaei *et al.*, 2015). آب یک عامل کلیدی در تولید محصولات زراعی است. تأثیر تنش آبی روی گیاهان یک مشکل مهم است که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تنش آبی باعث می‌شود تا پتانسیل آب برگ و فعالیت‌های فتوسنتزی کاهش یابد (Beigzadeh *et al.*, 2013). گریواز و وانگ (Greaves and Wang, 2017) با بررسی اثر تنش خشکی (آبیاری کامل، ۵۰، ۴۰، ۳۰ و ۲۰ میلی‌متر تبخیر) بر مؤلفه‌های تولیدی ذرت گزارش نمودند میانگین بالاترین عملکرد دانه (۱۰۰۸ گرم در مترمربع) بود که منجر به کاهش معنی‌دار به میزان ۳۳٪ شد. این کاهش به‌طور معنی‌داری باعث کاهش تعداد دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف و وزن هزاردانه شد. آفرینش و همکاران (Afarinesh *et al.*, 2015) با اعمال تیمارهای مختلف آبیاری در گیاه ذرت اعلام داشتند کاهش آبیاری قبل از گلدهی ذرت، باعث کاهش تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه و کاهش عملکرد دانه گردید. در سال‌های اخیر برای مقابله با کم آبی و تنش خشکی، قارچ‌های میکوریزا در بسیاری از گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است. تنش آبی باعث کاهش جذب آب توسط سیستم ریشه گیاه، کاهش تعرق، کاهش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز و همچنین به هم خوردن موازنه هورمونی در گیاه می‌گردد. عقیده بر این است که هم‌زیستی قارچی میکوریزا از گیاهان در برابر صدمات تنش خشکی محافظت می‌کند (Auge *et al.*, 2015). از مکانیسم‌های احتمالی افزایش تحمل به خشکی در گیاهان میکوریزایی می‌توان به افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه‌ها (Tian *et al.*, 2013)، افزایش جذب آب در شرایط رطوبتی کم به‌دلیل گسترش ریسه‌های قارچی، ایجاد تعادل اسمزی و حفظ فشار تورگر، افزایش فعالیت فتوسنتزی، تجمع کربوهیدرات‌ها و پرولین و افزایش جذب عناصر غذایی اشاره کرد (Deepika and Kothamasi, 2015). مشخص شده است گیاهان همزیست چه در شرایط تنش چه در شرایط بدون تنش فسفر بیشتری جذب می‌کنند و در نتیجه این گیاهان رشد بهتر و محصول بیشتری خواهند داشت (Abbaspour *et al.*, 2012). همچنین، این قارچ‌ها از طریق افزایش نسبی جذب آب که باعث رقیق شدن اثرات یون‌های سمی می‌شود، افزایش غلظت قندهای

محلول در ریشه که منجر به کاهش پتانسیل اسمزی ریشه می‌شود و ایجاد تعادل عناصر غذایی گیاه موجب افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی می‌گردند (Tavasoli and Asgharzadeh, 2009). کودهای بیولوژیکی می‌توانند علاوه بر تولید محصول کافی، مصرف کودهای شیمیایی را کاهش دهند، که این امر کمک قابل توجهی به سالم‌سازی محیط زیست می‌کند و راهبرد مهمی در جهت حرکت به سمت کشاورزی پایدار می‌باشد. از جمله کودهای زیستی که حاوی ریز موجودات متعددی هستند می‌توان به فسفات بارور۲ اشاره کرد (Fathi, 2017). کود بیولوژیک فسفات بارور ۲ حاوی مواد نگهدارنده با جمعیت متراکم یک یا چند نوع ریزجاندار مفید خاکزی یا به‌صورت فرآورده متابولیک این موجودات می‌باشد که به‌منظور بهبود حاصلخیزی خاک و عرضه مناسب فسفر مورد نیاز گیاه در یک سیستم کشاورزی پایدار به کار می‌رود. وجود چنین مشخصه‌هایی باعث شده است که بتوان این کود زیستی را در طیف گسترده‌ای از خاک‌های ایران و برای محصولات گوناگون به کار برد (Yomg *et al.*, 2005). عبادی و همکاران (Ebadi *et al.*, 2016) با بررسی قارچ میکوریزا در گیاه ذرت گزارش نمودند کاربرد این قارچ باعث افزایش اجزای عملکرد و در نتیجه عملکرد دانه ذرت شد. یزدانی و همکاران (Yazdani *et al.*, 2009) در گیاه ذرت اظهار داشتند تلقیح بذر با باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا باعث کاهش ۵۰ درصدی مصرف کودهای شیمیایی بدون کاهش عملکرد ذرت شد. ژائو و همکاران (Zhao *et al.*, 2015) در گیاه ذرت اظهار داشتند وجود قارچ میکوریزا در محیط ریشه گیاه تأثیر مثبتی بر رشد گیاه داشته است که این امر می‌تواند مربوط به تولید و ترشح ترکیبات تحریک‌کننده رشد گیاه و یا برخی هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد از جمله سیتوکینین باشد که توسط قارچ میکوریزا در خاک تولید می‌شود.

تحقیق حاضر به‌منظور بررسی تأثیر قارچ میکوریزا و کود فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در منطقه حمیدیه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۷ در مزرعه‌ای با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۳ متر از سطح دریا واقع در شهرستان حمیدیه در استان خوزستان انجام شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل تحقیق در جدول ۱ ارایه شده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح (۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (شاهد)، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) در کرت‌های اصلی و اثر توأم قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات در چهار سطح (عدم کاربرد میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (شاهد)، کاربرد میکوریزا، کاربرد توأم میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات، کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات) به کرت‌های فرعی تعلق گرفتند.

عملیات تهیه بستر شامل شخم با گاو آهن برگردان‌دار، دیسک و نهایتاً عملیات تسطیح با ماله بود. آزمایش از ۳۶ کرت تشکیل شده بود. هر کرت دارای شش ردیف کاشت به طول پنج متر بود که فاصله ردیف‌ها در آن ۷۵ سانتی‌متر در نظر

گرفته شد. کود پایه به‌کار برده شده در مزرعه شامل کود نیتروژن از منبع اوره به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت تقسیط در دو مرحله (۵۰٪ همزمان با کاشت و ۵۰٪ در مرحله شش برگی به‌صورت سرک) توزیع شد. ۹۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل نیز به‌عنوان کود پایه مصرف گردید. به‌منظور تلقیح باکتری‌های حل کننده فسفر از کود زیستی فسفره (با نام تجاری بارور ۲) استفاده گردید. به این منظور، ابتدا کود مورد نظر (به مقدار ۱۰۰ گرم در هکتار) در یک ظرف ۱۰ لیتری پر از آب حل گردید، سپس بذور ذرت (هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ تهیه شده از مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان) به مدت ۱۰ دقیقه در این ظرف قرار داده و با محلول کودی آغشته و سپس اقدام به کاشت آنها شد. برای اعمال کود زیستی فسفر، ابتدا کود مورد نظر (به مقدار ۱۰۰ گرم در هکتار) در یک ظرف ۱۰ لیتری پر از آب حل گردید، سپس بذور ذرت (هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ تهیه شده از مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان) قبل از کاشت به مدت ۱۰ دقیقه در این ظرف قرار داده و با محلول کودی (به صورت بذرمال) آغشته و سپس اقدام به کاشت آنها شد. کود زیستی بارور۲ حاوی 10^{7} تا 10^{8} باکتری حل‌کننده فسفات از گونه پانتوآ آگلومرانس (*Pantoea agglomerans*) سویه P5 و سودوموناس پوتیدا (*Pseudomonas putida*) سویه P13) در هر گرم از محصول است که با تولید اسیدهای ارگانیک و آنزیم‌های فسفاتاز در اطراف ریشه باعث آزاد شدن یون فسفات می‌شود. قارچ میکوریزا مورد استفاده در این تحقیق گونه *Glomus mosseae* تهیه شده از کلکسیون میکروبی مؤسسه تحقیقات آب و خاک تهران بود. میزان مصرف میکوریزا حدود ۲۰ گرم در مترمربع (معادل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) بود. سپس روی قارچی که در شیار ریخته شد با خاک به اندازه دو سانتی‌متر پوشش داده شد و بذرها روی خاک کاشته و روی بذرها حدود سه سانتی‌متر با خاک پوشانده شد. قارچ میکوریزا شامل مخلوطی از شن، ماسه استریل، خاک ریشه، هیف قارچ و تعداد ۲۰ اسپور قارچی در هر گرم بود. پس از آماده شدن خطوط کشت، کاشت به‌صورت دستی در تاریخ ۲۶ تیر ماه ۱۳۹۷ انجام شد. اولین آبیاری یک روز بعد از کشت انجام و تا مرحله چهار تا پنج برگی، آبیاری‌ها بر اساس عرف منطقه انجام شد. آبیاری‌های بعدی با توجه به میزان تبخیر از تشتک تبخیر صورت پذیرفت. کنترل علف‌های‌هرز به‌صورت وجین دستی انجام شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه در هر کرت آزمایشی پس از حذف ۰/۵ متر از دو انتهای خطوط، تمامی بلال‌های موجود در خطوط سوم، چهارم و پنجم از سطحی معادل دو مترمربع به صورت دستی برداشت و پس از خرمن‌کوبی و بوجاری وزن شد. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در ردیف، به‌طور تصادفی پنج بلال از کل بلال‌های برداشت شده در هر کرت جدا و دانه‌های تمام ردیف آنها شمارش و میانگین آنها به‌عنوان تعداد دانه در ردیف در نظر گرفته شد. به‌منظور محاسبه وزن هزار دانه، دو دسته ۵۰۰ تایی از بذور جدا شده و اگر اختلاف آنها کمتر از شش درصد بود، مجموع وزن آنها به‌عنوان وزن هزار دانه تعیین شد. در غیر این صورت از دو دسته دیگر ۵۰۰ تایی استفاده گردید (Kordzangeneh and Marashi, 2018). برای محاسبه سطح برگ‌ها در مرحله گلدهی پنج بوته انتخاب و از فرمول تجربی $A=W\times L\times ۰/۷۵$ استفاده شد که در آن A سطح برگ بر حسب سانتی‌متر مربع، L و W به‌ترتیب

حداکثر طول و عرض برگ در پهن‌ترین قسمت می‌باشد. سپس از نسبت سطح برگ تک بوته به سطح زمینی که اشغال کرده بود شاخص سطح برگ به دست آمد (Koochaki and Sarmadnia, 2008). برای محاسبه درصد همزیستی ریشه در مرحله گلدهی از ریشه‌های گیاه به اندازه تقریبی یک گرم نمونه‌برداری و به آزمایشگاه منتقل و رنگ‌آمیزی شدند. برای رنگ‌آمیزی از روش فیلیپس و هایمن (Philips and Hayman, 1970) استفاده شد. در نهایت با روش تقاطع خطوط شبکه، درصد همزیستی ریشه محاسبه شد (Dalp, 1993). میزان فسفر به روش اسپکتروفتومتری (Anonymous, 1996) اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS (Ver.8) انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح آماری پنج درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر رژیم‌های آبیاری و تلفیق میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین شاخص سطح برگ به میزان ۳/۱۱ به تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک اختصاص یافت که نسبت به تیمار شاهد ۲۳ درصد کاهش داشت (جدول ۳). تنش آب در طی مرحله رویشی، رشد ساقه و سلول‌های برگ را کاهش داده و در نتیجه سطح برگ کمتر می‌گردد و این امر باعث کاهش شاخص سطح برگ در تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک می‌شود (Lauer, 2003). علت افزایش شاخص سطح برگ در شرایط ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، گسترش بیشتر و تداوم سطح برگ بود که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هرچه بیشتر نور دریافتی و تولید ماده خشک گردید (Osborne *et al.*, 2002). در این رابطه کنعانی و همکاران (Kanani *et al.*, 2016) بیان نمودند که با کاهش آبیـاری شاخص سطح برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بر اساس اظهارات بوداجبی و همکاران (Boudjabi *et al.*, 2015) تنش خشکی به‌طور معنی‌داری بر روی شاخص سطح برگ اثر می‌گذارد و با افزایش در شدت تنش خشکی شاخص سطح برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. مقایسه میانگین نشان داد بیشترین شاخص سطح برگ به تیمار کاربرد توأم قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کمترین آن به تیمار عدم کاربرد میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (شاهد) اختصاص یافت (جدول ۳). کلونیزه شدن گیاهان به‌وسیله قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات سبب تنظیم اسمزی بهتر و بهبود رابطه آبی می‌شود. قارچ با گسترش سیستم هیف در اطراف ریشه، سبب افزایش تماس ریشه با خاک می‌شود و در نتیجه توانایی جذب آب در آنها بیشتر می‌گردد. علاوه بر این، قارچ موجب افزایش جذب عناصر غذایی از خاک و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی می‌گردد که عامل افزایش رشد ریشه، اندام هوایی و شاخص سطح برگ می‌باشد (Wu *et al.*, 2009). در این رابطه حمزه‌ئی و بابایی (Hamzei and Babaei, 2016) در گیاه ذرت گزارش نمودند بیشترین میزان شاخص سطح برگ (۴/۸) از تیمار گیاهان میکوریزایی به همراه ۴۰٪ باکتری‌های حل‌کننده فسفات به دست آمد و کمترین مقدار آن (۲/۴) بدون اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد از گیاهان میکوریزایی و عدم مصرف باکتری‌های حل‌کننده فسفات حاصل شد. مصرف کود فسفر تا

سطح ۴۰٪ توصیه شده در شرایط کاربرد میکوریزا، شاخص سطح برگ و رشد ذرت را به طور معنی‌داری بهبود بخشید. در این رابطه بومسما و وین (Boomsma and Vyn, 2008) در ذرت گزارش نمودند باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا با محلول‌سازی فسفات نامحلول خاک و همچنین از طریق مکانیسم‌های هورمونی قادر هستند طول و عمق نفوذ ریشه را گسترش دهند با این افزایش در میزان جذب آب و عناصر غذایی سطح برگ نیز افزایش می‌یابد. نتایج آزمایش حاضر با یافته‌های آمریان و همکاران (Amerian *et al.*, 2001) و گوپتا و همکاران (Gupta *et al.*, 2002) که اظهار داشتند گیاهان میکوریزایی به سبب افزایش قابلیت دسترسی به فسفر از شاخص سطح برگ بیشتری برخوردارند، مطابقت دارد.

میزان فسفر: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر رژیم آبیاری، تلفیق میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر مقدار فسفر دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد اما برهمکنش این دو عامل اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۲). بیشترین مقدار فسفر دانه به تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک مربوط بود که نسبت به تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک ۲۹ درصد افزایش یافت (جدول ۳). به نظر می‌رسد تنش آب در مرحله پر شدن دانه برخلاف پروتئین، جذب فسفر و انتقال مواد فتوسنتزی را کاهش داد و باعث شد فسفر کمتری به دانه انتقال یابد. در بررسی گونس و همکاران (Gunes *et al.*, 2006) تنش خشکی منجر به کاهش مقدار فسفر دانه می‌گردد. همچنین، بیشترین مقدار فسفر مربوط به تیمار کاربرد توأم قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کمترین به تیمار عدم کاربرد میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (شاهد) اختصاص یافت (جدول ۳). با توجه به اینکه نقش اصلی قارچ‌های میکوریزا تأمین فسفر است و فسفر در خاک عنصری کم تحرک است و به سرعت به شکل فسفات کلسیم یا اشکال دیگر تثبیت شده و به‌صورت غیرمتحرک در می‌آید، بنابراین قارچ‌های میکوریزا در افزایش جذب مواد معدنی به‌ویژه فسفر در گیاه تأثیر مثبت داشت. شیخی و همکاران (Sheikhi *et al.*, 2012) نشان دادند کاربرد توأم قارچ میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات سبب افزایش جذب فسفر و عملکرد دانه ذرت تحت شرایط تنش خشکی گردید.

درصد همزیستی: اثر رژیم‌های آبیاری و تلفیق میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات و برهمکنش آنها بر درصد همزیستی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین درصد همزیستی در ترکیب تیماری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر و تلفیق میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کمترین میزان این صفت به تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و عدم کاربرد میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات اختصاص یافت (شکل ۱). به نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی، سیستم ریشه‌های گیاه توسعه‌یافته و در نتیجه سطح جذب ریشه‌ها به علت نفوذ هیف‌های قارچ در خاک افزایش یافته و در نتیجه ریشه به حجم بیشتری از خاک دسترسی پیدا کرده و جذب آب و عناصر غذایی افزایش یافته و مواد آلی بیشتری به سمت قارچ‌ها ارسال می‌کند، در نتیجه درصد همزیستی ریشه افزایش می‌یابد. گزارش شده است در شرایط تنش، درصد همزیستی ریشه گیاه بیشتر از شرایط بدون تنش بود (Bethenfalway *et al.*, 1988).

تعداد ردیف در بلال: در این تحقیق اثر رژیم‌های آبیاری و اثر توأم قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات و برهمکنش این دو عامل بر تعداد ردیف در بلال تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). این امر به‌نوبه خود بر ژنتیکی بودن این مؤلفه و پایداری نسبتاً بالای آن در مقابل تغییرات محیطی دلالت دارد. نتایج نشان داد تعداد ردیف در بلال برای تیمارهای مختلف بسیار به هم نزدیک هستند و اختلاف بین تیمارها محسوس نیست. شمار نهایی تعداد ردیف در هر بلال پیش از بقیه اجزای عملکرد روی ناحیه نموی بلال تعیین می‌شود. لذا احتمالاً در مرحله تعیین تعداد ردیف در بلال رقابت چندانی بین مقصدهای فیزیولوژیک برای مواد پرورده وجود نداشته است (Elhai Saharian and Marashi, 2017).

تعداد دانه در ردیف: نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر رژیم‌های آبیاری و تلفیق میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر صفت تعداد دانه در ردیف در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد اما برهمکنش این دو عامل اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). مقایسه میانگین رژیم‌های مختلف آبیاری نشان داد بیشترین تعداد دانه در ردیف به تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و کمترین مقدار به تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک اختصاص یافت که نسبت به تیمار شاهد ۲۷/۸ درصد کاهش یافت (جدول ۳). به نظر می‌رسد کاهش تعداد دانه در ردیف در دور آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک به دلیل عدم دریافت میزان آب کافی در زمان گلدهی بود که از مراحل حساس رشد در دوره رشد ذرت می‌باشد. کانگ و همکاران (Kang *et al.*, 2000) نیز نشان دادند افزایش شدت تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار تعداد دانه در ردیف شد. دلایل کاهش تعداد دانه در ردیف در این شرایط را می‌توان به برخورد مراحل رشد رویشی گیاه بخصوص در مرحله ۱۲ برگی به بعد و مرحله رشد زایشی با تنش خشکی، مرتبط دانست. در این رابطه گریواز و وانگ (Greaves and Wang, 2017) گزارش نمودند کمبود آب منجر به کاهش تعداد دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف و وزن هزاردانه شد. از طرفی آفرینش و همکاران (Afarinesh *et al.*, 2015) با اعمال تیمارهای مختلف آبیاری در گیاه ذرت اعلام داشتند کاهش آبیاری قبل از گلدهی ذرت باعث کاهش تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه و کاهش عملکرد دانه گردید که نتایج این تحقیق را تأیید نمود.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین تعداد دانه در ردیف مربوط به تیمار کاربرد توأم قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کمترین آن به تیمار عدم کاربرد میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (شاهد) اختصاص یافت (جدول ۳). در این پژوهش باکتری‌های محرک رشد از طریق فرآیندهای مختلفی از قبیل تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌های محرک رشد و ترشح آنزیم‌های مختلف، از قبیل آنزیم فسفاتاز و اسیدهای آلی که موجب محلول‌سازی فسفات و افزایش فسفات قابل جذب گیاه می‌شوند (Hamzei and Babaei, 2016). از طرفی انشعابات میسیلیومی قارچ‌های میکوریزا می‌توانند به درون خاک و روزنه‌هایی که برای ریشه و تارهای کشنده‌ی گیاه در دسترس نیستند، راه یابند و به این ترتیب از حجم بیشتری از خاک استفاده کنند. این ریزجانداران با فراهم کردن سطح اضافی برای جذب، باعث افزایش جذب عنصرهای غذایی به‌ویژه فسفر و نیتروژن می‌شوند و به این ترتیب تولید آسیمیلات در گیاه را افزایش می‌دهند

(Heidari and Karami, 2014). بنابراین، همزیستی گیاه با این میکروارگانیزم‌ها افزایش اجزای عملکرد ذرت از جمله تعداد دانه در ردیف را درپی داشت. در این رابطه عبادی و همکاران (Ebadi *et al.*, 2016) با بررسی تاثیر قارچ میکوریزا در گیاه ذرت گزارش نمودند کاربرد قارچ میکوریزا باعث افزایش تعداد دانه در ردیف شد، که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. برطبق گزارش‌های آرپانا و بگ‌یاراج (Arpana and Bagyaraj, 2007) میکوریزا از طریق بهبود کارآیی جذب عناصر غذایی به‌خصوص فسفر، به بهبود رشد رویشی و زایشی ذرت منجر می‌شود. همچنین، با توجه به نقش فسفر در افزایش تعداد دانه در گل، می‌توان افزایش توان تولیدی بذر توسط بلال ذرت را در اثر کاربرد میکوریزا به این موضوع نسبت داد. این نتایج با یافته‌های سایر پژوهشگران که گزارش کردند کاربرد میکوریزا تعداد دانه در ردیف ذرت را افزایش می‌دهد، مطابقت دارد (Ghorbanian *et al.*, 2012 Sarajuoghi *et al.*, 2012).

تعداد دانه در بلال: تعداد دانه در بلال تحت تأثیر رژیم آبیاری و تلفیق میکوریزا و باکتری حل کننده فسفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد اما برهمکنش این دو عامل بر تعداد دانه در بلال تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). کمترین تعداد دانه در بلال به تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک اختصاص یافت که نسبت به تیمار شاهد ۲۲٪ کاهش یافت (جدول ۳). می‌توان اظهار داشت در تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک به دلیل شکل‌گیری ضعیف اندام‌های زایشی و به تبع آن گرده‌افشانی نامناسب، تعداد دانه در بلال کاهش معنی‌داری نشان داده است. در این رابطه کریشنا (Krishna, 2012) گزارش کرد کاهش شدید عملکرد در طی دوره‌ی زایشی بر اثر کمبود آب وجود دارد. کمبود آب در دوره‌ی گرده‌افشانی باعث کاهش موفقیت در باروری و عدم تشکیل دانه در بلال می‌شود. نتایج تحقیقات خلیلی و همکاران (Khalili *et al.*, 2013) تأیید کننده آن است که تنش خشکی با تأثیر منفی بر رشد و نمو اندامک‌های زایشی موجب کاهش اجزای عملکرد از جمله تعداد دانه در بلال شد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. مقایسه میانگین اثر توأم قارچ میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات بر تعداد دانه در بلال نشان داد بیشترین تعداد دانه در بلال مربوط به تیمار کاربرد توأم قارچ میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات و کمترین به تیمار عدم کاربرد میکوریزا و کود (شاهد) اختصاص یافت (جدول ۳). به نظر می‌رسد همزیستی ذرت با میکوریزا در صورت مصرف متعادل کود فسفر، به‌دلیل تولید هورمون‌های محرک رشد و مواد بیولوژیکی فعال توسط میکوریزا، ظرفیت فتوسنتزی ذرت افزایش و در نتیجه تأمین مواد آلی مورد نیاز بخش زایشی گیاه (بلال)، تعداد دانه در بلال افزایش یافته است. این نتایج با یافته‌های سایر پژوهشگران که گزارش کردند کاربرد توأم میکوریزا و فسفر باعث افـزایش اجزای عملکرد می‌شود، هماهنگ است (Amirabadi *et al.*, 2008). در هر دو شرایط کم آبیاری و آبیاری معمول، کاربرد قارچ میکوریزا از کارآیی بیشتری در بهبود عملکرد دانه و سایر صفات برخوردار بود، که احتمالاً به دلیل وجود یک اثر هم‌افزایی مثبت بین میکروارگانیزم‌ها می‌باشـــد. بر اسـاس گزارش‌های یزدانی و همکاران (Yazdani *et al.*, 2009) فسفر از عوامل مهم در دانه‌بندی و تشکیل دانه ذرت است بنابراین، به نظر می‌رسد کودهای بیولوژیک فسفره با انحلال فسفات‌های نامحلول

خاک، امکان دریافت فسفر را برای گیاه بیشتر کرده و باعث افزایش تعـداد کل دانه در بـلال می‌شود.

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمار رژیم‌های آبیاری و کاربرد توأم میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود اما برهمکنش این تیمارها تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیـمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک بود که نسبت به تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک ۱۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). از آن‌جایی که ساقه ذرت به‌عنوان منبع کربوهیدرات‌های غیرساختمانی متحرک جهت انتقال به دانه پس از گلدهی به شمار می‌رود، بروز تنش خشکی در این مرحله از طریق کاهش ارتفاع بوته که نتیجه حساسیت بالای فرآیندهای تقسیم و رشد سلولی به تنش خشکی می‌باشد باعث کاهش کربوهیدرات‌های غیرساختمانی ذخیره شده در ساقه، کاهش سطح برگ و کاهش فتوسنتز شده و در نتیجه به علت فقدان مواد غذایی ذخیره شده در منابع ثانویه، وزن هزار دانه کاهش یافته است. در این رابطه آفرینش و همکاران (Afarinesh *et al.*, 2015) در گیاه ذرت اعلام داشتند کاهش آبیاری قبل از گلدهی ذرت باعث کاهش تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه و کاهش عملکرد دانه گردید. همچنین، کامپوس و همکاران (Campos *et al.*, 2012) گزارش نمودند 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. می‌توان مهم‌ترین علت کاهش وزن هزار دانه در شرایط رطوبتی را کاهش دوره پرشدن دانه دانست. از طرفی خدارحم‌پور (Khodarahmpour, 2011) و اسبورن و همکاران (Osborne *et al.*, 2002) نیز کاهش معنی‌دار وزن دانه‌ها را در اثر تنش آبی گزارش کرده‌اند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین وزن هزاردانه مربوط به تیمار کاربرد توأم قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات و کمترین وزن هزار دانه به تیمار عدم کاربرد میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (شاهد) اختصاص یافت (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد در این پژوهش بین قارچ میکورریزا و باکتری حل‌کننده فسفات موجود در کود فسفات زیستی یک رابطه سینرژیستی وجود داشته که از طریق افزایش جذب عناصر معدنی به‌ویژه فسفر و میزان فتوسنتز گیاه، می‌تواند موجب بهبود وزن هزار دانه گردد. همچنین، در این تحقیق علیرغم استفاده قارچ میکوریزایی و باکتری حل‌کننده فسفات از اسیمیلات‌های گیاه، به‌واسطه نقش مثبت این میکروارگانیزم‌ها در جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و انتقال آن به سلول‌های گیاه میزبان، همزیستی آن با گیاه ذرت سبب بهبود رشد و افزایش فتوسنتز و تولید اسیمیلات شد. در نتیجه در مرحله پرشدن دانه، شیره پرورده کافی به دانه‌ها انتقال یافته و دانه‌های درشت با وزن قابل قبول تولید گردید. تحقیقات حمزه‌ئی و بابائی (Hamzei and Babaei, 2016) در ذرت نشان داد که اثر توأم میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر وزن صددانه معنی‌دار بود. گزارش برخی پژوهشگران از جمله هازاریکا و همکاران (Hazarika *et al.*, 2000) و راتی و همکاران (Ratti *et al.*, 2001) به وجود یک رابطه

سینرژیستی بین میکوریزا و میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات اشاره دارد.

عملکرد دانه: در این تحقیق اثر تیمار رژیم‌های آبیاری و کاربرد توأم میکوریزا و فسفات بارور ۲ و برهمکنش آنها بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). برهمکنش رژیم‌های آبیاری و اثر توأم قارچ میکوریزا و کود فسفر بر عملکرد دانه نشان داد بیشترین عملکرد دانه به تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و کاربرد توأم میکوریزا و فسفات بارور ۲ (که با تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و کاربرد توأم میکوریزا و فسفات بارور ۲ تفاوت معنی‌داری نداشت) و پایین‌ترین عملکرد دانه مربوط به تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و عدم کاربرد میکوریزا و فسفات بارور ۲ تعلق گرفت (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد در این تحقیق کاربرد قارچ‌های میکوریزا و کود فسفر به‌صورت توأم در شرایط تنش کم آبی، قادر هستند با استفاده از گسترش ریسه‌های خارجی و تغییر مورفولوژی ریشه گیاهان، سطح جذب ریشه و انتقال مواد غذایی به ریشه را افزایش دهند. همچنین تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز توسط ریسه‌های میکوریزا باعث می‌شود که فسفات غیرمحلول و تثبیت شده در خاک به فرم محلول درآید و برای ریشه قابل جذب گردد بنابراین، همزیستی میکوریزا با ریشه از طریق جذب آب و عناصر غذایی، سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید فرآورده بیشتر و بهبود رشد و عملکرد دانه می‌گردد (James *et al.*, 2008). در همین راستا گریوز و وانگ (Greaves and Wang, 2017) در ذرت گزارش نمودند متوسط بالاترین عملکرد دانه ۱۰۰۸ گرم در مترمربع بود و کمبود آب منجر به کاهش معنی‌دار و ۳۳ درصدی عملکرد دانه شد. این کاهش به‌طور معنی‌داری باعث کاهش تعداد دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف و وزن هزار دانه شد. همچنین، عبادی و همکاران (Ebadi *et al.*, 2016) با بررسی اثر قارچ میکوریزا در گیاه ذرت گزارش نمودند کاربرد این قارچ باعث افزایش عملکرد دانه ذرت شد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد کاهش میزان آبیاری و بروز تنش خشکی، میزان رشد و نمو و در نتیجه عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. کاربرد قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات در شرایط آبیاری مطلوب و تنش شدید خشکی باعث بهبود عملکرد کمّی گیاه گردید. لذا باتوجه به این نتایج می‌توان اظهار داشت که نه تنها در شرایط تنش خشکی می‌توان با کاربرد قارچ میکوریزا تا حد زیادی رشد و عملکرد گیاه ذرت را بهبود بخشید، بلکه استفاده از عوامل بیولوژیک در شرایط آبیاری مطلوب نیز می‌تواند موجب افزایش رشد و عملکرد گردد. همچنین، به نظر می‌رسد که قارچ میکوریزا پس از شروع همزیستی با گیاه، از یک طرف مواد غذایی مورد نیاز را از گیاه میزبان دریافت نموده و از طرفی دیگر با توسعه ریزوسفر گیاه از طریق انشعابات میسلیومی و ریشه‌ای خود و همچنین با تولید آنزیم فسفاتاز، فسفر غیرقابل جذب خاک را به‌صورت فراهم برای گیاه در آورده و تا حدودی فسفر مورد نیاز گیاه را به‌ویژه در سطوح مختلف پایین‌تر فسفر خاک تأمین می‌کند. بنابراین، در مجموع می‌توان بیان نمود به‌منظور دست‌یابی به حداکثر عملکرد کمّی، کاشت ذرت دانه‌ای با فاصله آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و کاربرد توأم میکوریزا و باکتری‌های

حل‌کننده فسفات در مناطقی که گیاهان با تنش مواجه هستند راهکار مناسبی می‌تواند باشد.

قدردانی

این مقاله از طرح پژوهشی درون دانشگاهی تحت عنوان بررسی اثر توأم قارچ میکوریزا و فسفر بر ویژگی‌های کمّی و کیفی ذرت سینگل کراس ۷۰۴ تحت تنش کمبود آب در حمیدیه استخراج شده و هزینه آن توسط دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز تأمین گردیده است که بدین وسیله قدردانی می‌گردد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physical and chemical properties of field's soil

عمق خاک Soil depth (cm)	بافت خاک Soil texture	کربن آلی Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی EC ($dc.m^{-1}$)	اسیدیته pH	پتاسیم Potassium (ppm)	فسفر Phosphorus (ppm)
0-30	Clay loam	0.60	3.62	7. 1	151	8.4

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و تلفیق میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات

Table 2- Result of analysis of variance of measured traits affected by irrigation regimes and mycorrhiza and phosphate stabilizing bacteria

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares			
		شاخص سطح برگ Leaf area index	درصد فسفر Phosphorus Percentage	درصد همزیستی Symbiosis Percentage	تعداد ردیف در بلال No. row per ear
تکرار Replication	2	0.07^{ns}	2.01^{ns}	4^{ns}	1.06^{ns}
رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes (I)	2	0.93^{*}	0.04^{**}	287.34^{**}	2.04^{ns}
خطای اصلی ($Error_a$)	4	0.10	0.003	10.14	3.08
کود زیستی Biofertilizer (B)	3	0.16^{*}	0.027^{**}	1087.50^{**}	1.62^{ns}
اثرات متقابل (I × B)	6	0.05^{ns}	0.001^{ns}	184^{**}	0.10^{ns}
خطای فرعی ($Error_b$)	18	0.04	0.002	7.01	2.46
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	5.50	13.97	6.20	10.09

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

ns, ** and *: no significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۲-

Table 2- Continued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Squares			
		تعداد دانه در ردیف No.seed per row	تعداد دانه در بلال No. seed per ear	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication	2	2.04^{ns}	1028.1^{ns}	78.04^{ns}	547.2^{ns}
رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes (I)	2	173.61**	15160.3**	7480.4**	920420**
خطای اصلی ($Erro_a$)	4	5.75	500.79	420.2	23347.83
کود زیستی Biofertilizer (B)	3	61.03**	6324.54**	6492.6**	809450**
اثرات متقابل (I × B)	6	0.04^{ns}	90.24^{ns}	57.34^{ns}	320220**
خطای فرعی ($Error_b$)	18	2.89	430.37	370.77	21854.46
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	6.03	4.84	11.17	3.4

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

ns, ** and *: no significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

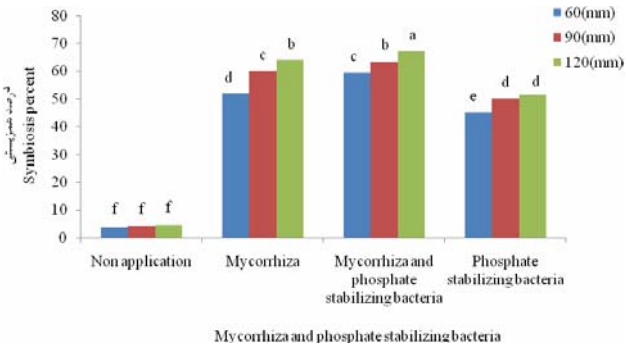
جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و تلفیق میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات

Table 3- Mean comparison result of measured traits affected irrigation regimes and mycorrhiza and phosphate solublizing bacteria

تیمارها Treatments	شاخص سطح برگ Leaf area index	درصد فسفر Phosphorus Percent	تعداد ردیف در بلال No. row per ear	تعداد دانه در ردیف No.seed per row	تعداد دانه در بلال No. seed per ear	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)
رژیم‌های آبیاری (Iirrigation regimes)						
۶۰ میلی‌متر تبخیر 60(mm)	4.06 ^{a}	0.38 ^{a}	14.49 ^{a}	32.65 ^{a}	481.27 ^{a}	168.31 ^{a}
۹۰ میلی‌متر تبخیر 90(mm)	3.73 ^{b}	0.33 ^{b}	14.25 ^{a}	28.33 ^{b}	429.31 ^{b}	154.28 ^{b}
۱۲۰ میلی‌متر تبخیر 120(mm)	3.11 ^{c}	0.27 ^{c}	14.04 ^{a}	23.57 ^{c}	375.22 ^{c}	143.08 ^{c}
میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات Mycorrhiza and phosphate stabilizing bacteria						
عدم کاربرد Non application	3.05 ^{c}	0.26 ^{c}	14.19 ^{a}	24.04 ^{c}	382.16 ^{c}	147.61 ^{c}
میکوریزا Mycorrhiza	3.61 ^{b}	0.31^{b}	14.30 ^{a}	28.24 ^{b}	433.32 ^{b}	153.45 ^{b}
میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات Mycorrhiza and phosphate stabilizing bacteria	4.31 ^{a}	0.4 ^{a}	14.37 ^{a}	33.42 ^{a}	462.79 ^{a}	167.53 ^{a}
باکتری حل‌کننده فسفات Phosphate stabilizing bacteria	3.58 ^{b}	0.32 ^{b}	14.21 ^{a}	27.03 ^{b}	436.15 ^{b}	152.31 ^{b}

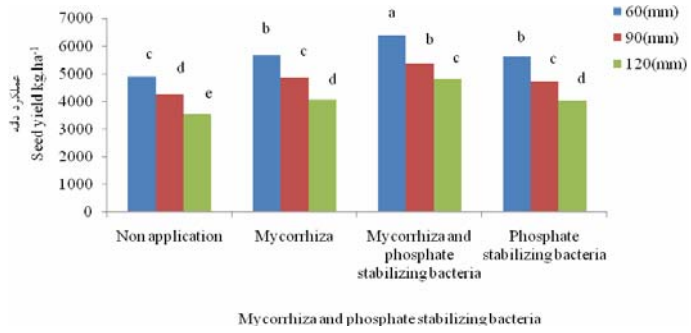
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Means in each column with the same letter are not significantly different at P<0.05.



شکل ۱- اثر متقابل رژیم آبیاری و تلفیق قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر درصد همزیستی

Figure 1- Interaction effect of iirrigation regimes and mycorrhiza and phosphate stabilizing bacteria on Symbiosis Percent



شکل ۲- اثر متقابل رژیم آبیاری و تلفیق قارچ میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر عملکرد دانه

Figure 2- Interaction effect of irrigation regimes and mycorrhiza and phosphate stabilizing bacteria on seed yield

References منابع مورد استفاده

- Abbaspour, H., S. Saeidi-Sar, H. Afshari, and M.A. Abdel-Wahhab. 2012. Tolerance of mycorrhiza infected pistachio (*Pistacia vera* L.) seedling to drought stress under glasshouse conditions. *Journal of Plant Physiology*. 169(7): 704-709.
- Afarinesh, A., Gh. Fathi, R. Chogan, A. Siadat, Kh. Alami Said, and S. Ashrafizadeh. 2015. Evaluation of drought stress and soil density on some agronomic characteristics of corn (*Zea mays* L.). *Journal Plant Production*. 38: 13-24.
- Amerian, M.R., W.S. Stevart, and H. Griffiths. 2001. Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, assimilation and leaf water relation in maize (*Zea mays*). *Applied Biology*. 63: 1-6.
- Amirabadi, M., M.R. Ardekani, F. Rejali, M. Borji, and Sh. Khaghani. 2008. Determine efficiency of mycorrhiza and Azotobacter under different levels of phosphorus on yield and yield components of forage maize (SC 704) in Arak. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 45: 45-51. (In Persian)
- Anonymous. 1996. Methods of plant analysis. Soil and Water Research Institute. Vol. 1, No. 982. (In Persian).
- Anonymous. 2014. FAOSTAT. Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations. FAO, Rome.
- Arpana, J., and D.J. Bagyaraj. 2007. Response of kalmegh to an arbuscular mycorrhizal fungus and a plant growth promoting rhizomicroorganism at two levels of phosphorus fertilizer. *American-Eurasian Journal Agriculture Science*. 2: 33-38.
- Auge, R.M., H.D. Toler, and A.M. Saxton. 2015. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: A meta-analysis. *Mycorrhiza*. 25(1): 13-24.
- Beigzadeh, S., K. Fatahi, A. Sayedi, and F. Fatahi. 2013. Study of the effects of late-season drought stress on yield and yield components of irrigated barley lines within Kermanshah province temperate regions. *World Applied Programming*. 3(6): 226-231.
- Bethenfalway, G.J., M.S. Brown, R.N. Ames, and R.S. Thomas. 1988. Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. *Plant Physiology*. 72: 565–571.
- Boomsma, C.R., and T.J. Vyn. 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*. 108: 14–31.
- Boudjabi, S., M. Kribaa, and H. Chenchouni. 2015. Growth, physiology and yield of durum wheat (*Triticum durum* L.) treated with sewage sludge under water stress conditions. *EXCLI Journal*. 14: 320-334.
- Campos, H., M. Cooper, J.E. Habben, G.O. Edmeades, and J.R. Schussler. 2012. Improving drought tolerance in maize. *Field Crops Research*. 90: 19–34.
- Chaudhary, H.K., V. Kaila, and S.A. Rather. 2014. Maize. In: Pratap, A., J. Kumar, (eds), Alien Gene Transfer in Crop Plants: Achievements and Impacts, Springer, New York, USA.

- Dalp, Y. 1993. Vesicular arbuscular mycorrhiza. PP. 287-301. In: M.R. Carter (Ed.), Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science, Lewis Pub.
- Deepika, S., and D. Kothamasi. 2015. Soil moisture--a regulator of arbuscular mycorrhizal fungal community assembly and symbiotic phosphorus uptake. *Mycorrhiza.* 25(1): 67-75.
- Ebadi, M., N. Majnoun Hoseini, and M.R. Chayichi. 2016. Effect of mycorrhiza fungi and humic substances on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) under limited irrigation condition. *Journal of Agricultural Science*. 47(2): 165–174.
- Elhai Saharian, A.R., and S.K. Marashi. 2017. The effect of methanol spraying on yield and yield components of corn in underwater stress conditions. *Journal of Crop Production Research.* 9(2): 174-161. (In Persian).
- Fathi, A. 2017. Scientia agriculturae effect of phosphate solubilization microorganisms and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of corn. *International Journal of Plant Research*. 18(3): 66-69.
- Ghorbanian, D., S. Harutyunyan, D. Mazaheri, V. Rasoli, and A. Mohebi. 2012. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and different levels of phosphorus on the growth of corn in water stress conditions. *African Journal of Agricultural Research*. 7(16): 2575-2580.
- Greaves, G.E., and Y.M. Wang. 2017. Yield response, water productivity, and seasonal water production functions for maize under deficit irrigation water management in southern Taiwan. *Plant Production Science*. 20(4): 353-365.
- Gunes, A., N. Cicek, A. Inal, M. Alpaslan, F. Erasalan, F. Guneri, and E. Guzelordu. 2006. Genotypic response of chickpea cultivars to drought stress implemented at pre- and postanthesis stages and its relations with nutrient uptake and efficiency. *Plant, Soil and Environment*. 52(8): 368-376.
- Gupta, M.L., A. Prasad, M. Ram, and S. Kumar. 2002. Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasiculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology*. 81(1): 77-79.
- Hamzei, J., and M. Babaei. 2016. Some agro-physiological indices, grain yield components and yield of field-grown maize in response to mycorrhiza and phosphorus fertilizer. *Journal of Crop Production and Processing*. 5(18): 279-290. (In Persian).
- Hazarika, D.K., N.C. Taluk Dar, A.K. Phookan, U.N., Saikia, B.C. Das, and P.C. Deka. 2000. Influence of vesicular arbascular my corrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria on nursery establishment and growth of tea seedling in assam. Symposium No. 12 Assam Agricultural University, Jorhat. Asam, India.
- Heidari, M., and V. Karami. 2014. Effects of different mycorrhiza species on grain yield, nutrient uptake and oil content of sunflower under water stress. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 13(1): 9-13.

- James, B., D. Rodel, U. Lorettu, E. Reynaldo, and H. Tariq. 2008. Effect of vesicular arboscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of Senna Spectabilis. *Pakistan Journal of Botany*. 40(5): 2217-2224.
- Kanani, E., H. Dehghanisanij, and S. Akhavan. 2016. Effect of different irrigation methods and mulch on corn (*Zea mayz* L.) evapotranspiration, yield, water use efficiency in a semi-arid climate. World Irrigation Forum. 6-8 November 2016, Chiang Mai, Thailand.
- Kang, S., Z. Liang, Y. Pan, P. Shi, and J. Zhang. 2000. Alternate furrow irrigation for maize production in an arid area. *Agriculture Water Management*. 45(3): 141-149.
- Khalili, M., M.R. Naghavi, A. Pour Aboughadareh, and H. Naseri Rad. 2013. Effects of drought stress on yield and yield components in maize cultivars (*Zea mays* L.). *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4(4): 809-812.
- Khodarahmpour, Z. 2011. Effect of drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) on on yield and yield Components in corn (*Zea mays* L.) hybrids. *African Journal of Biotechnology*. 10(79): 18222-18227.
- Koochaki, A.R., and A. Sarmadnia. 2008. Plant physiology (translation), Mashhad University Press, 467 pages. (In Persian)
- Kordzangeneh, R., and S.K. Marashi. 2018. Studying the effects of combined application of chemical and biological fertilizers of potassium on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) under soil moisture shortage. *Environmental Stresses in Crop Sciences.* 11(4): 863-872.
- Krishna, K.R. 2012. Maize agro ecosystem: Nutrient dynamics and productivity. Apple Academic Press. 342 page.
- Lauer, J. 2003. What happens within the corn plant when drought occurs. *Corn Agronomist*. 10(22): 153-155.
- Osborne, S.L., J.S. Scheppers, D.D. Francis, and M.R. Schlemmer. 2002. Use of spectral radiance to in-season biomass and grain yield in nitrogen and water-stressed corn. *Crop Science*. 42: 165-171.
- Philips, J.M., and D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesiculararbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of British Mycological Society*. 55: 158–161.
- Ratti, N., S. Kumar, H.N. Verma, and S.P. Gautam. 2001. Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to cymbopogon martini var. motia by rhizobacteria, AMF and Azospirillum inoculation. *Microbiological Research.* 156: 145-149.
- Sarajuoghi, M., M.R. Ardakani, G. Nurmohammadi, A. Kashani, F. Rejali, and S. Mafakheri. 2012. Response of yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) to different biofertilizers and chemical fertilizers. *American- Eurasian Journal Agricultural and Environmental Sciences*. 12(3): 315-320.
- Sheikhi, M., N.A. Sajedi, and M. Jiriaie. 2012. Effects of water deficit stress on agronomical traits of maize hybrids in Arak climate condition. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*. 8(3): 101-110. (In Persian).

- Tabatabaei, S.A., A. Shakeri, and H. Nasiri. 2015. The effect of different irrigation methods and manure manifestations on sorghum single cullet cultivar 704. *Iranian Agricultural Research Center*. 12 (4): 766-775. (In Persian).
- Tavasoli, A., and M. Asgharzadeh. 2009. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake and yield onion (*Allium cepa* L.) in saline soil in field conditions. *Journal of Water and Soil*. 19(1): 145-158.
- Tian, M., Y.L. Chen, M. Li, and R.J. Liu. 2013. Structure and function of arbuscular mycorrhiza: A review. *Chiness Journal of Apllied Ecology*. 24(8): 2369-2376.
- Von Braun, J., D. Byerlee, C. Chartres, T. Lumpkin, N. Olembo, and J.J. Waage. 2010. A draft strategy and results framework for the CGIAR. World Bank, CGIAR, Washington DC, USA.
- Wu, Q.S., Y.N. Zou, R.X. Xia, and M.Y. Wangi. 2009. Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus. *Soil, Environmental and Atmospheric Sciences*. 55(10): 436–442.
- 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.). *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*. 3(1):87-96.
- Yomg, K., B. Bae, and Y. Choung. 2005. Optimization of biological phosphorus removal from contaminated sediments with phosphate- solubilizing microorganisms. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 99: 23-29.
- Zhao, R., W. Guo, N. Bi, J. Guo, and J. Zhang. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi affect the growth, nutrient uptake and water status of maize grown in two types of coal mine spoils under drought stress. *Applied Soil Ecology*. 88: 41–49.

Effect of Mycorrhiza and Phosphate Solublizing Bacteria on Yield of Corn (*Zea mays* L.) (KSC 704) under Different Irrigation Regimes

Khoshnaz Payandeh[1]*, Mani Mojaddam[2] and Nazli Derogar[3]

Received: June 2019 , Revised: 14 August 2019, Accepted: 14 September 2019

Abstract

Application of mycorrhizal fungi may improve the nutritional status of the plant and increase its resistance to environmental stresses, such as deficiencies water. This research was conducted in a split plot experiment based on randomized complete block design with three replications at Hamidieh region of Ahvaz in 2018. Treatments consisted of irrigation regimes with three levels (60, 90 and 120 mm evaporation from class A pan evaporation) assigned to main plots and combined use of mycorrhiza and phosphate stabilizing bacteria with four levels (non application, mycorrhiza, mycorrhiza and phosphate stabilizing bacteria and Phosphate solublizing bacteria) to sub plots. The results showed that the effects of irrigation regimes and combined use of mycorrhiza and phosphorus fertilizer on leaf area index, symbiosis percent, seed number of seeds per row of corn ear, number of seeds per ear, 1000 seed weight and seed yield were significant. Mean comparisons showed that combined treatment of mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria resulted in the maximum number of seeds per ear, number of seeds per row, 1000 seed weight and leaf area index. The highest seed yield (6400.55 $kg.ha^{-1}$) was obtained from 60 mm evaporation from class A evaporation pan and the combined application of mycorrhiza and phosphate solubilizing bacteria and lowest from 120 mm evaporation and without application of mycorrhiza and phosphate solubilizing bacteria. It can be concluded that combined use of mycorrhiza and phosphate solubilizing bacteria can be considered promising in growing maize for seed at this experimental region.

Key words: Biological phosphorus fertilizers, Leaf area index, Mycorrhiza, Seed yield.

1- Assistant Prof. Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2- Assistant Prof. Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
3- Young Researchers and Elite Club, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
**Corresponding Author: payandeh426@gmail.com*