مجله به‌زراعی کشاورزی، دوره ۱۲، شماره ۲، پاییز ۱۳۸۹، ص ۵۰-۳۷

کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای با استفاده از ترکیب کودهای زیستی و فسفر

مهدی ضرابی [۱*]، ایرج الهدادی [۲]، غلامعباس اکبری [۳]، حمید ایران نژاد [٤] و غلامعلی اکبری [٥]

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۱۸ و تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/٤

E-mail: zarabi@ut.ac.ir

چکیده

به منظور بررسی اثرات جداگانه و ترکیبی کودهای فسفاته، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ مایکوریزا بر کاهش خسارات ناشی از تنش خشکی در مرحله رشد رویشی ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل کراس ۷۰٤ آزمایشی در سال ۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران به صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور به اجرا در آمد. فاکتورهای آزمایش شامل تنش خشکی به عنوان فاکتور اصلی (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و ترکیبات مختلف کودهای زیستی و شیمیایی به عنوان فاکتور فرعی (پنج ترکیب کود سوپرفسفات تریپل، باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا) بودند. نتایج نشان داد که تأثیر خشکی و همچنین تیمارهای مختلف کود بر صفات تعداد دانه در ردیف بلال، وزن بلال و عملکرد دانه بسیار معنی‌دار بود. همچنین تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، وزن ۱۰۰۰ دانه و عملکرد دانه در تیمارهای تلقیح با ترکیب کودی باکتری‌های حل‌کننده فسفر، قارچ مایکوریزا و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل تحت شرایط کم آبیاری بالاتر از سایر تیمارها قرار گرفتند. عملکرد دانه ذرت در مورد تیمار کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی (۱/۸۱t/ha) به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از شرایط بدون تنش (۸/۳۸ t/ha) و شرایط تنش آبی خفیف (٤/۹۸ t/ha) بود. تیمار بذور با ترکیب کودی باکتری‌های حل‌کننده فسفر، قارچ مایکوریزا و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل توانست با تأثیر مثبت بر عملکرد دانه باعث افزایش شاخص برداشت در گیاه ذرت گردد. همچنین به نظر می‌رسد که باکتری‌های حل‌کننده فسفات بتوانند با افزایش رشد ذرت و جذب فسفر، منجر به افزایش تحمل گیاه نسبت به شرایط تنش کم‌آبی گردد.

کلمات کلیدی: باکتری حل‌کننده فسفات، سوپرفسفات تریپل، قارچ مایکوریزا، عملکرد دانه

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران – ایران (**[*]مسئول مکاتبه**)

۲- دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران - ایران

۳- دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران – ایران

٤- استاد، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران - ایران

۵- استادیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران - ایران

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) از جمله گیاهان زراعی مهم در ایران است که، پرمحصول‌ترین گیاه خانواده غلات به شمار می‌رود و از نظر میزان محصول بعد از گندم و برنج سومین محصول غله‌ای جهان می‌باشد. یکی از مهمترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک، تنش کمبود آب می‌باشد (۲۲). کاهش عملکرد در گیاهان در شرایط تنش خشکی بستگی به عوامل متعددی مانند مرحله نمو گیاهی، شدت و طول مدت کمبود آب و حساسیت هیبریدها دارد (۲۵).

فسفر به عنوان یکی از سه عنصر اصلی مورد نیاز گیاه، سبب افزایش عملکرد می گردد زیرا با تنظیم هورمون‌های گیاهی نقش مهمی در تقسیم سلولی دارد. از طرفی دیگر فسفر نقش مهمی در تولید مواد فتوسنتزی داشته و سبب تولید انرژی در گیاه می شود (۳۱). در چند دهه اخیر مصرف نهاده‌های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب معضلات زیست محیطی عدیده‌ای از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش میزان حاصل‌خیزی خاک‌ها گردیده است (۳۵). به همین دلیل، کشاورزی پایدار بر پایه مصرف کودهای زیستی با هدف حذف یا تقلیل چشمگیر در مصرف نهاده‌های شیمیایی، یک راه حل مطلوب جهت غلبه بر این مشکلات به شمار می‌آید. طی سال‌های اخیر افزایش مصرف کود فسفر نه تنها باعث افزایش عملکرد نگردیده بلکه درنتیجه برهم زدن تعادل عناصر غذایی در مواردی نیز باعث کاهش عملکرد گردیده است (۳۳). در مورد نقش و اهمیت استفاده از کودهای زیستی می‌توان این گونه بیان نمود که این کودها با بهره‌گیری از عناصر غیرقابل جذب در خاک، علاوه بر حفظ تعادل شیمیایی خاک، سبب حصول عملکرد مطلوب گیاهان زراعی می‌گردند. محققان بیان نمودند که کودهای زیستی فسفاته حاوی باکتری‌ها و قارچ‌های مفید حل‌کننده فسفات هستند که معمولاً با اسیدی کردن خاک و ترشح آنزیم‌های فسفاتاز باعث رهاسازی یون فسفات از ترکیبات آن می‌گردند که این یون‌ها توسط گیاه قابل جذب می‌باشد (۳۵). بنابراین دور از انتظار نیست که با کاربرد مایه تلقیح‌های تهیه شده از این انواع، ضمن وارد کردن جمعیت انبوهی از یک میکروارگانیسم فعال و مؤثر در حوزه فعالیت ریشه، توان گیاه را برای جذب بیشتر عناصر غذایی، افزایش داد (۱۰). در تصدیق این موضوع محققین (٦ و ١٦) در تحقیقات خود نشان دادند که استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش حلالیت فسفر از منبع خاک فسفات و ارتقاء شاخص‌های عملکرد ذرت گردیده است. همچنین حفظ عملکرد دانه و تحمل گیاه میزبان به خشکی، ممکن است توسط سطح جذب بیشتر ریشه، افزایش رشد ریشه و تراکم آن یا اختلاف هیدرولیکی بین سیستم‌های ریشه‌ای توجیه‌پذیر باشد (۳۸).

اصطلاح میکوریزی بیانگر رابطه هم‌زیستی ایجاد شده بین قارچ و ریشه گیاه می‌باشد. از مهمترین اثر قارچ میکوریزا می‌توان به افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی به ویژه فسفر برای گیاهان، افزایش فتوسنتز، افزایش کارایی مصرف آب در گیاه میزبان، افزایش مقاومت به تنش خشکی و تنش شوری، افزایش مقاومت میزبان به آفات و بیماری‌ها، افزایش غلظت فیتوهورمون و محتوای کلروفیل، تسریع در گل‌دهی میزبان، تأثیر در اختصاص مواد فتوسنتزی به اندام‌های مختلف گیاه میزبان، ایجاد واکنش‌های مورفولوژیکی در گیاهان، افزایش قدرت رقابت گیاه میزبان در مقابله با علف‌های هرز، افزایش مقاومت گیاهان به فلزات سنگین، بهبود ساختمان خاک و تشکیل خاکدانه، تشدید فعالیت باکتری‌های ریزوبیوم و آزوسپیریلوم و پایداری اکوسیستم خاک اشاره نمود (۱۷ و ۳۰). در مطالعه ای معلوم گردید که با همزیستی میکوریزایی طول ریشه، فرم هندسی ریشه و نسبت ریشه به اندام هوایی تغییر پیدا کرده و همچنین نسبت طول ریشه به مساحت برگ که یک واکنش گیاه به تنش خشکی است در گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی متفاوت بوده است(٢٤). در آزمایشی دیگری (۱) که به منظور بررسی تأثیر کاربرد قارچ میکوریزا و مقادیر فسفر در سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد

و اجزای آن و برخی خصوصیات مرفولوژیکی ذرت پاپ کورن انجام گردید، نشان داده شد که با افزایش فواصل آبیاری از ۵۰ به ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، طول بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، وزن هزار دانه و عملکرد دانه کاهش یافته ولی از نظر تعداد ردیف دانه در بلال بین سطوح مختلف آبیاری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین کاربرد قارچ میکوریزی سبب افزایش ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، طول بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، وزن هزار دانه و عملکرد دانه شد.

مطالعات زیادی در مورد اثرات متقابل باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا در شرایط مختلف روی رشد گیاه انجام شده است (۹، ۲۶، ۲۸ و ۳۹). در آزمایشی که روی واکنش گیاه عدس به تلقیح با سویه‌های باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزی آربسکولار AM انجام شد، مشاهده گردید که یک رابطه هم‌زیستی مثبت بین قارچ‌های میکوریزی و بعضی از سویه‌های باکتری برقرار است که عملکرد گیاه عدس را افزایش می‌دهد. بررسی‌ها نشان داده است که اگرچه کود شیمیایی فسفاته و باکتری‌های حل‌کننده فسفات هر یک به تنهایی بر رشد و عملکرد ذرت مؤثر بودند، ولی هنگامی‌که کودهای زیستی همراه با کود شیمیایی فسفاته استفاده شدند، نتایج مطلوب‌تری به‌دست آمد (۱۵). مطالعات فراوان بر روی اثرات این ریز جانداران در گیاهان مختلف از جمله سویا، برنج، ذرت، عدس، گندم و خردل انجام شده که همگی گویای نقش مثبت این موجودات زنده بر رشد و عملکرد گیاه بوده است (۱۹، ۲۷ و ۳۶). این تحقیق باتوجه به واردات ۵۰۰ هزار تنی کودهای شیمیایی فسفره در سال و همچنین واقع شدن ایران در منطقه خشک و نیمه خشک جهان و خطر بروز خشکسالی و کمبود آب در کشور روی گیاه پرمصرف ذرت و با هدف دستیابی به بهترین ترکیب کودی جهت بهبود عملکرد ذرت دانه‌ای در شرایط تنش‌های خفیف و شدید خشکی انجام پذیرفت (٤).

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت (هیبرید سینگل کراس ۷۰٤) تحت شرایط تنش خشکی، تحقیقی در سال ۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در پاکدشت با طول جغرافیایی ۵۱/٤٦ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳/۲۸ شمالی و ارتفاع ۱۱۸۰ متر از سطح دریا، به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. پیش از انجام مراحل آماده سازی زمین از سطح مزرعه نمونه خاک تهیه گردید (١٤) که نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱ - نتیجه آزمایش خاک مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران

اسیدیته	Ec ($dS.m^{-1}$)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Total N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	کلاس بافت
۸	۲/٦۲	۲۸	۳۷	۳۵	۰/۰۷۱	۱۳	۲۲٤	C.L

فاکتورهای مورد مطالعه در این تحقیق شامل تنش خشکی در کرت‌های اصلی و ترکیب‌های کود زیستی به همراه فسفر در کرت‌های فرعی بودند. فاکتور تنش خشکی در سه سطح شامل: (a1) ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A به عنوان تیمار شاهد بدون تنش، (a2) ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر به عنوان تنش خفیف و (a3) ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر به عنوان تنش شدید و فاکتور کود زیستی نیز شامل پنج سطح: (b1)

باکتری‌های حل‌کننده فسفر + قارچ مایکوریزا، (b2) باکتری‌های حل‌کننده فسفر + قارچ مایکوریزا + ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل، (b3) باکتری‌های حل‌کننده فسفر + ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل، (b4) قارچ مایکوریزا + ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل و (b5) کود شیمیایی فسفره (سوپرفسفات تریپل) بودند.

ریزجانداران به‌کار رفته در این تحقیق شامل ماده تلقیح قارچ *Glomus mosseae* تهیه شده از پارک علم و فن‌آوری شاهرود که مخلوطی از اسپور، هیف، ریشه‌های کلونیزه شده گیاه شبدر و خاک همراه با آن بود. مقدار کلونیزاسیون این بستره ۷۰-٦٥ درصد و به طور میانگین دارای ۲۰ اسپور در هر گرم بستره بوده است. مایه تلقیح باکتری حل‌کننده فسفات، کود بیولوژیک بیوفسفر بود که حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات از جنس‌های مختلف *Bacillus* و *Pseudomonas* با $CFU^{1} = 10^{7}$ بود. عملیات آماده‌سازی مزرعه به شکل متعارف صورت پذیرفت.

تلقیح بذور برای هر واحد آزمایشی با مایه تلقیح باکتری به گونه‌ای بود که پس از تعیین میزان بذر برای هریک از تیمارها، بذرها در ظروف درب‌دار مشکی رنگ پیش از کاشت به مقدار یک لیتر در هکتار با محلول باکتری‌های مورد نظر آغشته شده و سپس بذور در سایه خشک گردیدند. در تیمارهای تلقیح بذر با قارچ میکوریزا ماده تلقیح هم‌زمان با کاشت، به مقدار ۲۰ گرم، داخل هر یک از سوراخ های کاشت و در تماس مستقیم با بذر قرار گرفت. اعمال تیمار کود فسفره نیز براساس نتایج آزمون خاک و میزان فسفر قابل جذب در خاک بود (۷). به هنگام کاشت، کود سوپرفسفات تریپل به صورت نواری و سایر کودهای نیتروژنه و پتاسه نیز بر مبنای آزمون خاک و مطابق با توصیه کودی برای ذرت (۱۳) به واحدهای آزمایشی داده شد و پس از کاشت بذرها در ۱۵ خرداد ماه، اقدام به آبیاری گردید.

در هر واحد آزمایشی پنج خط کاشت با فاصله ۷۵ سانتی‌متر و به طول پنج متر ایجاد شد و فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر درنظر گرفته شد. اعمال تیمار تنش در مزرعه پس از استقرار کامل گیاه با تراکم ٦٦۰۰۰ بوته در هکتار صورت گرفت، به‌طوری‌که روزانه میزان تبخیر تجمعی به وسیله تشتک تبخیرکلاس A مستقر در مزرعه اندازه‌گیری و بعد از انجام گرفتن تبخیر به میزان هر یک از تیمارهای تعریف شده، آبیاری برای تیمار موردنظر صورت می‌گرفت.

طی فصل رشد ویژگی‌های زراعی و مورفولوژیک مورد بررسی شامل ارتفاع گیاه، ارتفاع بلال از سطح زمین، قطر ساقه، تعداد کل برگ، وزن خشک برگ و ساقه بودند که روی ۱۰ گیاه در هر کرت اندازه‌گیری و میانگین‌گیری شد. سپس در مرحله برداشت ابتدا بوته‌های هر کرت آزمایشی پس از حذف اثر حاشیه شمارش و برداشت بلال‌ها به صورت جداگانه انجام شد. سپس برخی از صفات مرتبط با بلال از جمله طول بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال، عمق دانه و همچنین اجزای عملکرد شامل تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف و وزن ۱۰۰۰ دانه روی ۱۰ بلال به‌طور تصادفی در هر کرت اندازه‌گیری شد. پس از جدا کردن دانه‌ها و تعیین درصد رطوبت دانه‌ها، میزان عملکرد نهایی دانه در هر کرت آزمایشی براساس ١٤ درصد رطوبت تصحیح و برحسب تن در هکتار محاسبه شد.

اطلاعات به‌دست آمده، از طریق نرم‌افزارهای آماری SAS و MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و میانگین‌ها با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن (سطح احتمال پنج درصد) مقایسه شدند.

1 - Colony Forming Unit

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که تأثیر خشکی بر صفات ارتفاع گیاه، وزن خشک ساقه، قطر ساقه، ارتفاع بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، وزن ۱۰۰۰ دانه، وزن بلال، طول بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال، عمق دانه، درصد چوب، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت بسیار معنی‌دار بود (جدول ۲). سایر محققان نیز گزارش نموده اند که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای دارد (۱۱ و ۱۲).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که وزن خشک برگ در شرایط بدون تنش و تنش خفیف خشکی به طور مشترک دارای بیشترین مقادیر (به‌ترتیب ۳٤/۹۸ و ۳۳/۰۸ گرم) بودند، هرچند که تفاوت معنی‌داری بین شرایط تنش خفیف و شدید مشاهده نشد (جدول ۳). بیشترین میزان سطح برگ و به تبع آن وزن خشک برگ در تیمار آبیاری نرمال ذرت پاپ کورن در مطالعه دیگری حاصل گردید(۱).

در مورد صفات عملکرد دانه و اجزای تشکیل‌دهنده آن بین شرایط بدون تنش و تنش خفیف خشکی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، ولی نتایج نشان داد که به دنبال افزایش شدت تنش خشکی از ۱۰۰ میلی‌متر به ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی، کاهش معنی‌داری در اکثر صفات مورد ارزیابی صورت گرفته است (جدول ۳). به عبارت دیگر هیبرید ۷۰٤ ذرت دانه‌ای تنها قادر است صدمات ناشی از تنش خشکی تا سطح ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر را جبران نماید. این نتایج با نتایج سایر محققین (۳) مطابقت دارد که کمترین عملکرد دانه گیاه ذرت سینگل کراس ۷۰٤ در تیمار آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به‌دست آمده بود.

در تحقیق حاضر، کاهش عملکرد دانه تحت شرایط تنش آبی خفیف ۲۱ درصد و در شرایط تنش شدید ٦۰ درصد نسبت به شرایط آبیاری معمول بود، که باتوجه به کاهش کم عملکرد در شرایط آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر نسبت به آبیاری نرمال می‌توان پیشنهاد نمود که درصورت محدودیت منابع آب برای زراعت ذرت و با استفاده از روشهای صحیح به‌زراعی و مدیریت نهاده (کود)، آبیاری در این شرایط صورت گیرد. محققین (۲۳) کاهش چشم‌گیر عملکرد را در شرایط تنش خشکی نتیجه نمو غیرطبیعی کیسه جنینی و عقیمی دانه گرده دانستند که منجر به کاهش تعداد دانه‌های بارور می‌شود. عملکرد بیولوژیک نیز بین دو سطح آبیاری نرمال و تنش خفیف اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳)، اما تیمار تنش شدید با دو سطح دیگر آبیاری حائز اختلاف معنی‌داری بود. به تبع این نتایج، بیشترین و کمترین شاخص برداشت به ترتیب در شرایط نرمال آبیاری (۵۲/٤۲) و تنش شدید خشکی (۲۸/۲۰) به‌دست آمد. تنش خشکی توانسته است از طریق کاهش عملکرد دانه بر شاخص برداشت تأثیر منفی بگذارد که با نتایج دیگران (۲) مطابقت دارد.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که بین تیمارهای مختلف کود بیولوژیک در مورد صفات وزن خشک برگ، ارتفاع گیاه، وزن خشک ساقه، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال، وزن ۱۰۰۰ دانه، وزن بلال، طول بلال، قطر بلال، قطر چوب بلال، عمق دانه، درصد چوب، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت اختلاف معنی‌دار وجود داشت، ولی تأثیر تیمارهای مختلف کود بر صفات تعداد برگ در گیاه، قطر ساقه و ارتفاع بلال معنی‌دار نبود.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار صفات وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه در شرایطی مشاهده شد که بذور با ترکیب کود باکتری‌های حل‌کننده فسفر، قارچ مایکوریزا و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل تلقیح شدند (جدول ۳). همچنین تلقیح بذرها با استفاده از ترکیب کود باکتری حل‌کننده فسفات، قارچ میکوریزی و ۵۰ درصد کود سوپرفسفات تریپل با سایر ترکیبات کودی مورد استفاده از نظر آماری تفاوت معنی‌دار نشان داد.

جدول ۲ - تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده ذرت دانه‌ای تحت تیمارهای مختلف کودی و شرایط تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف	وزن ۱۰۰۰ دانه	وزن بلال	طول بلال	ارتفاع بلال	قطر بلال	عمق دانه	درصد چوب
تکرار	۲	٦/۲۲^{ns}	۲۱٤/٦۰^{ns}	۲۷٥۳/٦۸^{ns}	٥۹۹۹/٦٥^{ns}	۲۷/۷٥^{ns}	۳۲۳/۰٥^{ns}	۱۳۱/۷۷^{ns}	۹/٥٤^{ns}	۰/۱۸^{ns}
تنش	۲	۱۸/٥۲^{ns}	۲٤۷۳/٥۱**	۲۹۷٦۷/۱۲*	۷۱۰۱۸/۸۹**	۱۹۳/۸٦*	۱۳۰٤۰/۹٦*	٤٥۷/۹۱*	٥۳/۲٥*	۰/٤۹*
خطای اصلی	٤	٤/۲٥	۷۹/٤٥	۱۷٥۲/۳۲	۱٦٦۱/۰۷	۱٥/۰۲	۱۱٥٦/٤۹	٥۳/۷۷	٥/۹۷	۰/۰۳
کود	٤	۸/۱۸**	۱٥۸/۲**	۱۸۲۸/۷٥**	٦٦۹۸/۸۸**	۱٤/۱۱**	۱۷٥/٥۲^{ns}	۳٥/۸٥**	۲/٦۲**	۰/۰۷*
کود × تنش	۸	۰/٥٥^{ns}	۱٥/۷٦^{ns}	۷٤٥/۸۱^{ns}	۸۰٤/٤۹^{ns}	۱/٥۲^{ns}	۱۱۷/۹٥^{ns}	٥/۱۳^{ns}	۰/۷٤^{ns}	۰/۰۱^{ns}
خطای فرعی	۲٤	۱/۲۳	۲۳/۲۰	۳٤٥/٦۸	۸۸۳/۳۸	۱/۹۹	۱۳۹/۳۰	۳/۱۷	۰/٤۷	۰/۰۲
ضریب تغییرات		۸/۱۰	۱۱/۹۸	۸/۳۳	۲۰/۳٦	۷/٦٤	۱۳/۱٥	٤/٥۱	۷/٦۹	۱٤/۸٥

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده ذرت دانه‌ای تحت تیمارهای مختلف کودی و شرایط تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	عملکرد دانه	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	ارتفاع گیاه	تعداد برگ	قطر ساقه
تکرار	۲	۳۱/٤٥^{ns}	٦۱/۷۹ ^{ns}	۱۰/۰۰^{ns}	۰/۸۷^{ns}	٤۳/۸۹^{ns}	٤٦۳/۳۷^{ns}	۱/٤۰^{ns}	۱۷/۹۲^{ns}
تنش	۲	٥٥۸/۳٥**	۲۳۲۹/۰۷**	۲۹٦/٤۲**	۲٦/۷۹^{ns}	۱۱٤۱/۰٥*	۲۲۷۹۲/۲۲*	۰/۳۸^{ns}	۲٥۱/۳۰**
خطای اصلی	٤	۲٦/۰۸	۲۱/۸۱	۳/۲۷	٥/۳۳	۱۲۸/۸۳	۱٤۷۲/٥۷	۰/۸۸	۱۲/۱۲
کود	٤	۲٥/٤۹**	۱۹۹/۰۰**	۲۰/٤۹**	۱٤۷/۸۳**	۲۲۳٦/۹۲**	۲٥٤۷/۹۰*	۱/۸۳^{ns}	۹/۷٥^{ns}
کود × تنش	۸	٤/۸٥^{ns}	۱۰/۳۹^{ns}	۱/۰۰^{ns}	٥۸/۱۳*	۳۸۱/۲۷^{ns}	۹۲۳/۸٥^{ns}	۱/۸۷^{ns}	۸/۲۹^{ns}
خطای فرعی	۲٤	٥/۱۰	۱٦/٥۱	۰/۸۲	۲۱/۹۲	۳۱۷/٥۰	۷۷۹/۸٥	۱/۱٥	۷/٦۷
ضریب تغییرات		۱۱/۸۹	۹/٦۷	۱۰/٦٤	۱۳/۹۸	۲۳/۱۸	۱۲/۷۸	۸/٥٥	۱۱/٦۷

** - معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ * - معنی‌دار در سطح احتمال ٥٪ ns - غیر معنی‌دار

بین تیمارهای کودی تلقیح شده با ترکیب باکتری حل‌کننده فسفات، قارچ میکوریزی و ۵۰ درصد کود سوپرفسفات تریپل و ترکیب کودی باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزی از نظر صفات ارتفاع گیاه، تعداد دانه در ردیف بلال، وزن ۱۰۰۰ دانه، وزن بلال، طول بلال، قطر بلال و عمق دانه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). هرچند که در تمام صفات ذکر شده بیشترین مقدار در شرایطی به‌دست آمد که بذور با استفاده از ترکیب کود باکتری حل‌کننده فسفات، قارچ میکوریزی و ۵۰ درصد کود سوپرفسفات تریپل تلقیح شده بودند. محقق دیگری (۸) نیز گزارش کرد که کاربرد سویه‌های باکتری سودوموناس و کود شیمیایی فسفره به صورت توام روی بسیاری از صفات مورد بررسی اثر مثبت داشته است.

تفاوت معنی داری بین تیمارهای کود زیستی برای عملکرد دانه وجود نداشت (جدول ۳)، ولی کود سوپرفسفات تریپل از نظر عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری با سایر ترکیبات کودی دارای تفاوت آماری بودند. درحالی‌که سایر ترکیبات کودی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک نداشتند. برای شاخص برداشت در بین تیمارهای سوپر فسفات تریپل و ترکیب کودی باکتری حل‌کننده فسفات و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، هرچند که این تیمارها با سایر ترکیب‌های کودی دارای تفاوت معنی‌دار بودند (جدول ۳). در این میان کمترین مقدار شاخص برداشت به‌طور مشترک مربوط به ترکیب‌های کودی باکتری حل‌کننده فسفات و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل و همچنین تیمار کود سوپر فسفات تریپل بود. دیگران (۲۱) بیان نمودند

که قارچ مایکوریزا و باکتری حل کننده فسفات قادرند جذب فسفر را در گیاهان از طریق افزایش فعالیت فسفاتاز ارتقاء داده و درنتیجه باعث جذب بهتر فسفر از خاک توسط هیف‌ها شوند که درنتیجه منجر به رشد و افزایش عملکرد گیاه می‌گردد.

نتایج این آزمایش (جدول ۳) نشان داد که در شرایط تنش خشکی، استفاده از کود فسفر به تنهایی و بدون ترکیب با باکتری‌های حل‌کننده فسفات و یا قارچ مایکوریزا تأثیر مثبتی بر افزایش عملکرد دانه و سایر صفات مرتبط به آن نداشت. در این رابطه، گزارش شده است که قابلیت دسترسی فسفر غیرآلی توسط گیاه با معدنی‌سازی فسفر آلی توسط ریز موجودات افزایش می‌یابد (۳٤). کاربرد کود فسفر نیز به تنهایی از نظر تمامی صفات مورد ارزیابی بجز ارتفاع گیاه، تعداد برگ در گیاه و قطر ساقه دارای حداقل مقدار نسبت به سایر کودهای مورد مطالعه بود، هرچند که در مورد صفات وزن خشک برگ و ساقه، وزن ۱۰۰۰ دانه، وزن بلال، طول بلال، قطر بلال و چوب بلال، عمق دانه، درصد چوب بلال و عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری بین استفاده از کود فسفره و یا ترکیب باکتری با آن وجود نداشت. براساس نتایج این پژوهش (جدول ۳)، با اینکه بین ترکیبات مختلف کود بیولوژیک از نظر صفات ارتفاع گیاه، تعداد برگ و قطر ساقه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما تلقیح بذور با ترکیب کودی قارچ میکوریزی و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل موجب حصول نتایج ضعیف نسبت به تلقیح با سایر ترکیبات کود زیستی شد. محققان (۳۲) نشان دادند که دو ریزجاندار باکتری سودوموناس و قارچ میکوریزا بر یکدیگر اثر هم‌افزایی دارند و این امر می‌تواند باعث برتری تیمارهای ترکیب این دو ریز جاندار نسبت به استفاده انفرادی آنها شود.

اثرات متقابل بین سطوح مختلف تنش خشکی و ترکیبات کودی تنها در مورد وزن خشک برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). به طوری که در شرایط آبیاری معمول (بدون تنش)، وزن خشک برگ در صورت تلقیح بذور با ترکیب کود باکتری‌های حل‌کننده فسفر و قارچ مایکوریزا بیشتر شد. لیکن، این تفاوت درمقایسه با تیمار تلقیح شده با ترکیب باکتری‌های حل‌کننده فسفر، قارچ مایکوریزا و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل و ترکیب کودی باکتری‌های حل‌کننده فسفر و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل معنی‌دار نبود.

مشاهده می‌گردد که بیشترین وزن خشک برگ در شرایطی به‌دست آمد که گیاهان با استفاده از ترکیب کود باکتری‌های حل‌کننده فسفر، قارچ مایکوریزا و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل تلقیح و در محیط تنش خفیف رطوبتی (۱۰۰ میلیمتر تبخیر از تشتک) قرار گرفته بودند. به دنبال افزایش شدت تنش خشکی تا سطح ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، افزایش در وزن خشک برگ تنها در شرایطی مشاهده شد که بذور با ترکیب کود باکتری‌های حل‌کننده فسفر، قارچ مایکوریزا و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل تلقیح شده بودند (شکل ۱).

بررسی اثر تلقیح بذر با باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ مایکوریزا بر تحمل ذرت به تنش کم‌آبی نشان داد که در تمام صفات اندازه‌گیری شده، تیمارهای تلقیح بذر با قارچ AM + باکتری حل‌کننده فسفات‌های نامحلول، قارچ AM و باکتری حل‌کننده فسفات‌های نامحلول در کلیه سطوح آبیاری بالاتر از تیمارهای کود شیمیایی و تیمار شاهد قرار گرفتند (۳). باتوجه به نتایج به‌دست آمده اینگونه استنباط می‌شود که به دنبال استقرار باکتری‌های حل‌کننده فسفات در شرایط تنش آبی، به دلیل افزایش توان گیاه در جذب آب و عناصر معدنی به‌ویژه فسفر، وزن خشک برگ و بالتبع وزن خشک گیاه افزایش می‌یابد.

تغییر در وزن خشک گیاهان به سبب تلقیح با ترکیب باکتری‌های حل‌کننده فسفر، قارچ مایکوریزا و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل نشان می‌دهد که احتمالاً رابطه‌ای بین مواد مترشحه از این ریز جانداران و تاثیر آن بر رشد ریشه گیاه تحت شرایط تنش خشکی وجود دارد، که موجب افزایش جذب آب و عناصر غذایی از خاک می‌گردد (۲). بنابر

گزارشات، جذب آب به‌وسیله سیستم‌های ریشه‌ای از طریق میزان توزیع ریشه‌ها در خاک و همچنین میزان جذب آب در واحد ریشه تعیین می‌شود (۵). دیگران (۳۷) نیز مشاهده نمودند که تلقیح مایکوریزایی، صفات فیزیولوژیکی گیاهان را از طریق افزایش میزان مواد فتوسنتزی، تغییر در جریان مواد فتوسنتزی در ساقه‌ها و ریشه‌ها و نیز تأثیر بر جذب عناصر معدنی از خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد. این موضوع موقعیت تغذیه‌ای بافت‌های گیاه میزبان را تغییر می‌دهد و باعث جذب بیشتر از طریق ریشه‌ها، فتوسنتز بالاتر و به دنبال آن، افزایش وزن خشک گیاه تحت شرایط تنش کم آبی می‌گردد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ٤) حاکی از عدم وجود اثر متقابل معنی‌دار در مورد عملکرد دانه و سایر صفات مرتبط با آن بود، لیکن بیشترین عملکرد دانه در ترکیب کودی باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا به‌دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد ترکیب کودهای زیستی در شرایط تنش خشکی شدید، مانع از کاهش زیاد عملکرد دانه در ذرت می‌شود. کاربرد کود شیمیایی به تنهایی، تحت شرایط تنش خشکی شدید سبب حصول کمترین مقدار عملکرد دانه ذرت شد (جدول ٤). محققین دیگری (۳) اظهار داشتند که تحت شرایط تنش شدید خشکی در ذرت دو تیمار ترکیب کودی باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا و همچنین تیمار شاهد بدون کود، به‌ترتیب بیشترین (۳/۱۹ تن) و کمترین (۲/۳٦ تن) عملکرد دانه را تولید کردند. ایشان دلیل افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی را بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه در تیمار ترکیب باکتری و قارچ دانستند.

تلقیح بذور با ترکیب کودی باکتری‌های حل‌کننده فسفر و قارچ مایکوریزا عملکرد دانه ذرت را تحت شرایط تنش شدید رطوبتی افزایش داده است (جدول ۳)، اما این تیمار به طور معنی‌داری با تیمار کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل اختلاف دارد، درحالی‌که تفاوت آن با تیمارهای ترکیب باکتری‌های حل‌کننده فسفر و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل و ترکیب کودی قارچ مایکوریزا و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل معنی‌دار نمی‌باشد (جداول ۳ و ٤). بررسی دیگری در مورد گیاه ذرت حاکی از آن است که باکتری‌های حل‌کننده فسفات به دلیل تأثیر هم‌افزایی (سینرجیسم) بر افزایش رشد و جذب عناصر غذایی به ویژه فسفر، افزایش درصد کلونیزه شده ریشه و نیز افزایش سطح تماس ریشه با خاک می‌توانند ضمن افزایش تحمل گیاه به شرایط تنش رطوبتی موجبات بهبود عملکرد گیاه را فراهم آوردند (۲).

نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از کود سوپرفسفات تریپل بدون ترکیب با باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ مایکوریزا، در هر سه شرایط بدون تنش رطوبتی، تنش خفیف و تنش شدید کم‌آبی موجب شده تا کمترین مقدار عملکرد دانه نسبت به سایر ترکیبات کودی به دست آید (۲۰/۷۱، ۵۳/۲۸ و ۷۳/٤۹ درصد کاهش نسبت به ترکیب کودی باکتری‌های حل‌کننده فسفر، قارچ مایکوریزا و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل به‌ترتیب در شرایط آبیاری نرمال، تنش خفیف و تنش شدید) (جداول ۳ و ٤).

علت این امر می‌تواند مربوط به سرعت انتشار فسفر تحت تاثیر رطوبت خاک باشد که نهایتاً بر میزان جذب فسفر توسط گیاه اثر دارد. هرچه میزان رطوبت خاک بیشتر شود سرعت انتشار فسفر در خاک بیشتر است و بالعکس و ازطرف دیگر غلظت فسفر در ناحیه توسعه ریشه بر جذب آن توسط ریشه مؤثر است (۲۹ و ۳۹). این مساله نشان می‌دهد که مکانیسم‌های دیگری غیر از حلالیت فسفر ممکن است در افزایش عملکرد مؤثر باشند. در تحقیقی نشان داده شد که باکتری‌های حل‌کننده فسفات، متابولیت‌های متعددی از قبیل تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و ویتامین‌ها را در خاک تولید می‌نماید که بر رشد گیاهان و همچنین سایر ریزجانداران موجود در خاک تأثیر می‌گذارند.

جدول ۳ – مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده ذرت تحت تیمارهای مختلف کودی و شرایط تنش خشکی

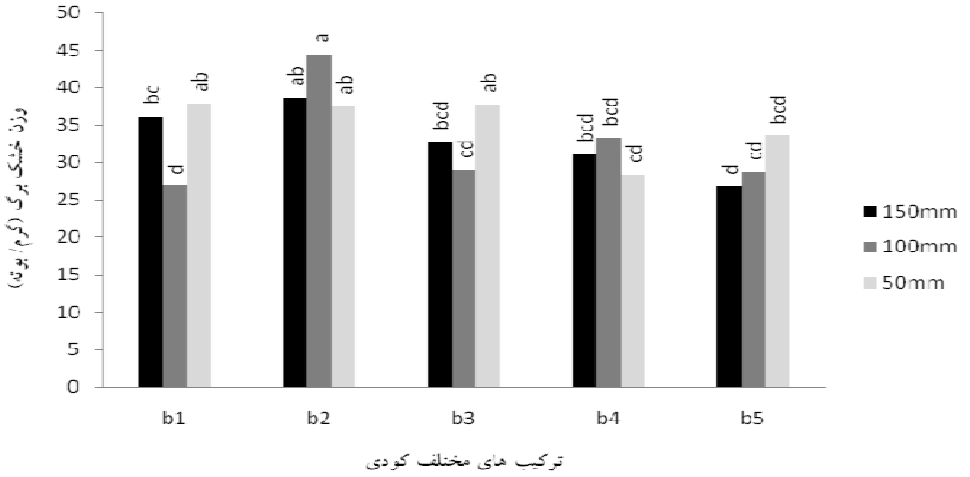
	وزن خشک برگ تک بوته (گرم)	وزن خشک ساقه تک بوته (گرم)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تعداد برگ	قطر ساقه (میلی‌متر)	قطر بلال (میلی‌متر)	ارتفاع بلال (سانتی‌متر)	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف
آبیاری									
آبیاری نرمال	٣٤/٩٨a	٨٤/٤٠ a	٢٤٩/٧٢ a	١٢/٧٥ a	٢٦/٥٥ a	٤٣/٣١ a	١١١/٩١ a	١٤/٤٥ a	٤٩/٢٢ a
تنش خفیف	٣٣/٠٨ ab	٧٨/٨٨ a	٢٣٠/٩١ a	١٢/٥ a	٢٥/٦٠ a	٤١/٨٩ a	١٠٠/٩٣ a	١٤/٢٦ a	٤٥/٨٢ a
تنش شدید	٣٢/٤٠ b	٦٧/٣١ b	١٧٤/٨١ b	١٢/٤٥ a	١٩/٠٣ b	٣٣/١١ b	٥٦/٢٤ b	١٢/٤٤ a	٢٥/٤٨ b
ترکیب کودی									
b1	٣٣/٥٩٧ b	٧٦/٨٥ b	٢٢٩/٦٩ ab	١٢/٨٨ a	٢٣/٤٧ a	٤١/٢١ a	٩٥/٠a	١٤/٤٤ a	٤٢/٩٥ ab
b2	٤٠/١٥ a	١٠٣/٨٧ a	٢٤٢/١٩ a	١٢/٥ a	٢٥/٤١ a	٤١/٧٤ a	٩٠/٢٩ a	١٤/٦٣ a	٤٥/٢٥ a
b3	٣٣/١١ b	٦٧/٣٨ b	٢١١/٣٣ b	١٢/٨٣ a	٢٢/٩٧ a	٣٨/١٤ bc	٩٢/١٤ a	١٣/٧٤ a	٣٩/٣٩ b
b4	٣٠/٩١ b	٧١/٣٥ b	٢٠٢/٤٧ b	١١/٨٠ a	٢٢/٨٣ a	٣٩/٠٧ b	٨٧/٥٩ a	١٣/٥٧ a	٣٩/٠١ b
b5	٢٩/٦٧ b	٦٤/٨٥ b	٢٠٦/٧٨ b	١٢/٨٠ a	٢٣/٩٤ a	٣٧/٠٥ c	٨٣/٤٤ a	١٢/٢١ b	٣٤/٢٧ c

b1: باکتری حل‌کننده فسفات + قارچ میکوریزا، **b2**: باکتری حل‌کننده فسفات + قارچ میکوریزا + ۵۰٪ سوپرفسفات تریپل، **b3**: باکتری حل‌کننده فسفات + ۵۰٪ سوپرفسفات تریپل، **b4**: قارچ میکوریزا + ۵۰٪ سوپرفسفات تریپل، **b5**: ۱۰۰٪ سوپرفسفات تریپل

ادامه جدول ۳– مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده ذرت تحت تیمارهای مختلف کودی و شرایط تنش خشکی

	درصد چوب (درصد)	وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم)	وزن بلال (گرم)	عمق دانه (میلی‌متر)	طول بلال (سانتی‌متر)	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	عملکرد دانه (تن در هکتار)
آبیاری								
آبیاری نرمال	١/٠٩ a	٢٦٠/٠١ a	١٩٩/٠٨ a	١٠/٢٤ a	٢١/٢٢٢ a	٢٣/٠٢ a	٥٢/٤٢ a	١٢/٠٨ a
تنش خفیف	١/٠٢ a	٢٣٥/٧١ a	١٧٠/٥٨ a	٩/٨٩ a	١٩/٨٠٧ a	٢١/٩٨ a	٤٥/٣٧ b	٩/٩٧ b
تنش شدید	٠/٧٥ b	١٧٣/٦٣ b	٦٨/٢٤ b	٦/٨١ b	١٤/٤١ b	١١/٩٧ b	٢٨/٢٠ c	٣/٥٥ c
ترکیب کودی								
b1	١/٠١ ab	٢٣٢/٨٦ ab	١٦٤/٨٣ ab	٩/٤٦ a	١٨/٩٣ ab	١٩/٢٨ a	٤٥/٦٨ a	٩/٣٦ b
b2	١/٠٦ a	٢٤١/٤٩ a	١٧٨/٥٤ a	٩/٦٢ a	٢٠/٢٢ a	٢٠/٩٩ a	٤٦/٧٢ a	١٠/٣٥ a
b3	٠/٩٠ bc	٢١٧/٤٦ bc	١٣٥/٣٣ bc	٨/٧٢ b	١٨/١٢ bc	١٩/٤٠ a	٣٨/٠٨ b	٧/٨١ c
b4	٠/٩٤ abc	٢١٨/٨١ bc	١٤٣/١٠ b	٨/٧٥ b	١٨/٣٥ b	١٨/٩٦ a	٤٣/٤٤ a	٨/٧٤ b
b5	٠/٨٤ c	٢٠٤/٩٥ c	١٠٨/٠٣ c	٨/٣٤ b	١٦/٧٨ c	١٦/٣٣ b	٣٦/٠٧ b	٦/٤٠ D

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون برای هر کدام از فاکتورها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد می باشند.



شکل ۱ - اثر متقابل تیمارهای مختلف کودی و تنش خشکی در مورد وزن خشک برگ

جدول ٤ - مقایسه میانگین اثرات متقابل صفات اندازه‌گیری شده ذرت دانه‌ای تحت تیمارهای مختلف کودی و شرایط تنش خشکی

اثر متقابل	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف	وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم)	عملکرد دانه (تن در هکتار)	وزن خشک برگ (گرم در بوته)
50 + b1	١٤/٩٣ ab	٥٢/٦٧ a	٢٦٦/٤٣ a	١٠/٩٠ a	٣٧/٨٨ ab
50 + b2	١٥/٤٧ a	٥١/٨٧ a	٢٥٤/٨١ ab	١٠/٥٧ ab	٣٧/٤٨ ab
50 + b3	١٤/٢٩ ab	٤٧/٧٨ ab	٢٦٠/٦٣ a	٧/٤٢ a-d	٣٧/٦٨ ab
50 + b4	١٤/٠٧ ab	٤٧/٠٣ ab	٢٦٢/٦٩ a	١٠/٢٦ ab	٢٨/٣٠ cd
50 + b5	١٣/٥٣ ab	٤٦/٧٧ ab	٢٥٥/٤٩ ab	٨/٣٨ abc	٣٣/٥٨ bcd
100 + b1	١٤/٨٧ ab	٤٩/٧٩ a	٢٤٢/٩٣ abc	٧/٥٨ a-d	٢٦/٨٥ d
100 + b2	١٤/٨٤ ab	٥٣/٠٥ a	٢٥٩/٧٩ a	١٠/٦٦ ab	٤٤/٣٤ a
100 + b3	١٤/٥١ ab	٤٥/٣٣ ab	٢٤٣/٦٧ abc	٦/٠٥ b-f	٢٨/٨٨ cd
100 + b4	١٤/٢٠ ab	٤٤/٢٦ ab	٢٢٦/٦٠ a-d	٨/١١ abc	٣٣/٢٩ bcd
100 + b5	١٢/٩٢ abc	٣٦/٧١ bc	٢٠٥/٥٢ cde	٤/٩٨ c-f	٢٨/٦٤ cd
150 + b1	١٣/٥٤ ab	٢٦/٤١ cd	١٨٩/٢٠ def	٥/٢٧ c-f	٣٦/٠٧ bc
150 + b2	١٣/٥٨ ab	٣٠/٨٣ cd	٢٠٩/٨٦ b-e	٦/٨٣ a-e	٣٨/٦٣ ab
150 + b3	١٢/٤٤ bc	٢٥/٠٨ cd	١٤٨/٠٧ f	٢/٤٣ ef	٣٢/٧٧ bcd
150 + b4	١٢/٤٦ bc	٢٥/٧٤ cd	١٦٧/١٤ ef	٣/٢٢ def	٣١/١٥ bcd
150 + b5	١٠/٢٠ c	١٩/٣٣ d	١٥٣/٨٥ f	١/٨١ f	٢٦/٨١ d

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد می باشد.

براساس نتایج این تحقیق استفاده از این کودهای زیستی می‌تواند علاوه بر کاهش اثرات مخرب زیست محیطی، بر حصول عملکرد مطلوب تأثیر داشته باشد (۱۰). همچنین ریزجانداران تولیدکننده فیتوهورمون‌ها در ریزوسفر با قارچ‌های میکوریزایی تعامل داشته و می‌توانند یک نقش مؤثر در رابطه بین گیاه با قارچ ایفا نمایند (۲). همچنین مشخص شده است که وجود تریپتوفان به عنوان یک پیش ماده برای اکسین، تولید اکسین باکتریایی را تحریک می‌کند (۱۸). در مقابل، گزارش شده است که اسیدهای آمینه‌ای مانند آسپاراژین، آلانین و لیزین در ترشحات ریشه‌ای ذرت وجود دارند که می‌توانند فعالیت آنزیم‌هایی مانند تریپتوفان آمینوترانسفراز را تحریک کنند (۲۹). به‌علاوه، قندهای موجود در ترشحات ریشه‌ای ذرت می‌توانند به عنوان منبعی برای کربن به وسیله باکتری‌ها استفاده شوند. همچنین نتایج نشان داده است که این ترکیبات نه تنها بر رشد تأثیر دارند بلکه بر تولید اکسین به وسیله گونه‌های سودوموناس مؤثرند و هم‌زیستی باکتری – قارچ، این اثر را ارتقاء می‌بخشد (۲۷).

براساس نتایج به‌دست آمده از این آزمایش، حصول عملکرد مطلوب باتوجه به میزان آب مصرفی تا ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A فراهم می‌آید و درصورت افزایش شدت تنش رطوبتی گیاه با کاهش چشم‌گیر عملکرد مواجه می‌شود (جدول ۳). بنابراین درصورت کمبود آب و یا نیاز به تخصیص آب برای سایر مصارف می‌توان درصورت توجیه اقتصادی و با اعمال مدیریت‌های به‌زراعی اقدام به کشت ذرت نمود.

به‌طورکلی اینگونه استنباط می‌شود که تلقیح بذور با ترکیب کودی باکتری‌های حل‌کننده فسفر، قارچ مایکوریزا و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل تحت شرایط تنش رطوبتی، منجر به تعدیل شدت تنش رطوبتی، کاهش خسارات وارده به گیاه و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد آن خواهد شد. تغییرات ایجاد شده به‌وسیله تلقیح بذر با ترکیب کودی باکتری‌های حل‌کننده فسفر، قارچ مایکوریزا و ۵۰ درصد سوپرفسفات تریپل در گیاهان، فرضیه تأثیر این مواد تلقیحی بر هورمون‌های گیاهی را قوت می‌بخشد (۳۲). بنابراین باتوجه به تاثیر متقابل باکتری‌های حل‌کننده فسفات، قارچ مایکوریزا و کود سوپرفسفات تریپل بر یکدیگر، می توان با افزایش میزان مایکوریزایی گیاهان، وضعیت تغذیه‌ای گیاهان را در جهت مقاومت به محیط‌های دارای تنش تغییر داد.

منابع مورد استفاده

۱. ابدائی ر (۱۳۸۲) بررسی تأثیر کاربرد میکوریزا و مقادیر فسفر در سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد و برخی خصوصیات مرفولوژیکی ذرت پاپ کورن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.

۲. احتشامی س. م. ر.، آقاعلی خانی م. چایچی م. ر. و خاوازی ک (۱۳۸۸) تأثیر کودهای زیستی فسفاته بر خواص کمی و کیفی ذرت دانه‌ای (SC704) تحت شرایط تنش کم‌آبی. علوم گیاهان زراعی ایران. ٤٠: ١٥–٢٦.

۳. احتشامی س. م. ر.، آقاعلی خانی م. چایچی م. ر. و خاوازی ک (۱۳۸۷) اثر تلقیح بذر با باکتری حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزایی بر تحمل ذرت به تنش کم‌آبی. دهمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران.

٤. اله‌دادی ا.، ضرابی م. و گلباشی م (۱۳۸۸) تعدیل اثرات تنش خشکی در مرحله رشد رویشی هیبرید سینگل کراس ۷۰٤ ذرت دانه‌ای با استفاده از کودهای فسفاته، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا. چکیده مقالات اولین همایش منطقه‌ای تولید گیاهان زراعی گرمسیری در شرایط تنش‌های محیطی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات خوزستان. صفحه ٤١.

۵. امام ی (۱۳۸۵) زراعت غلات. ویرایش سوم انتشارات دانشگاه شیراز. ۱۷۳ صفحه.

٦. ایرانی‌پور ر.، ملکوتی م. ج. عابدی م. ج. سجادی ا. و غفوریان ج (۱۳۸۲) بررسی تأثیر گوگرد، ماده آلی، تیوباسیلوس و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر قابلیت جذب فسفر از منبع خاک فسفات با استفاده از تکنیک رقت ایزوتوپی. چکیده مقالات سومین همایش ملی توسعه کاربرد مواد بیولوژیک و

استفاده بهینه از کود و سم در کشاورزی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر کرج، صفحه ۲۹٦-۲۹۵.

۷. بایبوردی م.، ملکوتی م. ج. امیرمکری ح. و نفیسی م (۱۳۷۹) تولید و مصرف بهینه کودهای شیمیایی گامی به سوی کشاورزی پایدار در ایران. نشر آموزش کشاورزی.

۸. حسن‌زاده ا (۱۳۸٦) تأثیر انواع کودهای بیولوژیک حاوی باکتری تسهیل‌کننده جذب فسفر بر مقادیر مصرف کود فسفر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی کرج دانشگاه تهران

۹. رحیم‌زاده آبیازانی م.، وزان س. ملبوئی م. آ. و مدنی ج (۱۳۸۵) بررسی تاثیر کود زیستی فسفاته و مقادیر متفاوت کود شیمیایی بر عملکرد سورگوم در تراکم‌های مختلف در ساوه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد واحد ساوه.

۱۰. سیلسپور م.، بانیانی ع. و کیانی‌راد م (۱۳۸۰) ارزیابی مزرعه-ای کود فسفاته میکروبی و امکان جایگزینی آن با کودهای شیمیایی فسفری در زراعت پنبه. ضرورت تولید صنعتی کودهای بیولوژیک در کشور (مجموعه مقالات). تدوین‌کنندگان: خاوازی ک. و ملکوتی م. ج. صفحه ٤۱۰-٤۰۱، مرکز نشر آموزش کشاورزی، کرج

۱۱. شعاع حسینی م.، گلباشی م. فارسی خاوری خراسانی م. س. و آشفته بیرگی م (۱۳۸۸) بررسی همبستگی بین عملکرد و صفات وابسته به آن در هیبریدهای ذرت دانه‌ای تحت شرایط کم‌آبی. چکیده مقالات اولین همایش منطقه‌ای تولید گیاهان زراعی گرمسیری در شرایط تنش‌های محیطی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات خوزستان. صفحه ۷۲.

۱۲. گلباشی م.، شعاع حسینی، م. خاوری خراسانی، س. فارسی، م. و ضرابی م (۱۳۸۸) تأثیر تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات مرفولوژیک هیبریدهای سینگل کراس و تری وی کراس ذرت دانه‌ای. چکیده مقالات همایش ملی اصلاح الگوی مصرف در کشاورزی و منابع طبیعی. صفحه ۲۲۵.

۱۳. ملکوتی م. ج. و لطف‌الهی م. س (۱۳۸۷) نقش Zn در افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی و سلامت جامعه. نشر آموزش کشاورزی. صفحه ۱۹٤.

۱٤. ملکوتی م. ج. و غایبی م. ن (۱۳۷۷) روشهای تجزیه شیمیایی خاک. انتشارات اختصاصی موسسه تحقیقات آب و خاک ایران. شماره ۸۸۳.

۱۵. موسوی جنگلی س. ا.، ثانی ب. شریفی م. و حسینی‌نژاد ز (۱۳۸۳) بررسی تأثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و میکوریز بر روی صفات کمی ذرت دانه‌ای (سینگل‌کراس ۷۰٤). چکیدهٔ مقالات هشتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، صفحه ۱۸٤.

۱٦. نورقلی‌پور ف.، خاوازی ک. و خوش‌کام ت (۱۳۸۲) تأثیر کاربرد خاک فسفات به همراه باکتری‌های *تیوباسیلوس* و میکروارگانیسم‌های حل‌کنندهٔ فسفات بر عملکرد کمی و کیفی ذرت. چکیدهٔ مقالات سومین همایش ملی توسعهٔ کاربرد مواد بیولوژیک و استفادهٔ بهینه از کود و سم در کشاورزی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر کرج، صفحه ۲۹٦-۲۹۵.

17. Allen MJ (1992) Mycorrhiza function, Chapman & Hall.

18. Arshad M and Frankenberger WT (1991) Microbial production of plant hormones. Plant Soil. 133: 1-18.

19. Asea PEA, Kucey RMN and Stewart JWR (1988) Inorganic phosphate solubilization by two *penicillium* species in solution culture and soil. Soil Biol. Biochem. 20(4): 459-464.

20. Azcon R, Rubio R and Barea JM (1991) Selective interactions between different species of mycorrhizal fungi and Rhizobium meliloti strains and their effects on growth, N2 fixation (N15) and nutrition of medicago satival. New phytol. 117: 399-404.

21. Bolan NS, Robson AD and Barrow NJ (1987) Effects of vesicular – arbuscular mycorrhizal on the availabaility of iron phosphats to plants. Plant Soil. 99, 401-410.

22. Brown JS (1979) Water transport in plant: Mechanism of apparent changes in resistance during absorbtion. Plant Phytol. 117: 182-207.

23. Denmead OT and Shaw RH (1990) The effects of soil moisture stress at different stage of growth on the development and yield of corn. Agron. J. 52: 272-274.
24. Espelta JF, Eissenstat DM and Graham JH (1999) Citrus root responses to localization drying soil: a new approach to studing mycorrhizal effects on the roots of trees. Plant Sci. 206: 1-10.
25. Fredrick JR, Hesketh JO, Peters DB and Below FE (1989) Yield and reproduction trait responses of maize hybrids to drought stress. Field Crop Res. 4834 (Abst.).
26. Gaur R, Shani N, Kawaljeet BN, Rossi P and Aragno M (2002) Diacetyl phloroglucinol-producing Pseudomonas do not influence am Fungi in Wheat rhizosphere. Curr. Sci. 86: 453-457.
27. Leinhos V (1994) Effects pf PH and glucose on auxin production by phosphate-solubilizing rhizobacteria invitro. Microbiol. Res. 149: 135-138.
28. Lucey R, Reed E and Glick RB (2004) Application of free living plant growth – promoting rhizobacteria. Antonie Van Leeuwenhoek. 86: 1-25.
29. Martens DA and Frankenberger WT (1994) Assimilation of exogenous 2-indole-3-acetic acid and 3-c 15 tryptophan exposed to the roots of three wheat varieties. Plant soil. 166: 281-290.
30. Nagahashi G, Douds DD and Abney G (1996) Phosphorus amendment inhibits hyphal branc hing of the VAM fungus Gigaspora margarita directly and indirectly through its effect on root exudation. Mycorrhiza. 6: 401-410.
31. Nesmith DS (1991) Growth resposes of corn (*Zea mays* L.) to intermittent soil water deficits. Field Crop Res. 7924 (Abst.).
32. Niemira BA, Safir GR, Hammerschmidt R and Bird GW (1995) Production of prenuclear minitubers of potato with peat-based-arbuscular mycorrhizal fungal inoculums. Aron. J. 87: 942-946.
33. Prikryl Z, Vancura V and Wurst M (1985) Auxin formation by rhizosphere bacteria as a factor of root growth. Biol. Plantarum 27: 159-163.
34. Rodriguez H and Fraga R (1999) Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion (review paper). Biotechnology Advances 17: 319-339.
35. Sharma AK (2002) Biofertilizer for Sustainable Agriculture. 1nd edition. Jodhpur: Agrobios, India. 45 p.
36. Subba Rao NS (1988) Biofertilizers in agriculture. 1th Ed. New Delhi: Oxford and IBH Publishing Co., India.
37. Subramanain KC, Santhanakrishnan P and Balasubramanian P (2006) Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. Sci. Hortic. 107: 245-253.
38. Subramanain KS, Charest C, Dwyer LM and Hamilton RI (1997) Effect of mycorrhizaon leaf water potential,sugar and P contents during and after recovery of maize. Can J. Bot. 75: 1582-1591.
39. Zarei M, Saleh-Rastin N, Alikhani H A and Aliasgharzadeh N (2006) Responses of Lentil to Co-Inoculation with Phosphate-Solubilizing Rhizobial Strains and Arbuscular Mycorrhizal Fungi. J. Plant Nutr. 29: 1509-1522.

Reduction of drought stress effects on yield and yield components of grain corn (*Zea mays* L.) using mixed biofertilizers and phosphorus

M. Zarabi[1], I. Alahdadi [2], Gh. Abbas Akbari[3] H. Iran Nejad [4] and Gh. Ali Akbari [5]

E-mail: zarabi@ut.ac.ir

Abstract

To study the seprate and combined effects of phosphorus fertilizer, Phosphate-solubilizing bacteria and mycorrhizal fungus on reducing drought stress damages of grain corn (SC704) during its vegetative stages under field conditions, an experiment was conducted as split plot based on RCBD with three replications at College of Abouraihan, University of Tehran in 2009. Experimental factors were drought stress as main-plot (irrigation after 50 as control, 100 and 150 mm evaporation from pan class A) and fertilizer plus biofertilizer compounds as sub-plots. Drought stress began after seedling stage. Analysis of variance showed that drought stress significantly affected most of investigated traits such as number of row/ ear, number of kernel/ row, ear weight, 1000kernel weight and grain yield. All the measured traits in compounds phosphate-solubilizing bacteria, mycorrhiza fungies and triple super phosphate treatment were higher than other treatments under water deficit stress conditions. Frthermore, grain yield in triple super phosphate treat under severe water deficit stress conditions (1.81 ton/ha) were significantly less than normal irrigation (8.38 ton/ha) and low stress conditions (4.98 ton/ha). According to this experiment, seed inoculation with phosphate-solubilizing bacteria, mycorrhiza fungies and triple super phosphate compounds affected grain yield and harvest index significantly. This experiment showed that phosphate-solubilizing microorganisms can positively interact in promoting plant growth as well as in P uptake in maize plant, leading to improve plant tolerance under water deficit stress conditions.

Keywords: Grain yield, Mycorrhiza fungies, Phosphate-solubilizing bacteria, Triple super phosphate,

1- M.Sc. Student of Agronomy, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran – Iran **(Corresponding Author)**
2- Associate Prof., Dept. of Agronomy & Plant Breeding, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran - Iran
3- Associate Prof., Dept. of Agronomy & Plant Breeding, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran - Iran
4- Professor, Dept. of Agronomy & Plant Breeding, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran – Iran
5- Assistant Prof., Dept of Agronomy & Plant Breeding, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran - Iran