دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره ششم/ شماره اول/ بهار ۱۳۹۵ (۱۳۲-۱۱۹)

اثر کود زیستی فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) تحت شرایط تنش خشکی

پیمان شریفی[1*] و مجتبی عادلی‌نسب[2]

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۳۰

چکیده

به منظور بررسی اثر تنش خشکی و کود زیستی فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت هیبرید سینگل‌کراس ۶۴۰، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول در تابستان سال ۱۳۹۲ انجام شد. سه سطح تنش خشکی شامل آبیاری کامل (شاهد)، تنش خشکی در مرحله گل‌دهی و تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه در کرت‌های اصلی و سطوح کود زیستی (تلقیح و عدم تلقیح با کود زیستی فسفر) در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنش خشکی، تمامی صفات مورد مطالعه را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. اثر کود زیستی نیز روی تمام صفات به‌جز تعداد ردیف در بلال معنی‌دار شد. برهم‌کنش تنش خشکی × کود زیستی بر طول بلال، محتوی فسفر دانه، جذب فسفر دانه، محتوی پروتئین دانه، جذب نیتروژن دانه، شاخص برداشت نیتروژن، شاخص برداشت فسفر و وزن هکتولیتر معنی‌دار بود. استفاده از کود زیستی سبب افزایش ۱۷ درصدی عملکرد دانه شد. بیشترین میزان عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل (۱۱۸۱۳/۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. تنش خشکی در مرحله گل‌دهی باعث کاهش ۳۶ درصدی عملکرد دانه، ۱۶ درصدی تعداد دانه در ردیف و ۸ درصدی تعداد ردیف در بلال شد. با وجود آنکه، اعمال تنش خشکی در هر دو مرحله رشدی میزان جذب نیتروژن دانه و وزن هکتولیتر را در شرایط تلقیح و عدم تلقیح به‌طور معنی‌داری کاهش داد، اما استفاده از کود زیستی فسفر تحت شرایط تنش خشکی نقش تعدیل‌کننده روی این صفات داشت. بنابراین، نتایج این تحقیق نشان داد که تلقیح بذر با کود زیستی فسفر می‌تواند آثار سوء تنش خشکی را بر صفات کمی و کیفی ذرت کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: رژیم آبیاری، صفات کیفی، کود زیستی بارور-۲

۱- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
* نویسنده مسئول: peyman.sharifi@gmail.com

مقدمه

خشکی، خطری جدی برای تولید موفق ذرت در سراسر جهان محسوب می‌شود. تنش خشکی علاوه بر اثر منفی بر عملکرد، باعث بروز یا تشدید سایر تنش‌ها به‌ویژه تنش کمبود عناصر غذایی از طریق اختلال در روند جذب و تجمع عناصر غذایی نیز می‌شود (Debaeke and Abdellah, 2004). اثر خشکی در مرحله رشد رویشی گیاه ذرت شامل تغییرات فنوتیپی و مورفولوژیک از قبیل کوچک و لوله‌ای شدن سطح برگ‌ها، کاهش ارتفاع بوته، ریزش برگ‌های مسن و متأثر شدن فعالیت روزنه‌ها و فتوسنتز می‌باشد (Bassetti and Westgate, 1993).

تغذیه مطلوب گیاهی به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر بر بهبود توانایی گیاهان در مقابله با تنش خشکی به شمار می‌رود و می‌تواند منجر به کاهش آثار مضر تنش خشکی و کاهش عملکرد دانه شود. پیامد افزایش فسفر خاک، کاهش عملکرد ناشی از نسبت بالای فسفر به روی یا فسفر به آهن و تجمع بُر، مولیبدن و کادمیوم در بافت‌های گیاهی است (Emam and Seghatoleslami, 2005). باکتری‌های حل‌کننده فسفات در داخل خاک در اطراف ریشهٔ گیاه مستقر می‌شوند و از ترشحات قسمت ریزوسفر ریشهٔ گیاه تغذیه می‌کنند و در قبال آن، مقدار فسفاتی که گیاه به‌طور طبیعی به آن نیاز دارد را در اختیار گیاه قرار می‌دهند. در صورتی که فسفات شیمیایی در کنار ریشهٔ گیاه کمتر از مقدار مورد نیاز گیاه باشد، این باکتری‌ها ترکیبات نامحلول فسفاته را تجزیه می‌کنند و به این ترتیب، فسفر و حتی برخی عناصر دیگر مانند آهن، روی و کلسیم که به همراه فسفر در این ترکیبات وجود دارند را در اختیار گیاه قرار می‌دهند (Zahir *et al.*, 2004). رفیعی و همکاران (Rafiee *et al.*, 2003) نشان دادند که هرگاه تنش خشکی و زیادی فسفر با هم ایجاد شود، اثر تشدیدکنندگی داشته و موجب اُفت شدیدتری در رشد و نمو و عملکرد گیاه می‌شود.

آزمایش‌های متعددی در زمینه کاربرد کودهای زیستی از قبیل باکتری‌های حل‌کننده فسفر و محرک رشد در ذرت انجام شده است و نتایج حکایت از نقش مثبت این ریزموجودات در صفاتی مانند بازده زراعی کود (تفاضل عملکرد بین نمونه‌های کود خورده و شاهد بر میزان کود دریافتی)، بازده نسبی زراعی (تفاضل وزن خشک در تیمار شاهد و تیمار مورد نظر بر وزن خشک در تیمار شاهد و تیمار کود شیمیایی)، کارایی مصرف کود (نسبت عملکرد دانه بر نیتروژن جذب شده توسط گیاه)، میزان بازیافت کودهای نیتروژنی و فسفر (به ترتیب نسبت نیتروژن و فسفر جذب شده توسط گیاه بر کود نیتروژن و فسفر استفاده شده به‌علاوه نیتروژن و فسفر موجود در خاک)، فنولوژی گیاه، تعداد برگ‌ها، شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل برگ، قطر ساقه، عملکرد دانه، افزایش ماده خشک، قطر بلال، تعداد بلال، تعداد ردیف دانه و وزن هزار دانه داشتند (Ehteshami *et al.*, 2007; Shabibi, 2009; Zarabi *et al.*, 2010; Mahrokh *et al.*, 2011).

در زمینه برهم‌کنش تنش خشکی و استفاده از کودهای شیمیایی و زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای نیز تحقیقاتی انجام شده است. احتشامی و همکاران (Ehteshami *et al.*, 2007) نشان دادند که ریزموجودات حل‌کننده فسفر می‌توانند با افزایش رشد و جذب فسفر در ذرت منجر به افزایش تحمل گیاه تحت شرایط کم‌آبی شوند. مجیدیان و همکاران (Majidian *et al.*, 2008) نشان دادند که در شرایط تنش شدید خشکی، مصرف مخلوط کود شیمیایی نیتروژن و کود آلی، علاوه بر کاهش میزان مصرف کودهای شیمیایی، عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد. ضرابی و همکاران (Zarabi *et al.*, 2010) در مطالعه‌ای نشان دادند که باکتری‌های حل‌کننده فسفات با افزایش رشد ذرت و جذب فسفر، منجر به افزایش تحمل گیاه نسبت به شرایط تنش کم‌آبی شدند. تنش خشکی علاوه بر عملکرد، ویژگی‌های کیفی ذرت را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌طوری که در شرایط تنش خشکی، میزان پروتئین دانه افزایش و نشاسته آن کاهش می‌یابد (Farley and Coot, 1998). از آنجایی که گیاه ذرت در دوره‌های مختلف رشد و نمو نیازهای متفاوتی به عناصر غذایی دارد، اثر تنش خشکی نیز بر روند جذب و تجمع عناصر غذایی در این دوره‌های رشدی متفاوت بوده و با افزایش نیاز گیاه به عناصر غذایی در مرحله‌ای از رشد، اثر تنش خشکی نیز در آن دوره بیشتر خواهد بود (Bassetti and Westgate, 1993).

هدف از این تحقیق، بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات کیفی هیبرید متوسطرس ذرت (SC640) در شرایط دزفول و تأثیر کود زیستی فسفاته بارور-۲ بر صفات مورد بررسی تحت شرایط محدودیت آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در تابستان سال ۱۳۹۲ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول واقع در منطقه سنجر با طول جغرافیایی ۴۸ درجه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه شمالی و با ارتفاع ۱۴۰ متر از سطح دریا اجرا شد. پیش از اجرای آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد و تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک انجام قرار گرفت. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ و شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد گیاه در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the experimental soil

بافت خاک Soil texture	اجزای بافت خاک Soil components (%)			اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)
	رس Clay	شن Sand	لای Silt						
رسی Clay	58	22	20	7.05	1.3	0.17	0.7	159	13

در این تحقیق از هیبرید سینگل‌گراس ۶۴۰ که جزء ذرت‌های گروه متوسط‌رس محسوب می‌شود، برای مطالعه اثر کود زیستی فسفر استفاده شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تنش خشکی یا رژیم آبیاری به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح (آبیاری معمول در تمام دوره رشد معادل نیاز آبی گیاه (شاهد)، اعمال تنش خشکی در مرحله گل‌دهی با قطع کامل آبیاری دو هفته قبل از ظهور گل تاجی تا زمان ظهور ۵۰ درصد گل‌تاجی و اعمال تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه پس از خاتمه گرده‌افشانی تا انتهای شیری شدن دانه) و کود زیستی بارور-۲ به‌عنوان فاکتور فرعی در دو سطح (عدم تلقیح و تلقیح به میزان توصیه شده توسط شرکت زیست‌فناور سبز) بود. بود. آبیاری معمول بر اساس خروج ۵۰ درصد آب قابل استفاده در منطقه ریشه و کم آبیاری با قطع آبیاری و بستن سر کرت‌ها اجرا شد. در تیمار دوم پس از ظهور ۵۰ درصد گل‌تاجی و در تیمار سوم از انتهای شیری شدن دانه‌ها، مجدداً کرت‌ها بر اساس رسیدن به ۵۰ درصد تخلیهٔ آب قابل استفاده تا زمان برداشت آبیاری شدند. زمان آبیاری از طریق اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک به روش وزنی تعیین شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت به طول پنج متر با فاصله ۷۵ سانتی‌متر بین ردیف‌ها بود و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف‌ها نیز ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. افشارمنش و همکاران (Afsharmanesh *et al.*, 2007) برای ارقام متوسط‌رس ذرت، فاصله بوته‌های ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر را روی خطوطی با فاصله ۷۵ سانتی‌متر پیشنهاد دادند. صادقی (Sadeghi, 2005) نیز نشان داد که فاصله خطوط ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته ۱۷ سانتی‌متر بهترین تراکم کاشت برای هیبرید متوسط‌رس SC647 است.

به منظور آماده‌سازی زمین، قبل از اجرای آزمایش آبیاری صورت گرفت و پس از گاورو شدن، زمین توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد و سپس جهت خرد کردن کلوخ‌ها و یکنواخت شدن وضعیت خاک، زمین دیسک و ماله زده شد. پس از آن، زمین فارو زده شد و جوی‌های اصلی در حاشیه زمین و بین تکرارها آماده شدند. به منظور اطمینان از عدم تداخل آبیاری در رژیم‌های آبیاری، فاصله بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر در نظر گرفته شد و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری در خاک پلاستیک کشیده شد. برای تلقیح بذرها با کود زیستی فسفاته بارور-۲ (که توسط شرکت زیست‌فناور سبز تولید و ارایه شده است)، پس از تعیین میزان بذر مورد نیاز، بذرها پیش از کاشت و در ابتدای روز در ظروف درب‌دار مشکی رنگ با محلول باکتری‌های مورد نظر آغشته و سپس در سایه خشک شدند.

کاشت مطابق نقشه آزمایش در تاریخ ۱۵ مرداد ۱۳۹۲ انجام شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و دومین آبیاری سه روز بعد از آبیاری اول و آبیاری‌های بعدی از طریق اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک به روش وزنی (معمولاً هر هفت روز یکبار) برای شاهد صورت گرفت. آبیاری برای سایر واحدهای آزمایشی مطابق با تیمارهای آبیاری اعمال شد. برای تامین نیتروژن مورد نیاز گیاهان، مقدار ۹۲

کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (از منبع اوره) مصرف شد که نصف آن همزمان با کاشت و بقیه در دو مرحله (هشت تا ده برگی و ظهور ۵۰ درصد گل‌تاجی) استفاده شد. عناصر فسفر (از منبع سوپر فسفات تریپل) و پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم) خالص به ترتیب به میزان ۴۸ و ۷۱ کیلوگرم در هکتار به صورت پایه به خاک داده شدند. مبارزه با علف‌های هرز نیز با وجین دستی در طول مدت رشد گیاه صورت گرفت.

جدول ۲- شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش

Table 2. Climatic conditions of the experimental site

ماه Month	میانگین دمای ماهیانه Monthly average temperature	مجموع بارندگی ماهیانه Monthly total rainfall	حداکثر بارندگی روزانه Maximum daily rainfall	تبخیر ماهیانه Monthly evaporation	ساعات آفتابی ماهیانه Monthly Sunshine Hours	میانگین رطوبت نسبی ماهانه The monthly average relative humidity
August	37.9	0	0	422.6	317.1	29
September	33.2	0	0	318.5	321.1	37
October	28.6	3.9	2.6	211	261.5	44
November	22.9	58.2	24.5	115.5	212.2	59
December	15.2	72	34.2	50.6	154.5	74

ویژگی‌های زراعی و مورفولوژیک شامل طول بلال، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف و وزن هزار دانه روی ۱۰ گیاه در هر کرت اندازه‌گیری و میانگین‌گیری شد. عملکرد نهایی دانه در هر واحد آزمایشی با احتساب یک متر حاشیه از طرفین و حذف دو خط کناری در مساحتی معادل ۴/۵ مترمربع اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری وزن هکتولیتر از دستگاه DICKEY-john, mini GAC استفاده شد. بدین منظور، ابتدا سیلندر اولیه تا خط مخصوص از ذرت پر شد، سپس تیغه کشیده شد. پس از پر شدن سیلندر اصلی، تیغه مخصوص بدون اینکه تکان بخورد و در جای مخصوص به آرامی و با یک حرکت در درون ذرت برده شد، به طوری که هیچ‌گونه ذرتی بین تیغه و جای مخصوص آن باقی نماند. بعد از در آوردن تیغه و سیلندر زمان‌سنج، سیلندر اصلی به ترازو آویزان شد و ذرت پر شده درون آن وزن شد و عدد هکتولیتر بر حسب کیلوگرم بر هکتولیتر اعلام شد.

در زمان رسیدگی از محصول دانه نمونه‌هایی جهت تجزیه تهیه شد. نمونه‌ها پس از شست و شو با آب معمولی و آب مقطر کاملاً تمیز شدند و سپس در آون در درجه حرارت ۷۰ درجه سلسیوس برای مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند تا خشک و سپس آسیاب شوند. بعد از هضم نمونه‌ها با اسید سولفوریک، اسید سالسیلیک و آب اکسیژنه، میزان نیتروژن به روش کجلدال تعیین شد. جهت تعیین درصد فسفر از روش هضم در بالن ژوژه با اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک و آب اکسیژنه استفاده شد. پس از تهیه عصاره، با روش نورسنجی (رنگ زرد وانادات مولیبدات) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر میزان فسفر دانه اندازه‌گیری شد. برای محاسبه میزان نیتروژن و فسفر جذب شده توسط دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار، مقدار نیتروژن و فسفر دانه (درصد) در عملکرد تیمار مربوطه ضرب شد و همچنین برای تعیین درصد پروتئین دانه، مقدار نیتروژن دانه در عدد ۶/۲۵ ضرب شد (Ehyaie, 1997). شاخص برداشت نیتروژن و فسفر به ترتیب از نسبت مقدار نیتروژن و فسفر موجود در دانه بر مقدار نیتروژن و فسفر موجود در زیست‌توده محاسبه شد (Hirel *et al.*, 2007).

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه آماری توسط نرم‌افزار آماری SAS انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با روش اختلاف معنی‌دار قابل اعتماد روش توکی (HSD) انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی بر تمام صفات مورد مطالعه شامل طول بلال، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، محتوی فسفر دانه، جذب فسفر دانه، محتوی پروتئین دانه، جذب نیتروژن دانه، شاخص برداشت نیتروژن، شاخص برداشت فسفر و وزن هکتولیتر معنی‌دار بود. اثر کود زیستی نیز بر تمام صفات مورد مطالعه به جزء تعداد ردیف در بلال معنی‌دار شد. در مقابل، برهمکنش تنش × کود زیستی از بین صفات مربوط به اجزای عملکرد، فقط بر طول بلال معنی‌دار شد، ولی بر تمامی صفات کیفی دانه

شامل محتوی فسفر دانه، جذب فسفر دانه، محتوی پروتئین دانه، جذب نیتروژن دانه، شاخص برداشت نیتروژن، شاخص برداشت فسفر و وزن هکتولیتر معنی‌دار بود (جدول‌های ۳ و ۴). با توجه به معنی‌دار شدن برهمکنش دو فاکتور بر این صفات، فقط مقایسه میانگین برهمکنش این دو فاکتور برای این صفات بررسی شد و برای سایر صفات مورد مطالعه، فقط آثار اصلی فاکتورهای تنش و کود زیستی انجام شد (Sharifi, 2013).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کود زیستی بارور-۲ تحت شرایط تنش خشکی بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت

Table 3. Analysis of variance of the effect of Barvar-2 biofertilizer on yield and yield components of corn

Source of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی df	Mean square میانگین مربعات				
			عملکرد دانه Grain yield	وزن هزار دانه 1000-grain weight	تعداد دانه در ردیف Number of grain per row	تعداد ردیف در بلال Number of row per ear	طول بلال Ear length
Block	بلوک	2	129419.07^{ns}	87.53^{ns}	4.97^{ns}	0.43^{ns}	0.25^{ns}
Drought stress (S)	تنش خشکی	2	27862742.44**	10293.44**	82.33*	1.94**	10.15*
Main error	خطای اصلی	4	195975.52	31.63	5.29	0.093	0.84
Biofertilizer (B)	کود زیستی	1	13758859.1**	4386.73**	110.06**	0.57^{ns}	10.13**
S × B	تنش× کود زیستی	2	301117.94^{ns}	177.24^{ns}	30.88^{ns}	0.008^{ns}	3.05*
Sub-error	خطای فرعی	6	113123.57	78.27	6.53	0.43	0.44
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		3.46	4.62	5.84	4.58	3.08

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

بررسی اثر کود زیستی نشان داد که بیشترین تعداد دانه در ردیف (۴۶/۲) در شرایط تلقیح با کود زیستی فسفاته بارور ۲ به‌دست آمد که با شرایط عدم تلقیح (۴۱/۳) اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها در ارتباط با اثر تنش خشکی نشان داد که بیشترین تعداد دانه در ردیف (۴۷/۳) در شرایط عدم اعمال تنش خشکی حاصل شد که با اعمال تنش در مرحله پر شدن دانه (۴۳/۹) اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین تعداد دانه در ردیف در شرایط اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی (۳۹/۹) به‌دست آمد (جدول ۶). صفت تعداد دانه در ردیف ذرت یک صفت ژنتیکی است که از عوامل محیطی تأثیر کمی می‌پذیرد، اما در شرایط تنش‌های محیطی شدید، به ویژه اگر این تنش‌ها در زمان تثبیت تعداد دانه در بلال اتفاق افتد، موجب ایجاد اختلال در تعداد دانه در ردیف‌های بلال شده و از تعداد دانه‌ها کاسته می‌شود. تنش‌های محیطی از طریق ایجاد محدودیت در تأمین مواد فتوسنتزی لازم، تعداد دانه‌ها و ردیف‌ها را در بلال تحت تأثیر قرار می‌دهد (Emam and Niknejad, 2004). حسن‌وند (Hassanvand, 2009) گزارش نمود که تنش خشکی در طی گل‌دهی و اوایل نمو دانه، تعداد دانه در بلال ذرت را کاهش می‌دهد. تعداد دانه در بلال حساس‌ترین جزء عملکرد به کمبود آب است (Emam, 2007). همچنین ضرابی و همکاران (Zarabi *et al.*, 2010) نشان دادند که تأثیر خشکی و همچنین ترکیب کودهای زیستی و فسفره بر صفت تعداد دانه در کل بلال بسیار معنی‌دار بود.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد ردیف در بلال (۱۴/۹) در شرایط شاهد بدون تنش حاصل شد و با اعمال تنش در مرحله گل‌دهی از تعداد ردیف‌های دانه در هر بلال به‌طور معنی‌داری کاسته شد و کمترین میزان این صفت در شرایط اعمال تنش در مرحله گل‌دهی (۱۳/۸) حاصل شد. کاهش تعداد ردیف در بلال را می‌توان بر اثر تنش خشکی در مرحله گل‌دهی به عقیمی تخمک‌ها نسبت داد. عواملی مثل کمبود آب، نیتروژن و سایر عناصر غذایی می‌توانند سبب کاهش تعداد ردیف در بلال ذرت شوند (Emam and Niknejad, 2004).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر کود زیستی بارور-۲ تحت شرایط تنش خشکی بر صفات کیفی دانه ذرت

Table 4. Analysis of variance of the effect of Barvar-2 biofertilizer on quality traits of corn

Source of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی df	Mean square میانگین مربعات						
			فسفر دانه Grain P	جذب فسفر دانه Grain P uptake	پروتئین دانه Grain Protein	جذب نیتروژن دانه Grain N uptake	شاخص برداشت نیتروژن N harvest index	شاخص برداشت فسفر P harvest index	وزن هکتولیتر Hectolite r weight
Block	بلوک	2	0.00002	2.53	0.37	0.75	0.0002	0.00021	4.25
Drought stress	تنش	2	0.049**	506.08**	4.27**	1877.4**	0.1162*	0.13337**	357.11**
Main error	خطای اصلی	4	0.0004	4.53	0.19	47.09	0.00028	0.00061	4.25
Biofertilizer (B)	کود زیستی	1	0.0128**	482.5**	3.78**	4780.5**	0.0174**	0.005**	300.12**
S × B	تنش × کود زیستی	2	0.0014**	11.23*	1.67*	77.98*	0.0044*	0.0099**	26.62*
Sub-error	خطای فرعی	6	0.00006	1.58	0.19	13.52	0.00042	0.00015	4.69
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		2.79	4.46	5.31	2.75	4.31	2.54	3.02

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪.

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

نتایج مقایسه میانگین‌ها بیانگر آن است که بیشترین میزان وزن هزار دانه (۲۰۷/۰ گرم) در شرایط تلقیح در مقایسه با عدم تلقیح (۱۷۵/۸ گرم) حاصل شد (جدول ۵). ملکوتی و تهرانی (Malakouti and Tehrani, 2005) اظهار داشتند که باکتری‌های محرک رشد بر وزن هزار دانه ذرت تأثیر داشته و علت آن را بدین صورت توجیه کردند که این باکتری‌ها با تولید هورمون‌های تحریک‌کننده رشد و تأمین عناصر غذایی، امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه را فراهم ساخته‌اند. همچنین در ارتباط با اثر تنش خشکی بر وزن هزار دانه مشخص شد که این صفت به شدت متأثر از اعمال تنش خشکی بود و بین سه سطح تنش خشکی اختلاف معنی‌دار وجود داشت و در شرایط اعمال تنش در مرحله پر شدن دانه (۱۹۲/۹ گرم) نیز از میزان وزن هزار دانه در مقایسه با شرایط عدم اعمال تنش به طور معنی‌داری کاسته شد (جدول ۶). در پندی و همکاران (Pandy *et al.*, 2000) نیز اظهار داشتند که در ذرت مرحله گرده‌افشانی و دو هفته پس از آن حساس‌ترین دوره به تنش آب است و طی این دوره تعداد دانه در بلال به شدت کاهش می‌یابد، در حالی‌که تنش آب در سه هفته پس از گرده‌افشانی، وزن دانه‌ها را به شدت کاهش می‌دهد که مطابق با این آزمایش بود.

بررسی تأثیر کود زیستی بر عملکرد دانه نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه در شرایط تلقیح با کود زیستی فسفاته بارور-۲ (۱۰۵۸۲/۴ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با عدم تلقیح (۸۸۳۳/۸ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۵). در تطابق با نتیجه حاضر، ضرابی و همکاران (Zarabi *et al.*, 2010) نشان دادند که عملکرد دانه در تیمارهای تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفات تحت شرایط کم‌آبیاری بالاتر از سایر تیمارها قرار گرفتند و نتیجه گرفتند و باکتری‌های حل‌کننده فسفات با افزایش رشد ذرت و جذب فسفر، می‌توانند به افزایش تحمل گیاه نسبت به شرایط تنش کم‌آبی منجر شوند. احتشامی و همکاران (Ehteshami *et al.*, 2005) نیز نشان دادند که ریزجانداران حل‌کنندهٔ فسفات می‌توانند با افزایش رشد و جذب فسفر در ذرت منجر به افزایش تحمل گیاه تحت شرایط کم‌آبی شوند. عملکرد دانه صفتی است که به شدت تحت تأثیر اعمال تنش خشکی می‌باشد، به‌طوری که در شرایط عدم اعمال تنش رطوبتی عملکردی معادل ۱۱۸۱۳/۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در حالی‌که قطع کامل آبیاری در دو هفته قبل از ظهور گل تاجی تا زمان ظهور ۵۰ درصد گل تاجی (تنش در مرحله گل‌دهی) سبب کاهش شدید عملکرد دانه (۷۵۰۶/۷ کیلوگرم در هکتار) شد. همچنین در شرایط اعمال تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه پس از خاتمه گرده‌افشانی تا انتهای شیری شدن دانه نیز از عملکرد دانه (۹۸۰۴/۴ کیلوگرم در هکتار) نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کاسته شد (جدول ۶). در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، اوتار و همکاران (Outter *et al.*, 1987) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه در ذرت گردید و این کاهش عملکرد دانه بیشتر در ارتباط با کاهش در تعداد

دانه نسبت به وزن دانه بود. شریستا و همکاران (Shrestha *et al.*, 2006) نشان دادند که تنش خشکی سبب کاهش طول بلال می‌شود و از آنجا که این صفت به‌طور غیر مستقیم بر عملکرد دانه تاثیر می‌گذارد، موجب کاهش تعداد دانه در بوته و در نتیجه عملکرد دانه نیز می‌شود.

جدول ۵- اثر کود زیستی فسفاته بارور-۲ بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت هیبرید سینگل‌کراس ۶۴۰

Table 5. The effects of phosphate barvar-2 biofertilizer on grain yield and it's components of hybrid corn, SC640

Bio-fertilizer	کود زیستی	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزار دانه 1000-grain weight	تعداد دانه در ردیف Number of grain per row
Non-inoculated	عدم تلقیح	8833.8[b]	175.8[b]	41.3[b]
Inoculated	تلقیح	10582.4[a]	207.0[a]	46.2[a]
$HSD_{5\%}$		387.9	10.2	2.9

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters have not significant differences by Tukey's test at 5% probability level.

همانطور که اشاره شد در مورد صفاتی که برهمکنش دو فاکتور معنی‌دار بود، اقدام به بررسی برهمکنش تنش خشکی × کود زیستی فسفاته بارور-۲ شد. در ارتباط با صفت طول بلال در این تحقیق مشاهده شد که در هر کدام از شرایط تلقیح و عدم تلقیح با کود زیستی فسفاته بارور ۲، بیشترین طول بلال مربوط به عدم اعمال تنش بود و کمترین میزان طول بلال نیز در شرایط اعمال تنش در مرحله گل‌دهی حاصل شد. از دیگر نکاتی که می‌توان به آن اذعان نمود، این است که اختلاف معنی‌داری بین طول بلال در شاهد بدون تنش و اعمال تنش در مرحله پر شدن دانه در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح وجود نداشت. حال آنکه زمانی که تنش در مرحله گل‌دهی اعمال شد، در شرایط عدم تلقیح طول بلال کمتر بود (۲۱/۱۸ سانتی‌متر) و به‌طور معنی‌داری با طول بلال در شرایط تلقیح (۱۸/۶۷ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌دار داشت. بنابراین به نظر می‌رسد که تلقیح با کود زیستی بارور-۲ به طور معنی‌داری از کاهش بیشتر طول بلال در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی جلوگیری به‌عمل آورده است (جدول ۷). در این راستا شریستا و همکاران (Shrestha *et al.*, 2006) نشان دادند که تنش خشکی با تاثیر بر فتوسنتز برگ موجب کاهش تولید ماده پرورده، رشد سلولی و طول بلال می‌شود. تنش در مرحله گل‌دهی موجب کاهش تولید مواد پرورده اختصاص یافته به بلال و نقصان رشد محور بلال می‌گردد و در نتیجه طول بلال در تیمارهای تنش خشکی در مرحله گل‌دهی کمتر می‌باشد. به دلیل تأثیر باکتری‌های سودوموناس در تولید فیتوهورمون‌های گیاهی از جمله جیبرلین و اکسین و نیز افزایش جذب فسفر و با توجه به اینکه جیبرلین‌ها باعث افزایش رشد طولی سلول‌ها و اکسین‌ها موجب تقسیمات سلولی بیشتر می‌شوند، تلقیح با باکتری‌های حل‌کننده فسفات از جمله سویه‌هایی از جنس سودوموناس، تاثیر مفیدی در طویل شدن ریشه و ریشه‌های جانبی دارد، به‌طوری که موجب افزایش سطح ریشه‌ها و بالطبع افزایش جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود (Shabibi, 2009). عامل اصلی کاهش طول بلال در تیمار تنش خشکی، عدم وقوع حداکثر پتانسیل رشدی بلال‌ها و در نتیجه تاخیر در مرحله رشد بلال و کاهش مواد پرورده فراهم جهت رشد بلال می‌باشد (Ahmadi *et al.*, 2000).

نتایج مقایسه میانگین‌های صفات کیفی نشان داد که در شرایط تلقیح و عدم تلقیح بذور با کود زیستی بارور-۲، بیشترین جذب نیتروژن دانه در شرایط بدون تنش حاصل شد. همچنین در هر دو شرایط، کمترین میزان جذب فسفر دانه و جذب نیتروژن دانه مربوط به اعمال تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه بود. در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح کمترین محتوی فسفر دانه و پروتئین دانه در شرایط بدون تنش حاصل شد و با اعمال تنش در مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه به میزان این صفات در دانه افزوده شد، به‌طوری‌که بیشترین محتوی فسفر و پروتئین دانه به ترتیب برابر با ۰/۴۳و ۹/۴۰ درصد در شرایط اعمال تنش در مرحله پر شدن دانه و تلقیح بذور با کود زیستی بارور ۲ حاصل شد (جدول ۷). در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر، تومیسون و همکاران (Thomison *et al.*, 2003) نشان دادند که با آبیاری مطلوب، میزان پروتئین دانه ذرت کاهش می‌یابد. آنها گزارش کردند که

کاهش میزان پروتئین دانه ذرت در آبیاری مطلوب به این علت می‌باشد که نسبت آندوسپرم سخت به آندوسپرم آردی کاهش می‌یابد. آندوسپرم سخت دارای میزان بیشتر پروتئین نسبت به آندوسپرم آردی می‌باشد.

در ارتباط با افزایش میزان پروتئین دانه با اعمال تنش در مرحله پر شدن دانه، ثقه‌الاسلامی و همکاران (Seghatoleslami *et al.*, 2005) اظهار داشتند که در مرحله پر شدن دانه، اولین ترکیباتی که در دانه ذخیره می‌شوند، ترکیبات پروتئینی هستند و بعد از این مرحله ترکیبات کربوهیدراتی در دانه ذخیره می‌شوند. بنابراین هر چه طول دوره پر شدن دانه به واسطه کمبود آب کوتاه شود، به منزله کوتاه شدن دوره ذخیره‌سازی کربوهیدرات است و اثر کمتری بر ذخیره‌سازی پروتئین دارد، به همین دلیل است که با افزایش شدت تنش خشکی، درصد کربوهیدرات دانه کاهش و پروتئین دانه افزایش می‌یابد. همچنین ماهالاکشمی و بیدینگر (Mahalakshmi and Bidinger, 1986) نشان دادند که در شرایط تنش خشکی جذب و تثبیت دی اکسید کربن بر اثر بسته شدن نسبی روزنه‌ها و یا کاهش درجه باز بودن آن‌ها کاهش می‌یابد، بنابراین میزان کل مواد پرورده برای پر شدن دانه کاهش می‌یابد، ولی تنش خشکی انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها به دانه را کاهش نمی‌دهد و این موضوع سبب افزایش پروتئین دانه می‌شود. در شرایط تنش آبی با توجه به اینکه همزمان کاهش ساخت و ذخیره‌سازی کربوهیدرات‌ها و پروتئین اتفاق می‌افتد و از آنجایی که میزان کاهش کربوهیدرات‌ها نسبت به پروتئین در دانه بیشتر است، از این‌رو میزان پروتئین دانه افزایش می‌یابد. از طرف دیگر تحت شرایط تنش خشکی، ساخت بعضی از پروتئین‌ها مثل پرولین افزایش می‌یابد (Ghattavi *et al.*, 2013).

فارلی و کوت (Farley and Coot, 1998) در بررسی اثر تنش خشکی بر ذرت مشاهده کردند که علاوه بر عملکرد، ویژگی‌های کیفی ذرت نیز تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرد، به‌طوری که میزان پروتئین افزایش و نشاسته کاهش یافت. نتایج همچنین نشان داد که در هر سه رژیم آبیاری، بیشترین میزان شاخص برداشت نیتروژن و فسفر در شرایط تلقیح با کود زیستی حاصل شد. همچنین در هر کدام از شرایط تلقیح و عدم تلقیح، بیشترین میزان شاخص برداشت نیتروژن و فسفر در شرایط اعمال تنش در مرحله پر شدن دانه و پس از آن اعمال تنش در مرحله گل‌دهی حاصل شد. موزر (Moser, 2004) نیز اظهار داشت که تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه در ذرت سبب افزایش شاخص برداشت نیتروژن و فسفر می‌شود. همچنین جلالی و بحرانی (Jalali and Bahrani, 2014) در تحقیقی نشان دادند که با افزایش میزان کود نیتروژن شاخص برداشت نیتروژن در ذرت افزایش یافت.

وزن هکتولیتر از دیگر صفاتی بود که با اعمال تنش خشکی در هر دو مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه از میزان آن کاسته شد، به‌طوری‌که در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح، بیشترین میزان آن در تیمار آبیاری مطلوب و کمترین میزان آن زمانی حاصل شد که گیاه در مرحله پر شدن دانه با تنش مواجه شده بود، هرچند برای این صفت اختلاف معنی‌داری بین اعمال تنش در مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح وجود نداشت. همچنین تلقیح بذرها با کود فسفاته بارور-۲ از کاهش بیشتر وزن هکتولیتر در شرایط تنش خشکی جلوگیری کرد (جدول ۷). وزن هکتولیتر بیشتر، نشان دهنده فشردگی بافت دانه، سنگینی دانه، قدرت رویش بالا و مرغوبیت آن است و در مقابل، وزن هکتولیتر کمتر نشان دهنده پوکی و آفت‌زدگی و کیفیت پایین دانه می‌باشد. در صورتی‌که در مرحله پر شدن دانه آب کافی در دسترس گیاه نباشد، تجمع مواد فتوسنتزی در دانه‌ها به واسطه کاهش فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره شده از برگ‌ها به دانه‌های در حال رشد کاهش یافته و در نتیجه دانه‌های تشکیل شده چروکیده و سبک خواهند بود. از این‌رو، وزن هکتولیتر چنین دانه‌هایی در مقایسه با دانه‌های تولید شده در شرایط مطلوب کمتر خواهد بود. همچنین وزن هکتولیتر بستگی به شکل، یکنواختی و چگالی دانه دارد و اندازه دانه بر آن تأثیر زیادی ندارد. از روی وزن هکتولیتر می‌توان به توپر بودن دانه و فضای مورد نیاز جهت ذخیره‌سازی پی برد (Peighambardoust, 2011).

جدول ۶- اثر سطوح تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت هیبرید سینگل‌کراس ۶۴۰

Table 6. The effects of drought stress levels on grain yield and yield components of hybrid corn, SC640

Irrigation	آبیاری	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزار دانه 1000-grain weight	تعداد دانه در ردیف Number of grain per row	تعداد ردیف در بلال Number of rows per ear
Control	شاهد بدون تنش	11813.3[a]	232.1[a]	47.3[a]	14.9[a]
Drought stress at reproductive stage	تنش در مرحله گلدهی	7506.7[c]	149.3[c]	39.9[b]	13.8[b]
Drought stress at seed filing stage	تنش در مرحله پر شدن دانه	9804.4[b]	192.9[b]	43.9[ab]	14.5[ab]
$HSD_{5\%}$		595.8	15.7	4.5	1.1

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters have not significant differences by Tukey's test at 5% probability level.

مقایسه میانگین تیمارهای تنش (جدول۷) نشان داد که در شرایط مناسب آبیاری بالاترین مقدار نیتروژن توسط گیاه جذب شده است و بعد از آن تیمار اعمال تنش در مرحله پر شدن دانه قرار دارد. کمترین جذب نیتروژن در شرایط بروز تنش در زمان گلدهی مشاهده شد. به نظر می‌رسد که در این مرحله میزان جذب عنصر نیتروژن در گیاه حداکثر است و جزء مراحل بحرانی محسوب می‌شود و تنش خشکی در این مرحله به شدت بر روی جذب نیتروژن تاثیر داشته است. در خصوص میزان جذب فسفر نیز چنین روندی مشاهده می‌شود. در تطابق با نتایج تحقیق حاضر، علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al.*, 2008) نیز نشان دادند که کمترین جذب نیتروژن در شرایط بروز تنش در زمان گلدهی اتفاق افتاد. بررسی اثرات متقابل تنش و تلقیح با کود زیستی فسفاته نشان داد که در هر دو شرایط بروز تنش خشکی، حتی تلقیح بذور با کود زیستی فسفاته بارور ۲، علیرغم اینکه باعث جذب مقدار بیشتری نیتروژن و فسفر گردید، اما در مقایسه با شرایط مناسب رطوبتی، همچنان مقدار جذب این عناصر پایین است. به‌نظر می‌رسد که یکی از دلایل کاهش جذب عناصر فسفر و نیتروژن در این تحقیق همین امر باشد. از دیگر دلایل کاهش بیشتر میزان جذب عناصر فوق با اعمال تتنش در مرحله پر شدن دانه این است که مرحله بحرانی نیاز گیاه به فسفر که حدود ۵۰ درصد فسفر مورد نیاز گیاه جذب می‌شود، مرحله قبل از ظهور گل تاجی تا اوائل پر شدن دانه است و مرحله بحرانی جذب نیتروژن ۱۰ تا ۱۵ روز قبل و ۲۵ تا ۳۰ روز بعد از پیدایش گل تاجی است (Figueiredo, 2003). جریان توده‌ای آب در خاک از عوامل مؤثر بر فراهمی و جذب عناصر می‌باشد و همین امر موجب معنی‌دار شدن اثر تنش خشکی بر جذب فسفر و نیتروژن گردیده است. از اثر متقابل معنی‌دار کود زیستی فسفاته × تنش خشکی چنین استنباط می‌شود که در شرایط متفاوت رطوبتی خاک، تأثیر کود زیستی فسفاته بر جذب یکسان نبوده است، زیرا از یک طرف جریان توده‌ای آب از عوامل مؤثر بر حرکت فسفر در خاک به سمت ریشه می‌باشد و از طرف دیگر غلظت فسفر در ناحیه توسعه ریشه بر جذب فسفر و دیگر عناصر توسط ریشه مؤثر است. با تشدید تنش خشکی، غلظت عناصر در دانه افزایش یافت، ولی کل جذب عناصر توسط دانه کاهش نشان داد (جدول ۷)، که علت این امر کاهش شدید عملکرد دانه با افزایش شدت تنش خشکی است که موجب کوچک شدن مخزن فیزیولوژیک عناصر (دانه) و در نتیجه افزایش غلظت و کاهش کل جذب عناصر در دانه شده است.

افزایش تمام صفات کیفی فوق در شرایط تلقیح بذور هنگام کاشت با کود زیستی بارور ۲ از دیگر نکاتی است که می‌توان به آن اشاره نمود (جدول ۷). در تطابق با تأثیر مثبت کود زیستی فسفاته بارور ۲ بر مقدار پروتئین و فسفر دانه، ملکی نارگ موسی و بلوچی (Maleki Narg Mousa and Balouchi, 2012) در تحقیقی نشان دادند که بیشترین مقدار پروتئین و فسفر دانه از ترکیب ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۷۵ کیلوگرم در هکتار فسفر شیمیایی با مصرف کود زیستی نیتروکسین و کود زیستی فسفاته بارور ۲ حاصل شد.

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی این گونه استنباط می‌شود که تنش خشکی در هر دو مرحله زایشی و پر شدن دانه سبب کاهش معنی‌دار صفات گیاهی ذرت شد. در مجموع تنش خشکی در مرحله گلدهی، عملکرد دانه را به نحو معنی‌داری (۳۶ درصد) کاهش داد. تنش در این مرحله باعث کاهش ۱۶ درصدی تعداد دانه در ردیف و ۸ درصدی تعداد ردیف در بلال گردید. همچنین تنش در مرحله پر شدن دانه باعث کاهش ۷ درصدی تعداد دانه در ردیف، ۱۷ درصدی عملکرد دانه و ۳ درصدی تعداد ردیف در بلال شد. بررسی اثرات متقابل تنش خشکی و کود زیستی نشان داد که کاربرد کود زیستی بارور-۲ تحت شرایط تنش منجر به تعدیل شدت اثرات تنش بر طول بلال و کاهش خسارت وارده به گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد دانه شد. در ارتباط با صفات کیفی مورد مطالعه، ملاحظه شد که با وجود افزایش صفات میزان جذب فسفر دانه، میزان جذب نیتروژن دانه و وزن هکتولیتر در شرایط تلقیح، تنش خشکی از میزان این صفات به طور قابل ملاحظه‌ای کاست. شدت کاهش صفات فوق تحت تأثیر تنش خشکی در شرایط عدم تلقیح به مراتب بیشتر از شرایط تلقیح بود که این بیانگر نقش تعدیل‌کننده تلقیح با کود زیستی در شرایط تنش خشکی است. در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح، کمترین محتوای فسفر و پروتئین دانه تحت شرایط بدون تنش حاصل شد و با اعمال تنش در مراحل گلدهی و پر شدن دانه، به میزان این صفات در دانه افزوده شد. بنابراین با توجه به تاثیر کود زیستی بارور-۲ می‌توان با افزایش ریزجانداران موجود در خاک، وضعیت تغذیه‌ای گیاهان را در جهت مقاومت به محیط‌های دارای تنش خشکی افزایش داد.

جدول ۷- اثر متقابل تنش خشکی × کود زیستی فسفاته بارور-۲ بر طول بلال و صفات کیفی ذرت رقم ۶۴۰

Table 7. The interaction effects of drought stress × phosphate barvar-2 bio-fertilizer on ear length and quality traits in hybrid corn, SC640

کود زیستی Bio-fertilizer	Irrigation	آبیاری	Ear طول بلال length (cm)	فسفر دانه Grain phosphorus (%)	جذب فسفر دانه Grain phosphorus uptake (kg ha^{-1})	پروتئین دانه Grain protein (%)	جذب نیتروژن دانه Grain nitrogen uptake (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت نیتروژن Nitrogen harvest index (%)	شاخص برداشت فسفر Phosphorus harvest index (%)	وزن هکتولیتر Hectoliter weight (kg)
تلقیح Inoculated	Control	شاهد	23.3	0.24	30.7	8.1	165.9	35	37	82.3
	Drought stress at reproductive stage	تنش در مرحله گلدهی	21.2	0.29	24.5	8.9	121.7	50	54	73.2
	Drought stress at seed filing stage	تنش در مرحله پر شدن دانه	21.7	0.43	44.8	9.4	156.8	59	59	72.2
	HSD(5%)		3.1	0.05	5.84	0.64	14.6	6.4	5.6	3.6
عدم تلقیح Non-inoculated	Control	شاهد	22.4	0.18	19.6	6.7	116.6	33	29	79.0
	Drought stress at reproductive stage	تنش در مرحله گلدهی	18.7	0.27	17.2	7.8	88.6	45	49	62.9
	Drought stress at seed filing stage	تنش در مرحله پر شدن دانه	21.2	0.35	32.2	8.6	114.1	55	53	61.2
	$HSD_{5\%}$		1.5	0.04	4.7	1.4	18.6	2.7	4.9	8.9

References

Afsharmanesh, G. 2007. Effects of sowing date on grain yield of corn cultivars in spring early sown in Jiroft . **Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)** 75: 2-8. (In Persian with English Abstract).

Ahmadi, J., Zieinal, H., Rostami, M. A. and Chogun, R. 2000. Study of drought resistance in commercially late maturing dent corn hybrids. **Iranian Journal of Agricultural Science** 31: 891-907. (In Persian with English Abstract).

Alizadeh, O., Majidi, E. and Noormohammadi, G. 2008. Effects of drought stress and soil nitrogen rates on nutrient uptake of maize SC704. **Journal of Research in Agriculture** 4: 51-59. (In Persian with English Abstract).

Bassetti, P. and Westgate, M. E. 1993. Water deficit affects receptivity of maize silks. **Crop Science** 33: 278-182.

Debaeke, P. and Abdellah, A. 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. **European Journal of Agronomy** 21: 433-446.

Delogu, G., Cattivelli, L., Pecchioni, N., De Falcis, D., Maggiore, T. and Stanca, A. M. 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. **European Journal of Agronomy** 9: 11-20.

Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B. and Gallais, A. 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: toward a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. **Journal of Experimental Botany** 58 (9): 2369-2387.

Ehteshami, M., Agha Alikhani, M., Chayechi, M. R. and Khavazi, K. 2007. Effect of phosphate solubilizing microorganisms on qualitative and quantitative characteristics of corn under conditions of dehydration stress. Proceeding of 2nd National Conference on Ecological Agriculture in Iran. (In Persian).

Ehyaie, A. M. 1997. The methods of soil chemical analysis. Vol. 2. Publication of Research Institute of Soil and Water Press, Tehran, Iran. (In Persian).

Emam, Y. and Niknejad, M. 2004. An introduction to the physiology of crop yield. Shiraz University Press, Shiraz, Iran. 571 p. (In Persian).

Emam, Y. and Seghatoleslami, M. J. 2005. Crop yield, physiology and processes. Shiraz University Press, Shiraz, Iran. 593 p. (In Persian).

Farley, O. R. and Coot, W. J. 1998. Temperature and soil water effects on maize growth, development, yield and forage quality. **Crop Science** 36: 341-348.

Figueiredo, C. C. 2003. Effect of different management systems on microbial biomass carbon and nitrogen and on nitrogen absorption by corn in a red latsol in the cerrado. Brasilia, Brazil. 104 p.

Ghattavi, H., Moafporian, G. and Bahrani, A. 2013. Effect of zinc solfate sparying and iirigation intervals on yield, yield components and protein content of grain corn. **Journal of Plant Ecophysiology** 4: 37-48. (In Persian with English Abstract).

Hassanvand, M. 2009. Evaluation the possibility of reducing water consumption in different growth stages on yield of maize promising lines in Khuzestan. M. Sc. Dissertation. Ahvaz University, Ahvaz. 125 p. (In Persian).

Jalali, A. H. and Bahrani, M .J. 2014. Effect of crop residue and nitrogen fertilizer on nitrogen use efficiency in corn (*Zea mays* L.) production**. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)** 102: 197-204. (In Persian with English Abstract).

Mahalakshmi, V. and Bidinger, F. R. 1986. Water deficit during panicle development in pearl millet: Yield compensation by tillers. **Journal of Agriculture Science** 106: 113-119.

Mahrokh, A., Azizi, F., Sadeghi, A. and Karimi, A. 2011. Effect of application of streptomyces bacterium on grain yield and its components of maize cv. KSC260 under drought stress conditions. **Seed and Plant Production Journal** 27 (2): 165-181. (In Persian with English Abstract).

Maleki Narg Mousa, M. and Balouchi, H. R. 2012. Effects of nitrogen and phosphorus chemical and biological fertilizers on yield and yield components of sweet corn (*Zea mays* var saccharata). **Journal of Plant Production** 19 (4): 55-76. (In Persian with English Abstract).

Majidian, M., Ghalavand, A., Kamgar Haghighi, A. A. and Karimian, N. 2008. Effect of drought stress, nitrogen fertilizer and manure on chlorophyll meter reading, grain yield and yield components in grain maize cv. SC704. **Iranian Journal of Crop Sciences** 10 (4): 303-330. (In Persian with English Abstract).

Malakouti, M. J. and Tehrani, M. M. 2005. Effects of micronutrient on the yield and quality of agricultural products: Micro-nutrient with macro-effects. Tarbiat Modares University Press. Tehran, Iran. 445 p. (In Persian).

Moser, S. B. 2004. Effects of pre-anthesis drought stress and nitrogen on yield, nitrogen use efficiency and grain minerals of tropical maize varieties. Ph. D. Dissertation. Swiss Federal Insttitute of Technology, Zurich. 106 p.

Outter, S., Jones, R. J. and Crookston, R. K. 1987. Effects of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development. **Crop Science** 27: 726-730.

Pandy, R. K. and Maranvill, J. W. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. II: Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. **Agricultural Water Management** 46 (1): 15-27.

Peighambardoust, S. H. 2011. Technology of cereal products. Vol. I. Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran. 98 p. (In Persian).

Rafiee, M., Nadian, H. A., Nour-Mohammadi, G. and Karimi, M. 2004. Effects of drought stress, phosphorous and zinc application on concentration and total nutrient uptake by corn (*Zea mays* L.). **Iranian Journal of Agriculture Science** 35 (1): 235-243. (In Persian with English Abstract).

Sadeghi, F. 2005. Effects of planting pattern on the grain yield of medium maturity hybrid corn (KSC647) in Kermanshah province. **Journal of Agricultural Science and Resources** 12 (4): 71-70. (In Persian with English Abstract).

Seghatoleslami, M. J., Kafi, M., Majidi, I., Nour-Mohammadi, G., Darvish, F. and Ghazizadeh, A. 2005. Effect of drought stress on leaf soluble sugar content, leaf rolling index and relative water content of proso millet (*Panicum miliaceum* L.) genotypes. **Iranian Journal of Field Crops Research** 3: 219-231. (In Persian with English Abstract).

Shabibi, S. 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components in maize (SC704) under Mehran climatic conditions. M. Sc. Dissertation. Islamic Azad University, Dezfull Branch, Dezful, Iran. 87 p. (In Persian).

Sharifi, P. 2013. Statistical design in agricultural research: Principles, procedures and analysis by SAS, SPSS and Minitab. Islamic Azad University Press, Rasht Branch, Rasht, Iran. 567 p. (In Persian).

Shrestha, R., Turner, N. C., Siddique, K. H. M., Turner, D. W. and Speijers, J. 2006. A water deficit during pod development in lentils reduces flower and pod numbers but not seed size. **Australian Journal of Agricultural Research** 57 (4): 427-438.

Thomison, P. R., Geyer, A. B., Lotz, L. D., Siegrist, H. J. and Dobbels, T. L. 2003. Top cross high oil corn production: Select grain quality attributes. **Agronomy Journal** 95: 147-154.

Zahir, A. Z., Arshad, M. and Frankenberger, W. F. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. **Advances in Agronomy** 81: 97-168.

Zarabi, M., Alahdadi, A., Akbari, G. A., Iran-Nejad, H. and Akbari G. A. 2010. Reduction of drought stress effects on yield and yield components of grain corn (*Zea mays* L.) using mixed biofertilizers and phosphorus. **Journal of Crops Improvement** 12 (2): 37-50. (In Persian with English Abstract).

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 6, No. 1, Spring 2016 (119-132)

Effects of phosphorus biofertilizer on grain yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) at drought stress conditions

Peyman Sharifi[1*] and Mojtaba Adeli Nasab[2]

Received: November 23, 2014 Accepted: September 21, 2015

Abstract

To investigate the effect of drought stress and phosphorus bio-fertilizer on yield and its components of maize, SC640, a split plot experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in Islamic Azad University, Dezful Branch, Dezful, Iran, during summer of 2013. Three levels of drought stress including full irrigation (control), drought stress at flowering stage and drought stress at grain filling stage were assigned as main plots and two levels of bio-fertilizer (non-inoculation and inoculation with phosphorus bio-fertilizer) as sub-plots. Analysis of variance showed that drought stress was significantly influenced all of the studied traits. The effect of bio-fertilizer was also significant on all of the traits except for number of rows per ear. The interaction effect of drought stress × bio-fertilizer was significant on ear length, grain phosphorus content, grain phosphorus uptake, grain protein content, grain nitrogen uptake, nitrogen harvest index, phosphorus harvest index and hectoliter weight. The application of bio-fertilizer lead to increasing of 17% in grain yield. The highest value of grain yield (11813.3 kg.ha^{-1}) was obtained under full irrigation condition. Drought stress at the flowering stage decreased grain yield (36%), number of grain per row (16%) and number of row per ear (8%). Although, drought stress at two growth stages significantly reduced the rate of grain nitrogen uptake and hectoliter weight under both inoculated and uninoculated conditions, but phosphorus bio-fertilizer had the modifier role on these traits under drought stress conditions. Thus, results of this research showed that inoculation of seeds with phosphorus bio-fertilizer can be reduced the harmful effects of drought stress on grain yield and quality traits of corn.

Keywords: Barvar-2 biofertilizer, Irrigation regime, Qualitative characters

1. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
2. M. Sc. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
* Corresponding author: Peyman.sharifi@gmail.com