



پاسخ مورفوفیزیولوژیک ذرت به باکتری‌های محرک رشد، کود روی و دور آبیاری

سعید قنبری^۱، سید غلامرضا موسوی^۲، حمید رضا ذبیحی^۳، منصور فاضلی رستم‌پور^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۱۴

چکیده

با هدف بررسی تأثیر تنش کم‌آبی و کاربرد کود روی و دو سویه از باکتری‌های سودوموناس پوتیدا (Sp) و سودوموناس فلورسنس (Sf) بر صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دانه ذرت، آزمایشی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی به صورت اسپلیت فاکتوریل با سه تکرار در سال ۱۳۹۱ در شهرستان مهاباد خراسان رضوی اجرا گردید. دوره‌های آبیاری ۶، ۹ و ۱۲ روز به عنوان کرت‌های اصلی و باکتری (بدون تلقیح، Sp و Sf) و کود روی (۰ و ۵۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار) به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شد. صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، قطر و طول بلال، لوله شدن برگ‌ها، محتوای نسبی آب برگ بلال و عملکرد دانه ذرت مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی موجب کاهش معنی‌دار و تلقیح باکتریایی سبب افزایش معنی‌دار همه صفات، به جز لوله شدن برگ شدند. کاربرد کود سولفات روی ارتفاع بوته، طول بلال و عملکرد دانه ذرت را به طور معنی‌داری افزایش داد. با افزایش دور آبیاری از ۶ به ۱۲ روز، میزان لوله شدن برگ ۳/۲ برابر افزایش و عملکرد دانه ۵۷/۳ درصد کاهش یافت اما استفاده از کود روی و باکتری‌های سودوموناس به طور معنی‌داری کاهش لوله شدن برگ و افزایش عملکرد دانه را به دنبال داشت. همچنین تمامی اثرات متقابل دوگانه بر عملکرد دانه معنی‌دار شد. به طور کلی استفاده از کود سولفات روی و باکتری سودوموناس توانست تحمل گیاه به تنش کم‌آبی را افزایش دهد. و از اینرو استفاده از آنها خصوصا در مناطق خشک و نیمه‌خشک پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: کم‌آبی، سودوموناس، ریزمغذی، ذرت، محتوای نسبی آب، بلال

قنبری، س.، س.غ. موسوی، ح.ر. ذبیحی و م. فاضلی رستم‌پور. ۱۳۹۶. پاسخ مورفوفیزیولوژیک ذرت به باکتری‌های محرک رشد، کود روی و دور آبیاری. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۰: ۶۵-۵۲.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران- مسئول مکاتبات. پست الکترونیک: s_reza1350@yahoo.com

۳- استادیار موسسه آب و خاک، مشهد، ایران

۴- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران

مقدمه

پتانسیل آب برگ، توسعه حجم ریشه در خاک، کاهش از بین رفتن آب برگ و ایجاد یک پایداری کلی شد. حبیبی و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که تلقیح بذرهای ذرت به وسیله باکتری‌های محرک رشد *Azospirillum lipoferum* و *Pseudomonas putida* در شرایط تنش کم‌آبی موجب افزایش وزن خشک بلال‌ها نسبت به تیمار شاهد گردید. نبی‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که مصرف کودهای بیولوژیک حاوی باکتری‌های محرک رشد به طور معنی‌دار موجب افزایش ارتفاع بوته و عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش کم‌آبی شد. غلامی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که مصرف باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش ارتفاع، قطر ساقه و عملکرد دانه ذرت گردید.

برای بی‌اثر کردن سمیت اکسیژن فعال تولید شده در شرایط تنش‌های محیطی که منجر به پراکسیداسیون لیپیدها و از بین رفتن پروتئین‌ها می‌گردد، سلول‌های گیاهی دارای یک سیستم آنتی‌اکسیدانی هستند و عنصر روی با شرکت در سوخت و ساز و تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی در کم کردن سطح تولید اکسیژن فعال و آسیب‌های ناشی از آن دارد (زند و همکاران، ۱۳۸۹؛ هانگ و جی‌یان، ۲۰۰۷). این عنصر برای ساخت اکسین از اسید آمینه ترپتوفان نیز مورد نیاز است و می‌تواند موجب القاء ریشه‌زایی گردد (زند و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین روی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، تولید دانه و سرعت تکامل دانه ضروری است و باعث افزایش RNA^A می‌شود (ساجدی و همکاران، ۲۰۰۹). ذرت از حساس‌ترین گیاهان به کمبود روی است. کاهش میزان تنظیم‌کننده‌های رشد که در اثر کمبود روی در گیاه به وجود می‌آید، باعث کوتولگی و کاهش فاصله میان گره‌ها در ساقه و پیچیدگی حاشیه برگ‌ها می‌شود (زند و همکاران، ۱۳۸۹).

البدوی و مهاسن (۲۰۱۱) گزارش کردند که مصرف روی به طور معنی‌دار باعث افزایش قطر ساقه، طول بلال و عملکرد دانه ذرت شد. گروال و ویلیام (۲۰۰۰) به این موضوع دست یافتند که تغذیه گیاهی کافی توسط عنصر روی، رشد یونجه را تحت شرایط تنش کم‌آبی و در خلال رشد رویشی افزایش می‌دهد. زند و همکاران (۱۳۸۹) گزارش کردند که کاربرد ترکیبات مختلف عنصر روی و همچنین تنظیم‌کننده رشد اکسین، به تنهایی و یا در ترکیب با هم می‌تواند سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی گیاه ذرت را تقویت نموده و بوته‌ها را نسبت به تنش کمبود آب متحمل‌تر

تنش کم‌آبی رایج‌ترین تنش موثر بر رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که باعث کاهش محسوس رشد و نمو محصولات زراعی در این مناطق می‌گردد. نوید و همکاران (۲۰۱۴) اعلام کردند که تنش خشکی میزان رشد بوته‌ها، محتوای نسبی آب برگ و میزان فتوسنتز را در ذرت (*Zea mays* L.) به شدت کاهش داد. ربانی و امام (۱۳۹۰) گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، طول بلال و عملکرد دانه ذرت گردید. همچنین فرج‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) اعلام کردند تنش کم‌آبی به طور معنی‌دار ارتفاع بوته و عملکرد دانه ذرت را کاهش داد. برخی محققین نیز اعلام کردند که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ ذرت می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ ساندا و همکاران، ۲۰۱۰). در چنین مناطقی که گیاهان با شرایط نامساعد محیطی مواجه هستند، تلقیح گیاهان با باکتری‌های محرک رشد ممکن است باعث افزایش تحمل گیاهان نسبت به تنش خشکی شود (ساندیا و همکاران، ۲۰۱۰). باکتری‌های محرک رشد با پیوستن به ریشه گیاه و ارتباط و همزیستی با آن افزایش مقاومت گیاهی و عملکرد گیاه را باعث می‌شوند (گلیک و همکاران، ۲۰۰۷).

بسیاری از محققین نیز اعلام داشتند که سنتز هورمون‌های محرک رشد گیاهان از جمله سائیتوکینین^۱، جیبرلین^۲، ایندول استیک اسید^۳ و همچنین تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه از طریق انحلال مواد غذایی ناحیه ریزوسفر خاک تولید مواد کلات‌کننده^۴ از قبیل سیدروفور^۵، ایجاد آنتی‌اکسیدان^۶ و همچنین ترشح هورمون ACC^۷ دی‌آمیناز^۷ مهمترین سازوکارها به کار رفته توسط باکتری‌های محرک رشد برای کاهش اثر تنش‌های محیطی هستند (گلیک و همکاران، ۲۰۰۷). نوید و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که تلقیح بذرهای ذرت با باکتری‌های *Enterobacter* sp. و *Burkholderia phytofirmans* به طور معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ، بیوماس اندام هوایی و ریشه، میزان فتوسنتز و سطح برگ را در شرایط تنش کم‌آبی افزایش داد. ساندا و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که تلقیح بذرهای ذرت با چند گونه باکتری پسودوموناس شامل *P. entomophila*، *P. stutzeri*، *P. putida* و *P. monteilli* در شرایط تنش کم‌آبی، باعث بهبود بیوماس گیاه، محتوای نسبی آب،

1 - Cytokinin

2 - Gibberlin

3- Indole acetic acid

4- Chelating

5 - Siderophore

6 - Antioxidants

7 - Aminocyclopropane Carboxylate deaminase

8 - Ribonucleic acid

هیپوکلوئید سدیم ضد عفونی شده و عاری از سایر باکتری‌ها و یا قارچ گردید. مایه تلقیح مورد استفاده نیز به شکل پودری شامل باکتری سودوموناس فلورسنس سویه ۱۶۹ و پسودوموناس پوتیدا سویه ۱۰۸ به شکل خالص بود (مایه حامل باکتری‌ها پرلیت بود) که تراکم جمعیت باکتری در سویه ۱۰۸ و ۱۶۹ به ترتیب 1×10^9 و $1/25 \times 10^9$ سلول به ازای هر گرم مایه تلقیح بود و از موسسه تحقیقات آب و خاک استان خراسان رضوی تهیه گردید. جدول ۱ بیانگر خصوصیات باکتری‌های مورد استفاده است. مقدار سویه باکتری مورد استفاده برای تلقیح بذری ۰/۶ گرم (بر مبنای یک کیلوگرم از سویه باکتری برای صد کیلوگرم بذر ذرت) محاسبه گردید.

مراحل تلقیح بذور ذرت به این گونه بود که ابتدا کلیه بذرها به مقداری پرلیت اتوکلاو شده آغشته شد و سپس برای سهولت کار و دقت بیشتر، کل بذرها به سه قسمت (برای تیمارهای بدون تلقیح، تلقیح با *Pseudomonas fluorescens* و تلقیح با *Pseudomonas putida*) تقسیم شد. همچنین مقدار مایه تلقیح مورد نیاز از هر کدام از باکتری‌ها نیز به مقدار محاسبه شده برای بذر ۱۸ کرت (۱۰/۸ گرم) به کمک ترازوی دیجیتال آماده شد. سپس ضمن استفاده از دستکش، قاشق و ظرف یکبار مصرف، هر گروه از بذرها مورد نظر را به طور جداگانه در کیسه نایلونی ریخته و بعد از اضافه کردن چند قطره چسب (صمغ عربی) و بستن درب کیسه نایلونی بذرها را تکان داده تا تمام بذرها به طور یکنواخت به صمغ آغشته گردند. جهت یکسان‌سازی شرایط بذور کشت شده در مزرعه، این عمل چه برای بذرها بدون تلقیح و چه برای بذرها تیمارهای با تلقیح توسط باکتری انجام گرفت. به محض آغشته شدن بذرها به صمغ، مایه تلقیح مورد نظر به کیسه نایلونی حاوی بذرها اضافه شده و دوباره عمل تکان دادن تکرار گردید. بلافاصله پس از انجام تلقیح، به کمک ترازوی دیجیتال بذر مورد نیاز برای هر کرت آزمایشی توزین شد و در پاکت با کد مشخص قرار گرفت و جهت کاشت به مزرعه منتقل گردید. بذرها در تاریخ ۲۰ خرداد به صورت دستی و در عمق ۴ سانتی‌متری از سطح خاک کشت شد.

سازد. وانگ و همکاران (۲۰۰۹) اظهار داشتند که هر چند محتوای نسبی و پتانسیل آب برگ‌ها در تیمار مصرف روی تحت تأثیر قرار نگرفت، اما در بوته‌های تیمار آبیاری مطلوب با مصرف روی افزایش بیوماس گیاه، هدایت روزنه‌ای و مقدار بازدهی فتوسنتس ۲، قابل توجه بود. فرج‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تیمار بذرها با روی، بیشترین تأثیر را بر رشد و عملکرد ذرت داشت و بالاترین عملکرد دانه تولید شده در تیمار پرایمینگ^۱ بذر با عنصر روی بدست آمد. گادالا (۲۰۰۰) با اعمال تنش کم‌آبی و استفاده از عنصر روی در سویا (*Glycine max L.*) اعلام داشت که کاربرد روی می‌تواند اثرات مضر کم‌آبی خاک را کاهش داده و موجب افزایش رشد گیاه به خصوص در شرایط تنش شدید کم‌آبی گردد.

با توجه به مطالب فوق، این آزمایش به منظور بررسی چگونگی تأثیر باکتری‌های محرک رشد در همزیستی با گیاه ذرت و نیز سولفات روی بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد ذرت در شرایط تنش کم‌آبی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در اراضی کشاورزی واقع در روستای مهنه از توابع شهرستان مه ولات استان خراسان رضوی در سال ۱۳۹۱ انجام شد. محل آزمایش بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه^۲ جزء مناطق گرم و خشک می‌باشد (بی‌نام ۱۳۹۲). این پژوهش به صورت اسپلینت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد که در آن دور آبیاری در سه سطح شامل دوره‌های آبیاری ۹، ۱۲ و ۶ (شاهد) روز به عنوان کرت اصلی و تیمارهای ترکیب باکتری و روی شامل: باکتری b1 بدون مصرف روی، باکتری b1 با مصرف روی، باکتری b2 بدون مصرف روی، باکتری b2 با مصرف روی، عدم تلقیح بذر با باکتری و مصرف روی و عدم تلقیح بذر با باکتری و عدم مصرف روی به عنوان تیمارهای فاکتوریل در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است منظور از باکتری b1، *Pseudomonas putida* و باکتری b2، *Pseudomonas fluorescens* است. هر کرت آزمایشی دارای ۵ متر طول و ۵ ردیف کاشت با فاصله ۶۰ سانتیمتر بود و فاصله بین کرت‌های فرعی ۶۰ و کرت‌های اصلی ۱۸۰ سانتیمتر و فاصله بین تکرارها ۲ متر در نظر گرفته شد. در هر کرت آزمایشی دو ردیف کناری و همچنین ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر ردیف به عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد.

بذر ذرت مورد استفاده رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود. بذرها فاقد هر گونه سم قارچ‌کش بوده و قبل از تلقیح توسط محلول

جدول ۱- برخی خصوصیات سویه‌های مورد استفاده باکتری سودوموناس

توان	توان	فسفر	مواد شبه	فعالیت	صفت
تولید	تولید	حل شده (mg/L)	اکسین (mg/L)	آنزیم	گونه و سویه باکتری
اکسین	سیدروفور			ACC deaminase ¹	
+	+	۵۷/۳۲	۸/۹	۵/۰۳۰	<i>Pseudomonas putida</i> 108
+	+	۵۳/۵۰	۵/۸	۳/۵۰۸	<i>Pseudomonas fluorescens</i> 169

۱- میکرومول - آلفاکتوبوتیرات در میلی‌گرم پروتئین در ساعت

سانتی‌متری به خاک اضافه گردید (رفیعی و همکاران، ۱۳۸۸). بلافاصله پس از کاشت زمین آبیاری شد. دور آبیاری در همه کرت‌ها در سه هفته اول ۶ روز در نظر گرفته شد و پس از آن اعمال تنش کم‌آبی ملایم و شدید (به ترتیب دوره‌های آبیاری ۹ و ۱۲ روز) در کرت‌های آزمایشی انجام شد. عملیات تنک کردن به نحوی انجام شد که فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و تراکم بوته ۸۳۳۳۳ بوته در هکتار باشد. عملیات مبارزه با علفهای هرز نیز طی دو مرحله با وجین توسط کارگر انجام گرفت.

بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۲)، میزان ۴۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب کود اوره و سوپر فسفات تریپل مصرف شد. برای تیمارهای کاربرد کود روی نیز ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی استفاده شد. یک چهارم از کود اوره و تمامی کود فسفات و سولفات روی قبل از کاشت در مرحله آماده‌سازی بستر کشت با خاک مخلوط شد و باقی مانده کود اوره به طور مساوی در دو مرحله (مرحله ۸-۹ برگی و مرحله ظهور تاسل) به صورت سرک به مزرعه داده شد. کود سولفات روی در زمان کاشت و به شکل کودکاری در وسط پشته و در عمق حدود ۱۵

جدول ۲- نتیجه تجزیه شیمیایی خاک محل آزمایش

کربن آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	آهک	نیترژن	بافت خاک	فسفر	پتاسیم	منگنز	روی	مس	آهن
(%)	(دسی زیمنس بر متر)	(%)	(%)	(%)		میلی‌گرم در کیلوگرم					
۰/۳۱۵	۱/۳۷	۸/۲۴	۱۷/۰۲	۰/۰۳۱	شنی لوم	۱	۲۹۰	۴/۸۲	۰/۹۶	۰/۸	۱/۲۳

سپس برای تعیین وزن اشباع، سطح برگ‌ها توسط دستمال کاغذی خشک و دوباره وزن شد. در مرحله بعد برگ‌ها به آون منتقل و در دمای ۷۲ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفته و وزن خشک آنها نیز به کمک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم مشخص شد. نهایتاً محتوای نسبی آب برگ با استفاده از فرمول ذیل محاسبه گردید (رفیعی و همکاران، ۱۳۸۸).

$$100 \times (\text{وزن خشک} - \text{وزن اشباع}) / (\text{وزن خشک} - \text{وزن تازه}) = \text{محتوای نسبی آب برگ} (\%)$$

برای تعیین عملکرد دانه نیز با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، تمامی دانه‌های بدست آمده از بلال‌های ۱۵ بوته جمع‌آوری شده به کمک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد و سپس عملکرد هر کرت آزمایشی بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار MSTAT-C و برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار اکسل استفاده شد. همچنین

جهت اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک در هر کرت آزمایشی تعداد ۱۰ بوته از قسمت میانی هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای به طور تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری‌های لازم انجام شد. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری ارتفاع بوته در زمان گرده افشانی بوته و از سطح خاک تا انتهای بوته با استفاده از متر انجام شد و طول بلال، قطر بلال و قطر ساقه با استفاده از کولیس اندازه‌گیری گردید.

برای تعیین محتوای نسبی آب برگ بلال نیز در مرحله ظهور تاسل تعداد ۵ بوته به صورت تصادفی از ردیف‌های وسط با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای از ابتدا و انتهای هر خط انتخاب و پس از برداشت برگ بلال بلافاصله برگ‌ها داخل پاکت نایلونی و داخل کلمن حاوی یخ قرار داده شد. پس از انتقال به آزمایشگاه و توزین (بدست آوردن وزن تازه)، بلافاصله برگ‌های هر تیمار به طور جداگانه داخل ظرف‌های حاوی یک لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت و درب ظرف‌ها با کاغذ آلومینیوم پوشانده شد.

مقایسه میانگین‌های صفات با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که دور آبیاری در سطح ۵ درصد و اثرات ساده باکتری محرک رشد و کود سولفات روی در سطح یک درصد ارتفاع بوته ذرت را تحت تاثیر قرار داد، در حالی که اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های اثرات ساده آبیاری نشان داد که بیشترین ارتفاع ساقه با میانگین $172/06$ سانتی‌متر از تیمار بدون تنش بدست آمد که از برتری $25/8$ درصدی نسبت به تیمار تنش کم‌آبی شدید (دور آبیاری ۱۲ روز) برخوردار بود (جدول ۴). این نتایج با یافته‌های ربانی و امام (۱۳۹۰) و فرج‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) در ذرت مینی بر اثر منفی تنش کم‌آبی بر ارتفاع بوته مطابقت دارد. علت این امر را می‌توان کاهش فشار تورژسانس سلول‌های ساقه و تقسیم آن‌ها و همچنین کاهش تولید مواد فتوسنتزی در اثر تنش کم‌آبی دانست (ربانی و امام، ۱۳۹۰) که در نهایت موجب کاهش طول میان‌گره‌های ساقه و ارتفاع بوته ذرت می‌شود. تالوث و همکاران (۲۰۰۶) نیز اعلام کردند که با بروز تنش کم‌آبی علاوه بر اینکه انتقال مواد از خاک به گیاه با مشکل مواجه شده، متابولیسم مواد و همچنین فتوسنتز دچار نقصان می‌شود و مجموعه این موارد، تقسیم و طولی شدن سلول‌ها و در نتیجه رشد طولی بوته را کاهش می‌دهد.

مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده تاثیر مثبت تلقیح باکتریایی در افزایش ارتفاع بوته است، به طوری که با کاربرد باکتری‌های محرک رشد سویه ۱۰۸ و سویه ۱۶۹ میانگین ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد (عدم استفاده از باکتری) به ترتیب $15/2$ و $21/6$ درصد افزایش یافت (جدول ۴). نتایج پژوهش‌های انجام شده در ذرت توسط شاهرونا و همکاران (۲۰۰۶) و غلامی و همکاران (۲۰۰۹) یافته‌های این پژوهش را تایید می‌کند. احتمالاً باکتری‌های محرک رشد از طریق سنتز هورمون‌های محرک رشد مثل ایندول استیک اسید، جیبرلین و سیتوکنین باعث افزایش رشد گیاه می‌شوند (گلیک و همکاران، ۲۰۰۷؛ یانگ و همکاران، ۲۰۰۹). برخی محققین نیز اعلام کردند که باکتری‌های محرک رشد با افزایش جذب مواد غذایی از جمله نیتروژن (شاهرونا و همکاران، ۲۰۰۶) و حلال‌سازی فسفر (یانگ و همکاران، ۲۰۰۹) باعث افزایش رشد ریشه و ساقه می‌گردند.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مصرف ۵۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار، ارتفاع بوته ذرت را نسبت به تیمار عدم مصرف سولفات روی $10/95$ درصد افزایش داد (جدول ۴). نتایج بدست

آمده با یافته‌های فرج‌زاده و همکاران (۲۰۱۱) در ذرت و تالوث و همکاران (۲۰۰۶) در ماش مینی بر تاثیر مثبت و معنی‌دار کود روی بر ارتفاع بوته مطابقت دارد. برخی محققین اظهار داشتند که عنصر روی نقش مهمی در طولی شدن سلول‌ها و افزایش رشد ساقه دارد (فرج‌زاده و همکاران، ۲۰۱۱).

قطر ساقه

قطر ساقه به طور معنی‌دار و در سطح یک درصد تحت تاثیر دور آبیاری، تلقیح باکتریایی و سولفات روی و همچنین اثر متقابل باکتری و سولفات روی قرار گرفت اما سایر اثرات متقابل بر این صفت تاثیر معنی‌داری ایجاد نکرد (جدول ۳). نتایج نشان داد که بیشترین قطر ساقه با میانگین $1/68$ سانتی‌متر مربوط به تیمار دور آبیاری ۶ روز بود که از برتری $14/5$ درصدی نسبت به تیمار دور آبیاری ۱۲ روز برخوردار بود (جدول ۴). یافته‌های این پژوهش با نتایج گزارش شده در ذرت، توسط گلپاشی و همکاران (۱۳۹۰) و ماهرخ و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد. کاهش قطر ساقه در شرایط تنش کم‌آبی را می‌توان به دلیل اختلال در نقل و انتقال مواد غذایی (تالوث و همکاران، ۲۰۰۶) از خاک و متابولیسم گیاهی، همچنین اختلال در روند فتوسنتز و کاهش سطح برگ که در نهایت منجر به کاهش تجمع مواد خشک در این اندام می‌شود، دانست (ربانی و امام، ۱۳۹۰؛ هانگ و جی‌یان، ۲۰۰۷). در تنش خشکی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از ساقه به دانه نیز بیشتر می‌شود (لک و همکاران، ۱۳۸۶) که این نیز می‌تواند دلیلی بر کاهش قطر ساقه باشد.

مقایسه میانگین‌های اثر ساده تلقیح باکتریایی بر قطر ساقه حاکی از نقش مثبت این ریزجانداران در افزایش صفت مذکور بود، به طوری که استفاده از سویه‌های ۱۶۹ و ۱۰۸ باعث افزایش به ترتیب $12/98$ و $11/17$ درصدی قطر ساقه نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴). ماهرخ و همکاران (۱۳۹۰) در ذرت نتایج مشابهی را گزارش نمودند.

شاهرونا و همکاران (۲۰۰۶) و غلامی و همکاران (۲۰۰۹) نیز با بررسی نقش باکتری‌های محرک رشد در ذرت اعلام کردند که مصرف این باکتری‌ها موجب افزایش ماده خشک اندام هوایی و متعاقب آن ساقه می‌گردد که این امر نتیجه اثرات مستقیم و غیرمستقیم همزیستی این باکتری‌ها با گیاه میزبان است. مجموعه این عوامل با افزایش رشد ریشه و همچنین افزایش سطح برگ فتوسنتزکننده (گلیک و همکاران، ۲۰۰۷)، موجب افزایش مواد پرورده ذخیره شده در ساقه و افزایش قطر آن می‌شود.

بررسی اثر ساده سولفات روی بر قطر ساقه نیز نشان از تاثیرگذاری مثبت این کود بر قطر ساقه داشت، به طوری که مصرف آن افزایش $8/3$ درصدی قطر ساقه را نسبت به تیمار عدم

روی باعث ارتقاء غلظت کلروفیل می‌شود و از طرفی افزایش سولفات روی باعث افزایش سطح و دوام برگ می‌شود (نژادحسینی و همکاران، ۱۳۹۰) که این خود منجر به افزایش فتوسنتز و ماده‌سازی و تجمع آنها در ساقه و در نهایت افزایش قطر آن می‌گردد.

مصرف سولفات روی باعث شد (جدول ۴). البدوی و مهاسن (۲۰۱۱) نتایج مشابهی را در ذرت گزارش نمودند. به نظر می‌رسد که عنصر روی با شرکت در ساخت هورمون اکسین موجب القاء ریشه‌زایی در گیاه شده (زند و همکاران، ۱۳۸۹) که بدین ترتیب موجب افزایش سطح جذب گیاه می‌شود. علاوه بر آن افزایش

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثرات ساده و متقابل آبیاری، تلقیح باکتریایی و سولفات روی بر صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دانه ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	قطر ساقه	قطر بلال	طول بلال	محتوای نسبی آب برگ	عملکرد دانه
تکرار	۲	۷۰۱۷/۸ *	۰/۰۰۳ ns	۰/۱۶۶ ns	۲/۴۶۷ ns	۱۹/۶۴۲ ns	۱۴۸۴۰۰۶/۷۸۷ *
آبیاری (I)	۲	۹۰۰۷/۷۱ *	۰/۲۶۱ **	۰/۹۶۸ **	۱۹/۹۴۳ *	۳۷۹/۹۹۲ **	۲۵۴۳۰۲۶۲۷/۴۹۳ **
خطای اول	۴	۶۰۷/۱۴۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵۴	۱/۴۵۷	۵/۹۷۰	۱۵۵۴۴۴/۷۵۹
باکتری (B)	۲	۴۰۲۸/۷۰۴ **	۰/۱۹۶ **	۱/۲۸۱ **	۲۱/۲۴۹ **	۱۱۶/۵۵۹ **	۸۵۲۵۳۹۳/۳۷۶ **
IxB	۴	۹۸/۹۰۸ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۸۱ ns	۳/۲۴۹ ns	۲۱/۸۴۵ ns	۶۶۴۶۵۵/۶۵۲ **
روی (Z)	۱	۳۳۴۲/۱۳۸ **	۰/۲۲۰ **	۰/۱۹۹ ns	۲۶/۵۸۵ **	۲۸/۵۲۳ ns	۱۱۲۳۴۶۲۹/۵۷۴ **
IxZ	۲	۸۳/۲۸۱ ns	۰/۰۱۷ ns	۰/۱۶۵ ns	۳/۲۷۳ ns	۱۵/۴۳۸ ns	۱۳۷۰۹۲۶/۹۰۹ **
BxZ	۲	۵۹/۶۸۳ ns	۰/۰۴۱ **	۰/۰۶۸ ns	۰/۰۷۷ ns	۶/۸۳۰ ns	۵۲۶۲۵۵/۴۰۲ *
IxBxZ	۴	۸۰/۹۵۱ ns	۰/۰۱۳ ns	۰/۱۸۴ ns	۱/۹۸۴ ns	۸/۹۸۹ ns	۱۸۶۲۴۷/۰۶۴ ns
خطای دوم	۳۰	۲۶۷/۸۷۵	۰/۰۰۸	۰/۰۹۳	۱/۳۶۰	۱۰/۵۲۴	۱۵۳۴۶۵/۰۴۷
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۸	۱۵/۳۹	۱۸/۴۴	۱۸/۲۸	۱۳/۹۶	۱۴/۱۷

ns و * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، ۰/۰۵ و عدم وجود سطح معنی‌داری است

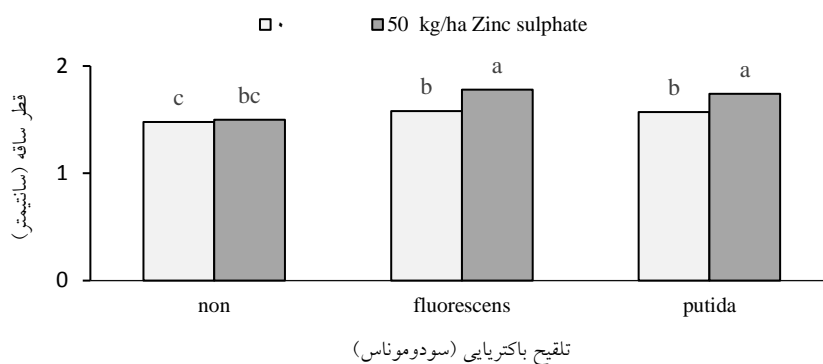
جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده آبیاری، تلقیح باکتریایی و سولفات روی بر صفات مورد مطالعه ذرت

تیمار	ارتفاع بوته (سانتیمتر)	قطر ساقه (سانتیمتر)	قطر بلال (سانتیمتر)	طول بلال (سانتیمتر)	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
دور آبیاری (روز)						
۶	۱۷۲/۰۶a	۱/۶۸ a	۴/۱۸a	۱۵/۲۳a	۸۶/۴۵a	۱۳۱۱۰/۸۵a
۹	۱۵۴/۸۸a	۱/۶۷a	۳/۶۵b	۱۳/۸۷b	۸۲/۰۶b	۹۵۰۹/۱۸b
۱۲	۱۲۷/۶۹b	۱/۴۷b	۳/۰۳c	۱۳/۱۶b	۷۷/۲۷c	۵۵۹۴/۸۵c
تلقیح باکتریایی						
عدم تلقیح						
<i>Pseudomonas putida</i>						
<i>Pseudomonas fluorescens</i>						
سولفات روی (کیلوگرم در هکتار)						
۰	۱۴۳/۶۸b	۱/۵۴b	۳/۵۵۹a	۱۳/۳۸b	۸۱/۲۰a	۸۹۴۸/۸۳b
۵۰	۱۵۹/۴۱a	۱/۶۷a	۳/۶۸a	۱۴/۷۹a	۸۲/۶۶a	۹۸۶۱/۰۸a

میانگین‌های صفاتی که در هر ستون دارای حروف مشابه می‌باشند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ هستند

ماده خشک در ساقه و بیشتر شدن قطر ساقه ذرت اشاره نمود. برآیند عواملی همچون تأمین نیاز گیاه در خصوص عنصر روی و نقش مهم آن در رشد و نمو گیاه (ساجدی و همکاران، ۲۰۰۹؛ تالوث و همکاران، ۲۰۰۶) در کنار از بین رفتن اثر منفی اتیلن در کاهش رشد ریشه و پیری آن (گلیک و همکاران، ۲۰۰۷)، کاهش پیر شدن و ریزش برگ‌ها و نیز تأمین نیاز فسفر گیاه توسط باکتری (تالوث و همکاران، ۲۰۰۶) را می‌توان علت کارایی بیشتر مصرف توام سولفات روی و تلقیح باکتریایی در افزایش قطر ساقه ذرت دانست.

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل باکتری و سولفات روی نیز حاکی از تاثیر مثبت مصرف توام آنها در افزایش قطر ساقه می‌باشد. بیشترین قطر ساقه با میانگین ۱/۷۸ سانتی‌متر از تیمار تلقیح با باکتری سویه ۱۶۹ و مصرف ۵۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار بدست آمد که از برتری معنی‌دار ۲۰/۳ درصدی نسبت به تیمار عدم مصرف سولفات روی و عدم تلقیح باکتریایی برخوردار بود. لازم به ذکر است که در شرایط عدم تلقیح با باکتری، مصرف کود روی تاثیر معنی‌داری بر افزایش قطر ساقه نداشت (شکل ۱) و از اینرو می‌توان به تاثیر سینرژیستی (هم‌افزایی) این دو عامل (کود روی و باکتری) بر افزایش تجمع



شکل ۱- اثر متقابل تلقیح باکتریایی و سولفات روی بر قطر ساقه ذرت

ترتیب در شرایط استفاده از سویه‌های ۱۶۹ و ۱۰۸ نسبت به تیمار عدم تلقیح باکتری شده است (جدول ۴). قورچپانی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی نقش باکتری پَسودوموناس فلورسنس و قارچ آرباسکولار میکوریزا و ماهرخ و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی نقش باکتری محرک رشد استرپتومایسس (*Streptomyces bacterium*) بر قطر بلال به نتایج مشابهی دست یافتند. چنگ و لر (۲۰۰۸) پیشنهاد دادند که احتمالاً ACC و اتیلن می‌توانند در ایجاد پوکی در ذرت نقش داشته باشند و از آنجا که دانه‌ها در مراحل اولیه رشد به ماده ACC پیش‌ساز تولید اتیلن حساس می‌باشند، از این رو می‌توان چنین استنباط کرد که احتمالاً باکتری‌های تحریک‌کننده رشد گیاه با تولید آنزیم ACC دی‌آمیناز موجب تجزیه ACC و در نتیجه کاهش غلظت اتیلن در گیاه شده که این موضوع اثرات منفی ناشی از افزایش اتیلن در گیاه را کاهش می‌دهد. همچنین این باکتری‌ها از طریق سازوکارهای دیگری مانند تحریک رشد ریشه، در دسترس قرار دادن فسفر قابل حل و نیتروژن و ایجاد تعادل هورمونی باعث

قطر بلال

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که قطر بلال به طور معنی‌داری و در سطح یک درصد تحت تاثیر آبیاری و باکتری قرار گرفت، اما اثر ساده سولفات روی و اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اعمال دور آبیاری ۱۲ روز موجب کاهش ۲۷/۵۴ و ۱۲/۶ درصدی قطر بلال به ترتیب نسبت به دوره‌های آبیاری ۶ و ۹ روز شد (جدول ۴). نتایج حاصله با نتایج ماهرخ و همکاران (۱۳۹۰) و قورچپانی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت داشت. کاهش وزن دانه در بلال موید این نکته است که تنش کم‌آبی بیشترین تاثیر منفی را بر میزان مواد فتوسنتزی در زمان پر شدن دانه‌ها می‌گذارد. در اثر اختلال در جذب آب و مواد غذایی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی و انتقال این مواد دانه‌ها چروکیده و وزن آنها کاهش یافته و در نتیجه قطر بلال کاهش می‌یابد (شیخی و همکاران، ۱۳۸۸).

همچنین مقایسه میانگین‌ها بیانگر این موضوع است که تلقیح باکتریایی موجب افزایش ۱۵/۹۱ و ۸/۳ درصدی قطر بلال به

پرورده و تأمین مواد مورد نیاز برای رشد بلال می‌شود. همچنین عنصر روی با تغلیظ ایندول استیک اسید در گیاه موجب طویل شدن سلول شده (فرجزاده و همکاران، ۲۰۱۱) که احتمالاً از این طریق نیز به رشد طولی محور بلال کمک می‌کند.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محتوای نسبی آب برگ بلال به طور معنی‌داری و در سطح یک درصد تحت تاثیر دور آبیاری و تلقیح باکتریایی قرار گرفت، اما اثر ساده روی و اثرات متقابل بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نیز نشان‌دهنده اثر منفی افزایش دور آبیاری بر این صفت بود، به طوری که بیشترین مقدار محتوای نسبی آب برگ از دور آبیاری ۶ روز با میانگین ۸۶/۴۵ درصد بدست آمد و با افزایش دور آبیاری به ۱۲ روز، کاهش ۱۰/۶۲ درصدی در این صفت مشاهده گردید (جدول ۴). سانديا و همکاران (۲۰۱۰)، وانگ و همکاران (۲۰۰۹)، رفیعی و همکاران (۱۳۸۸) و شیخی و همکاران (۱۳۸۸) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. محتوای نسبی آب برگ، مقدار آب موجود در بافت را نسبت به حالت اشباع آن می‌سنجد و لذا در مقایسه با درصد رطوبت، معیار دقیق‌تری از وضعیت آب در گیاه می‌باشد. کاهش محتوای نسبی آب نشان‌دهنده کاهش فشار تورژسانس در سلول‌های گیاهی با افزایش شدت تنش کم‌آبی است (رفیعی و همکاران، ۱۳۸۸) و این مسئله به خاطر کاهش پتانسیل آب برگ در طی تنش کم‌آبی می‌باشد (سانديا و همکاران، ۲۰۱۰).

همچنین اثر باکتری‌های محرک رشد بر مقدار محتوای نسبی آب برگ ذرت مثبت بود، به طوری که میانگین مقدار آن از ۷۹/۰۴ درصد در تیمار عدم تلقیح باکتری به ۸۲/۹۲ درصد در تیمار استفاده از سویه ۱۰۸ و ۸۳/۸۳ درصد در تیمار استفاده از سویه ۱۶۹ رسید و به عبارتی به ترتیب افزایش ۴/۹۱ و ۶/۰۶ درصدی محتوای نسبی آب برگ را به دنبال داشت (جدول ۴). این نتایج با نتایج گزارش شده توسط سانديا و همکاران (۲۰۱۰) در ذرت، گادالا (۲۰۰۰) در سویا و مایاک و همکاران (۲۰۰۴) در گوجه‌فرنگی مطابقت داشت. گلیک و همکاران (۲۰۰۷) اعلام داشتند که باکتری‌های محرک رشد با دو سازوکار شامل افزایش هورمون ایندول استیک اسید که تکثیر و طویل شدن سلول‌ها را به دنبال دارد و از بین بردن اثر اتیلن که از رشد و نمو ممانعت می‌کند، سبب افزایش رشد ریشه و در نتیجه ارتقاء توانایی گیاه در جذب آب می‌شود. این امر موجب افزایش پتانسیل آب برگ دهقانیان و مدلدوست (۱۳۸۷) و در نتیجه محتوای نسبی آب برگ می‌گردد.

افزایش وزن دانه (یانگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ گلیک و همکاران، ۲۰۰۷) در نتیجه افزایش قطر بلال می‌شوند.

طول بلال

اثر ساده آبیاری در سطح ۵ و اثرات ساده تلقیح باکتریایی و سولفات روی در سطح ۱ درصد بر طول بلال ذرت معنی‌دار شد، اما اثرات متقابل بر این صفت بلال معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های اثر ساده آبیاری نشان داد که کمترین طول بلال با میانگین ۱۳/۱۶ سانتی‌متر از تیمار دور آبیاری ۱۲ روز بدست آمد که با کاهش ۱۳/۸۸ درصدی طول بلال نسبت به تیمار آبیاری مطلوب مواجه شد (جدول ۴). شیخی و همکاران (۱۳۸۸)، ربانی و امام (۱۳۹۰) و رفیعی و همکاران (۱۳۸۸) نیز به نتایج مشابهی در مورد اثر منفی افزایش دور آبیاری بر طول بلال دست یافتند. تنش خشکی با تأثیر بر فتوسنتز موجب کاهش تولید مواد پرورده، رشد سلولی و طول بلال می‌شود. تنش در مرحله گلدهی موجب کاهش مواد پرورده اختصاص یافته به بلال و نقصان رشد محور بلال می‌گردد (ربانی و امام، ۱۳۹۰) و در نتیجه طول بلال در تیمارهای تنش کم‌آبی که در مرحله گلدهی نیز ادامه داشت، به طور معنی‌داری کمتر شد.

مقایسه میانگین‌ها بیانگر آن است که استفاده از باکتری برای تلقیح موجب افزایش طول بلال می‌شود. این افزایش در تیمار استفاده از سویه ۱۶۹، ۱۶/۴۵ درصد و در تیمار استفاده از سویه ۱۰۸، ۱۱/۴۱ درصد نسبت به تیمار بدون تلقیح بود (جدول ۴). شاهرونا و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از تلقیح باکتریایی و نیز قورچینانی و همکاران (۱۳۹۰) با مصرف توام باکتری و قارچ آریاسکولار میکوریزا نتایج مشابهی را در این خصوص گزارش کردند. محققین نیز اعلام داشتند که باکتری محرک رشد از جمله جنس سودوموناس با افزایش رشد ریشه و نقل و انتقال بهتر مواد غذایی مانند نیتروژن (شاهرونا و همکاران، ۲۰۰۶)، فسفر (یانگ و همکاران، ۲۰۰۹) و همچنین تولید هورمون‌های رشد از قبیل سایتوکینین، ایندول استیک اسید و مواد شبه اکسینی (گلیک و همکاران، ۲۰۰۷) موجب افزایش رشد سلولی و سطح سبز و در نتیجه افزایش توان فتوسنتزی گیاه می‌شوند که علت طویل شدن محور بلال را می‌تواند توجیه نماید.

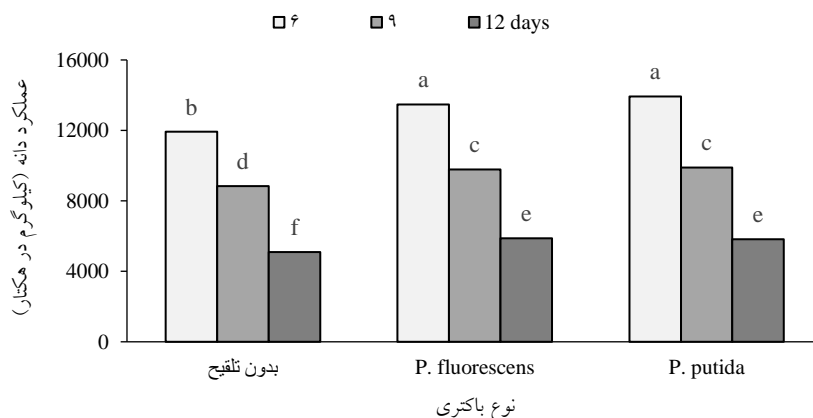
مقایسه میانگین‌ها بیانگر تاثیر مثبت کاربرد سولفات روی بر افزایش طول بلال است، به طوری که مصرف سولفات روی موجب افزایش ۱۰/۴۸ درصدی این صفت گردید (جدول ۴). البدوی و مهاسن (۲۰۱۱) و قزوینه و یوسفی (۲۰۱۲) نتایج مشابهی گزارش نمودند. به نظر می‌رسد که القاء ریشه‌زایی (زند و همکاران، ۱۳۸۹)، شرکت در تشکیل کلروفیل و همچنین افزایش سطح برگ (جمالی و همکاران، ۱۳۹۰) باعث افزایش تولید مواد

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده دور آبیاری، تلقیح باکتریایی و مصرف سولفات روی به طور معنی دار و در سطح ۱ درصد بر عملکرد دانه تاثیرگذار بود. همچنین اثرات متقابل آبیاری و مصرف باکتری، آبیاری و مصرف سولفات روی در سطح ۱ درصد و اثر متقابل باکتری و سولفات روی نیز در سطح ۵ درصد بر صفت مذکور معنی دار بود اما اثر متقابل آبیاری و باکتری و سولفات روی بر عملکرد دانه معنی دار نشد (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر متقابل آبیاری و باکتری حاکی از اثر معنی دار کاربرد باکتری‌های محرک رشد حاوی آنزیم ACC دی‌آمیناز (سویه‌های ۱۰۸ و ۱۶۹) در کاهش اثرات سوء تنش کم‌آبی بر عملکرد دانه بود. بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۱۳۹۳۰/۳۳ کیلوگرم در هکتار از تیمار دور آبیاری ۶ روز و مصرف باکتری سویه ۱۶۹ و کمترین عملکرد دانه با میانگین ۵۰۸۷/۶۳ کیلوگرم در هکتار از تیمار دور آبیاری ۱۲ روز و بدون تلقیح با باکتری بدست آمد (شکل ۲). به عبارتی می‌توان گفت هرچند تنش خشکی منجر به کاهش رشد و تقسیم سلول، کاهش فعالیت آنزیم‌ها، بسته شدن روزنه‌ها (قورچیان و همکاران، ۱۳۹۰) به علت کاهش محتوای نسبی آب برگ‌ها (جدول ۴)، پیری زودرس برگ‌ها (گلیک و همکاران، ۲۰۰۷) و در نهایت کاهش سطح برگ، کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش مواد پرورده و انتقال آن به اندام‌ها می‌شود (قورچیان و همکاران، ۱۳۹۰) و

مجموعه این عوامل به همراه کاهش سطح فعال فتوسنتزی گیاه به علت افزایش لوله شدن برگ‌های ذرت (جدول ۴) نهایتاً کاهش عملکرد دانه ذرت در واحد سطح را باعث می‌گردد با این وجود در شرایط کاربرد باکتری‌های سودوموناس، اثر منفی تنش کم‌آبی بر عملکرد دانه کاهش یافت (شکل ۲)، به طوری که هر چند بین گونه‌های مورد بررسی سودوموناس در سطوح مختلف آبیاری تفاوت آماری مشاهده نشد اما عملکرد دانه ذرت در سطوح مختلف آبیاری با کاربرد باکتری به طور معنی داری افزایش یافت (شکل ۲). آقاعلیخانی و احتشامی (۲۰۰۸) و قورچیان و همکاران (۱۳۹۰) در ذرت و ذبیحی و همکاران (۱۳۸۸) و ارزنش و همکاران (۲۰۱۰) در گندم، نتایجی مشابه در خصوص اثر مثبت باکتری‌های محرک رشد حاوی آنزیم ACC دی‌آمیناز در کاهش اثر تنش‌های محیطی (کاهش ترشح اتیلن) بر عملکرد دانه گزارش نمودند. به نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد با از بین بردن اثر اتیلن و افزایش غلظت هورمون ایندول استیک اسید، افزایش گستره ریشه (گلیک و همکاران، ۲۰۰۷) و متعاقباً سطح جذب گیاه، افزایش سطح فتوسنتزکننده از طریق دوام سطح برگ و جلوگیری از پیری و ریزش و افزایش سطح برگ به علت افزایش محتوای نسبی آب برگ و کاهش لوله شدن برگ‌ها (جدول ۴) و نهایتاً افزایش طول عمر گیاه و تولید مواد پرورده بیشتر و نیز تولید سیدروفور و تأمین آهن مورد نیاز گیاه (گلیک و همکاران، ۲۰۰۷)، باعث افزایش تعداد دانه در ردیف و وزن هزار دانه و در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه ذرت شدند.



شکل ۲- اثر متقابل آبیاری و تلقیح باکتریایی بر عملکرد دانه ذرت

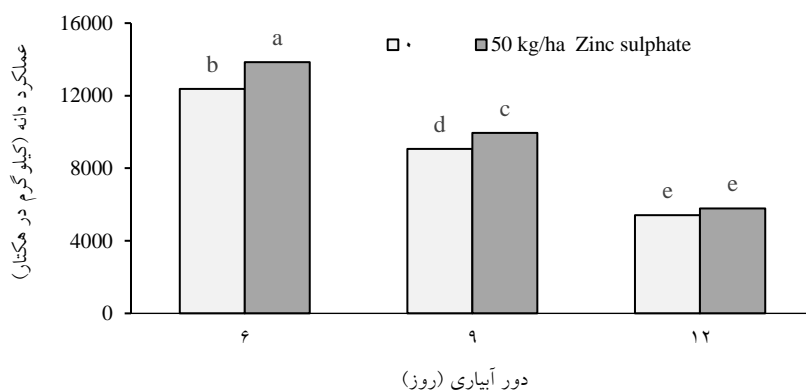
سولفات روی در هکتار بدست آمد و کمترین آن با میانگین ۵۴۰۸/۷۵ کیلوگرم در هکتار به تیمار دور آبیاری ۱۲ روز و عدم مصرف سولفات روی تعلق داشت. لازم به ذکر است که هر چند

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و سولفات روی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه ذرت با میانگین ۱۳۸۴۸/۵۴ کیلوگرم در هکتار از تیمار دور آبیاری ۶ روز و مصرف ۵۰ کیلوگرم

جلوگیری از تخلیه آن در شرایط خشکی می‌گردد. تالوث و همکاران (۲۰۰۶) نیز در ماش، نقش مثبت پتاسیم در تحمل به تنش خشکی و افزایش عملکرد دانه را گزارش کردند. فرج‌زاده و همکاران (۲۰۱۱)، جمالی و همکاران (۱۳۹۰) و هونگ و جیون (۲۰۰۷) نیز اعلام کردند که در شرایط تنش شدید کم‌آبی مصرف روی نتوانست موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شود که نتایج تحقیق حاضر را تأیید می‌کند. عدم تأثیرگذاری روی برافزایش عملکرد دانه ذرت در دور آبیاری ۱۲ روز را نیز می‌توان به عدم جذب موثر کود روی به علت کمبود رطوبت خاک مربوط دانست.

همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد در این پژوهش باکتری‌های محرک رشد با کاربرد سازوکارهای متعدد موجب کاهش لوله شدن برگ و همچنین مساحت برگ بلال (سطح فتوسنتز کننده)، افزایش طول بلال و افزایش تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه شد که در مجموع این عوامل موجب افزایش عملکرد اقتصادی گیاه گردید.

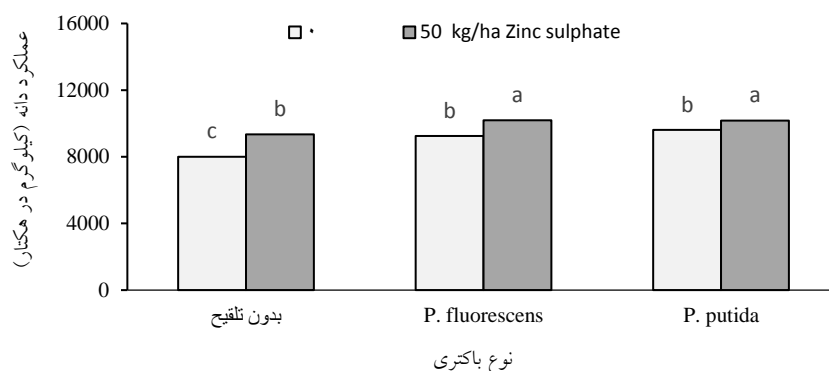
در شرایط بدون تنش و تنش متوسط (دوره‌های آبیاری ۶ و ۹ روز) استفاده از کود روی به طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد دانه گردید، اما در شرایط دور آبیاری ۱۲ روز، دو تیمار کاربرد و عدم کاربرد روی از نظر عملکرد دانه در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۳). دهقانان و مدندوست (۱۳۸۷) در گندم و تالوث و همکاران (۲۰۰۶) در ماش نیز نتایج مشابهی را بدست آوردند. به نظر می‌رسد در این آزمایش مصرف سولفات روی در دوره‌های آبیاری ۶ و ۹ روز عمدتاً از طریق افزایش تعداد دانه در بلال، افزایش عملکرد دانه را باعث شده است. احتمالاً عنصر روی به تنهایی منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نشده باشد. برخی محققین اعلام کردند که مصرف روی در برهمکنش با پتاس خاک باعث افزایش جذب پتاسیم و در نتیجه افزایش غلظت پتاس در اندام‌های هوایی می‌شود (ملکوتی، ۱۳۸۳). پتاسیم نیز نقش موثری در افزایش غلظت کلروفیل و افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش مواد فتوسنتزی و انتقال آنها داشته و کمبود این ترکیبات آلی در شرایط تنش را نیز جبران می‌نماید (جمالی و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین با ایجاد فشار اسمزی باعث حفظ آب سلول‌ها و



شکل ۳- اثر متقابل آبیاری و سولفات روی بر عملکرد دانه ذرت

اهمیت آن است که بیشترین تأثیر کود روی در افزایش عملکرد دانه ذرت در این تحقیق در شرایط عدم کاربرد باکتری سودوموناس بوده است، به طوری که در این شرایط کاربرد روی توانست افزایش ۱۶/۹ درصدی عملکرد دانه را به دنبال داشته باشد در حالی که در شرایط کاربرد باکتری‌های سویه ۱۶۹ و ۱۰۸ مصرف کود روی نسبت به عدم مصرف آن به ترتیب ۵/۸ و ۱۰/۳ درصد افزایش این صفت را باعث گردید (شکل ۴).

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل باکتری و سولفات روی نیز نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۱۰۱۸۵/۸۹ کیلوگرم در هکتار از تیمار باکتری سویه ۱۰۸ و مصرف ۵۰ کیلوگرم سولفات روی در هکتار و کمترین مقدار آن با میانگین ۷۹۹۸/۱۶ کیلوگرم در هکتار از تیمار عدم مصرف باکتری و سولفات روی حاصل شد (شکل ۴). به نظر می‌رسد مصرف توأم باکتری و سولفات روی از طریق افزایش در محتوای نسبی آب برگ، طول بلال و نیز کاهش لوله شدن برگ‌ها (جدول ۴) باعث بهبود فتوسنتز گیاه و افزایش تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه شده که در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه می‌گردد. نکته حائز



شکل ۴- اثر متقابل تلقیح باکتریایی و سولفات روی بر عملکرد دانه ذرت

نتیجه‌گیری

به طور کلی با توجه به بررسی صفات ذرت در این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اعمال تنش کم آبی به علت کاهش طول بلال و محتوای نسبی آب برگ و نیز افزایش لوله شدن برگ‌ها (کاهش سطح فتوسنتزی گیاه) کاهش معنی‌دار عملکرد دانه را باعث شده است. تلقیح بذور ذرت با باکتری‌های سودوموناس و کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی در خاک نیز ضمن

افزایش تحمل گیاه به تنش کم آبی، کاهش لوله شدن برگ‌ها و بهبود صفات مورفولوژیکی و در نهایت افزایش معنی‌دار عملکرد دانه را به دنبال داشته است. بنا بر این در شرایط پژوهش حاضر استفاده از باکتری سودوموناس را در همه سطوح آبیاری و کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی را در دوره‌های آبیاری ۶ و ۹ روز می‌توان پیشنهاد نمود.

منابع

- بی‌نام. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی اقلیمی خراسان جنوبی. اداره کل هواشناسی خراسان جنوبی. ۴۵ صفحه.
- جمالی، ج.، ش. انتشاری و س. م. ا. حسینی. ۱۳۹۰. بررسی تعدیل اثر تنش خشکی با کاربرد عناصر پتاسیم و روی در ذرت. مجله اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد ۳، شماره ۳: ۲۲۲-۲۱۶.
- دهقانیان، م. و م. مدن‌دوست. ۱۳۸۷. تاثیر کلات روی بر مقاومت به خشکی گندم (*Triticum aestivum* L.). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (آب و خاک). جلد ۱۲، شماره ۴۵: ۳۹۳-۴۰۱.
- ربانی، ج. و ی. امام. ۱۳۹۰. پاسخ عملکرد دانه هیبریدهای ذرت به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. جلد ۱، شماره ۲: ۷۸-۶۵.
- رفیعی، م.، م. کریمی، ق. نورمحمدی و ح. ا. نادیان. ۱۳۸۸. اثرات تنش خشکی و مقادیر روی و فسفر بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد ۱، شماره ۱: ۶۶-۵۸.
- زند، ب.، ع. سروش زاده، ف. قناتی و ف. مرادی. ۱۳۸۹. اثر محلول‌پاشی روی و اکسین بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در ذرت دانه‌ای. مجله زیست‌شناسی گیاهی ایران. جلد ۲، شماره ۱: ۳۵-۴.
- شیخی، م.، ن. ع. ساجدی و م. جیریایی. ۱۳۸۸. تاثیر تنش کمبود آب بر خصوصیات آگروفیزیولوژیک هیبریدهای مختلف ذرت. یافته‌های نوین کشاورزی، جلد ۳، شماره ۳: ۲۸۶-۲۷۵.
- قورچیانی، م.، غ. ع. اکبری، ح. ع. علیخانی، ا. ا. دادی و م. زارعی. ۱۳۹۰. اثر قارچ میکوریز آریسکولار و باکتری *Pseudomonas fluorescence* بر ویژگی‌های بلال، میزان کلروفیل و عملکرد گیاه ذرت در شرایط تنش رطوبتی. مجله دانش آب و خاک. جلد ۲۱، شماره ۱: ۹۷-۱۱۴.

- لک، ش.، ا. نادری، س. ع.، ا. سیادت، ا. آینه‌بند، ق. نورمحمدی و س. ه. موسوی. ۱۳۸۶. تاثیر سطوح مختلف آبیاری، نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد، اجزای عملکرد و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذرت دانه‌ای در شرایط آب و هوایی خوزستان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (آب و خاک). جلد ۱۱، شماره ۴۲: ۱-۱۴.
- ماهرخ، ع.، ف. عزیزی، ا. صادقی و ا. کریمی. ۱۳۹۰. اثر کاربرد باکتری استرپتومایسس بر عملکرد دانه و اجزای آن در ذرت سینگل کراس ۲۶۰ در شرایط تنش خشکی. مجله به‌زراعی نهال و بذر. جلد ۲۷، شماره ۲: ۱۶۵-۱۸۱.
- ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۳. تغذیه متعادل گندم راهی به سوی خود کفایی در کشور و تامین سلامت جامعه (مجموعه مقالات). نشر آموزش کشاورزی. ۵۴۴ صفحه.
- نژادحسینی، ط.، ع. آستارایی، ر. خراسانی و ح. امامی. ۱۳۹۰. بررسی دو نوع کود آلی همراه با عناصر بر و روی بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت عناصر غذایی در دانه ارزن معمولی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. جلد ۹، شماره ۱: ۷۷-۷۰.
- Aghaalikhani, M. and Ehteshami, S. M. R. 2008. Biological profitability of maize inoculation with selected rhizosphere microorganisms (*Pseudomonas fluorescens* and *Glomus intraradices*) under water deficit stress. 16th Ifoam or Znic world congress, Modena, Italy, June 16-20.
- Arzanesh, M. H., Alikhani, H. A. Khavazi, K., Rahimian, H. A. and Miransari, M. 2010. Wheat (*Triticum aestivum* L.) growth enhancement by *Azospirillum* sp. under drought stress. World J. Microbiol. Biotechnol. 27: 197-205.
- Cheng, C.Y. and Lur, H. S. 2008. Ethylene may be involved in abortion of the maize caryopsis. *Physiol. Plantarum* 98(2): 245-252.
- El-Badawy, M. M. and Mehasen, S. A. 2011. Multivariate analysis for yield and its components in maize under zinc and nitrogen fertilization levels. *Aust. J. Basic Appl.Sci.* 5(12): 3008-3015.
- Farajzadeh, E., Yarnia, M., Ahmadzadeh, V. and Farajzadeh, N. 2011. Priming effect of different times of maize seeds with nutrient elements in water stress on corn yield. *Ann. Biol. Res.* 2 (3): 419-423.
- Gadalla, A. A. 2000. Effects of indole-3-acetic acid and zinc on the growth, osmotic potential and soluble carbon and nitrogen components of soybean plants growing under water deficit. *J. Arid Environ.* 44(4): 451-467.
- Ghazvineh, S. and Yousefi, M. 2012. Study the effect of micronutrient application on yield and yield components of maize. *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 12(2): 144-147.
- Gholami, A., Shahsavani, S. and Nezarat, S. 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *World Acad. Sci. Engine. Technol.* 49: 19-24.
- Glick, B. R., Todorovic, B., Czarny, J., Cheng, Z., Duan, J. and McConkey, B. 2007. Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Crit. Rev. Plant Sci.* 26: 227-242.
- Grewal, H. S. and Williams, R. 2000. Zinc nutrition affects alfalfa responses to water stress and excessive moisture. *J.Plant Nutr.* 23: 949-962.
- Habibi, D., Moslemi, Z., Ardakani, M. R., Mohammadi, A. and Asgharzadeh, A. 2010. Effects of super absorbent polymer and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and oxidative damage of maize under drought stress. *Chemistry and Chemical Engineering (ICCCE)*, International Conference on 1-3 Aug. Pages 253-257.
- Hong, W. and Jj-yun, J. 2007. Effects of zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in Maize (*Zea mays* L.). *Agric. Sci. China* 6(8): 988-995.
- Nabizadeh, E., Banifazel, M. and Taherifard, E. 2012. The effects of plant growth promoting on some of traits in maize (Cv. S.C.704) under drought stress condition. *Eur. J. Exp. Biol.* 2(4): 875-881.
- Naveed, M., Mitter, B., Reichenauer, T. G., Wiczorek, K. and Sessitsch, A. 2014. Increased drought stress resilience of maize through endophytic colonization by *Burkholderia phytofirmans* and *Enterobacter* sp. FD17. *Environ. Exp. Bot.* 97: 30-39.
- Sajedi, N. A., Ardakani, M. R., Naderi, A., Madani, H. and Mashhadi Akhbar Boojari, M. 2009. Response of maize to nutrients foliar application under water deficit stress conditions. *Am. J. Agric. Biol. Sci.* 4(3): 242-248.
- Sandya, V., Ali, S. Z., Grover, M., Reddy, G. and Venkateswarlu, B.. 2010. Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth Regul.* 62: 21-30.
- Shahroona, B., Arashad, M., Zahir, Z. A. and Khalid, A. 2006. Performance of *Pseudomonas* spp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. *Soil Biol. Biochem.* 38: 2971-2975.

- Thalooth, A. T., Tafik M. M. and Magda Mohamed, H. 2006. A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. *World J. Agric. Sci.* 2(1): 37-46.
- Wang, H., Liu, R. L. and Jin, J. Y. 2009. Effects of zinc and soil moisture on photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters of maize. *Biologia Plantarum* 53 (1): 191-194.
- Yang, J., Kloepper, J. W. and Ryu, C. M. 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant Sci.* 14(1): 1-4.

Response of morpho physiological of maize to plant growth promoting rhizobacteria, Zinc fertilizer and irrigation interval

S .Ghanbari¹, S.G. R. Moosavi², H. Zabihi ³, M. Fazeli Rostampoor⁴

Received: 2016-7-23 Accepted: 2016-12-4

Abstract

In order to study of water deficit stress and application of zinc fertilizer and two strains of rhizobacteria including *Pseudomonas putida* (Sp) and *Pseudomonas fluorescens* (Sf) on morpho-physiological traits and seed yield of maize, an experiment was carried out as split plot-factorial design based on randomized complete blocks design with three replications in Mahvalat, Khorasan Razavi province, Iran in 2012. Irrigation intervals of 6, 9 and 12 day were as main plots and rhizobacteria (non inoculation, Sp and Sf) and Zinc fertilizer (0 and 50 kg Zinc sulphate ha⁻¹) were as sub plots. Plant height, stem diameter, ear diameter and length, leaf rolling index, relative water content and seed yield were evaluated. The results indicated that water deficit stress decreased significantly all mentioned above traits. Also, PGPR inoculation increased all traits except in leaf rolling index. Zinc sulphate application significantly increased plant height, ear length and seed yield. As irrigation intervals increased from 6 to 12 day, leaf rolling index increased 3.2 time and seed yield decreased 57.3%, but zinc sulphate and *Pseudomonas* bacteria application significantly decreased leaf rolling index and significantly increased seed yield. Seed yield significantly affected by double interaction. In conclusion, zinc sulphate application and seed inoculation by *Pseudomonas* can be recommended for maize cultivation, especially in semi-arid and arid conditions.

Keywords: Corn, ear, microelement, *Pseudomonas*, relative water content, water stress

1- M.Sc. Student, Department of Agronomy, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

2- Associate Professors, Department of Agronomy, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

3- Assistant Professor, Water and Soil Research Institute, Mashad, Iran

4- Assistant Professor, Horticultural crops research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol, Iran