اثر تلقیح بذرهای ذرت (*Zea mays* L.) رقم KSC_{704} با قارچ میکوریزا و باکتری سودوموناس بر عملکرد و صفات بیوشیمیایی در شرایط قطع آبیاری.

Effect of inoculation of maize (*Zea mays* L.) cultivars KSC704 with Mycorrhizal fungi and Pseudomonas bacteria on yield and biochemical traits in condition of cut irrigation

محمد نصری[۱]، میثم اویسی*[۲]

۱- مرکز تحقیقات فنآوری‌های نوین تولید غذای سالم، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، تهران، ایران.

۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین، تهران، ایران.

* **نویسنده مسوول مکاتبات:** meysam_oveysi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۲۱

چکیده

کودهای بیولوژیک متشکل از باکتری‌ها و همچنین قارچ‌های مفیدی هستند که هر یک به‌منظور خاصی تولید می‌شوند، مانند تثبیت نیتروژن، رهاسازی یون‌های فسفات، پتاسیم و آهن از ترکیب‌های نامحلول آنها. این آزمایش با هدف بررسی اثر قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*) و باکتری سودوموناس (*Pseudomonas putida*) در شرایط قطع آبیاری بر عملکرد، آنزیم‌های آنتی اکسیدانت و بیومارکرهای تخریب گیاه ذرت رقم KSC_{704} در منطقه ورامین در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده (اسپلیت پلات) در قالب بلوک کامل تصادفی در سه تکرار بود. عامل اصلی آبیاری در سه سطح آبیاری (۱- آبیاری معمولی. ۲- قطع آب در مرحله‌ی گلدهی.۳- قطع آب در مرحله‌ی پر شدن دانه) و عامل فرعی اختلاط کود زیستی قارچ مایکوریزا و باکتری سودوموناس با بذرها در هنگام کاشت در چهار سطح (۱- عدم مصرف میکوریزا و سودوموناس. ۲- کاربرد ۶۰ گرم در هکتار مایکوریزا. ۳- کاربرد ۱۰۰ گرم در هکتار باکتری سودوموناس. ۴- کاربرد توام مایکوریزا و سودوموناس) بود. نتایج نشان داد اثرات متقابل قطع آبیاری و کاربرد مایکوریزا و سودوموناس بر تمامی صفات اندازه گیری شده در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار بود. بالاترین میزان عملکرد دانه (۷۹۶۵/۳ کیلوگرم درهکتار)، عملکرد بیولوژیک (۲۰۴۶۸/۳ کیلوگرم در هکتار) و شاخص برداشت (۳۹/۱ درصد) از تیمار مصرف توام مایکوریزا و سودوموناس و آبیاری معمول به‌دست آمد که با تیمارهای آبیاری معمول و مصرف مایکوریزا و آبیاری معمول و مصرف سودوموناس اختلاف معنی‌داری نداشت و کم‌ترین میزان این صفات را تنش در مرحله گلدهی و عدم مصرف مایکوریزا و سودوموناس به خود تخصیص داد که با تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه اختلاف معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین میزان پرولین برگ به مقدار ۱/۰۳۶ میکروگرم بر گرم در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و کاربرد توام مایکوریزا و سودوموناس به‌دست آمد. لازم به ذکر است در تیمار آبیاری معمول و کاربرد توام مایکوریزا و سودوموناس کم‌ترین میزان کاتالاز، دی تیروزین، دی هیدروکسی گوانوزین و مالون دی آلدئید حاصل گردید. در این بررسی با مصرف توام مایکوریزا و سودوموناس در شرایط قطع آبیاری بر رشد زایشی و با توجه به نقش فسفر در مرحله زایشی، گیاه توانست تا تحمل خود را از طریق افزایش متابولیت‌های سازگار بالا ببرد.

واژگان کلیدی: تنش خشکی، ذرت، کود زیستی، عملکرد، شاخص برداشت

مقدمه

کشاورزی بیولوژیک، یک نظام تلفیقی کشاورزی بر پایه اصول بوم‌شناسی است و کشاورزان به‌جای استفاده از کودهای شیمیایی با کمک چرخه عناصرغذایی در خاک، باعث حاصلخیزی آن می‌شوند (Noumavo *et al*., 2013). کودهای زیستی، آلودگی زیست محیطی کودهای شیمیایی را کاهش داد و موجب احیای و حفظ محیط زیست شد. ضمنا با مصرف کودهای بیولوژیک علاوه بر افزایش عملکرد هزینه تولید را کاهش و درآمد خالص مزارع بیشتر گردید (Mohammad and Song *et al*., 2015 and Sohrab., 2012). تحقیقات نشان داد اگر در شرایط تنش خشکی به کمک مواد ضد تنش یا افزایش دهنده تحمل گیاه، عناصر معدنی و آب در اختیار گیاه قرار بگیرد، می‌توان این شرایط را تا حدودی بهبود بخشید (Song *et al*., 2000)، که اختلاط بذرها هنگام کاشت با قارچ‌های مایکورایزا و باکتری‌های سودوموناس یکی از این نوع راه‌کارها می‌باشد. قارچ مایکوریزا با ایجاد ارتباط همزیستی با گیاهان زراعی مانند ذرت باعث افزایش جذب آب و عناصرغذایی (افزایش جذب فسفر) و در نتیجه افزایش رشد و تحمل به تنش خشکی، تحمل به عوامل بیماریزا، تولید هورمون‌های گیاهی، بهبود ساختمان خاک از طریق تسهیل در ایجاد خاکدانه‌ها می‌گردد (مظفری و همکاران، ۱۳۹۴و Vivian *et al*., 2015). تولید مواد تنظیم کننده رشد توسط باکتری‌های افزاینده رشد گیاه یکی از موجه‌ترین سازوکارهای پیشنهاد شده برای توضیح فعالیت و تاثیر این باکتری‌ها بر رشد و نمو گیاهان می‌باشد (Vivian *et al*., 2015). باکتری سودوموناس از مهم‌ترین باکتری‌های حل کننده فسفات به‌شمار می‌رود. سازوکار اثر این باکتری‌ها در انحلال فسفات نامحلول پیچیده است، ولی براساس نظریات مختلف این ریزسازواره‌ها با اکسیداسیون ناقص قندها اسیدهای آلی تولید می‌نمایند که باعث کاهش اسدیته محیط می‌گردد (Asea *et al*., 2006). نوماو و همکاران (Noumavo *et al*., 2013) علت تحریک رشد ذرت به‌وسیله باکتری‌های افزاینده رشد گیاه، ترشح اسید ایندول استیک به‌وسیله این باکتری‌ها دانستند. باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن و باکتری‌های حل کننده فسفات (سودوموناس) در برنج باعث افزایش عملکرد دانه و میزان فسفر دانه شد (Dobbelaere *et al*., 2002). آسا و همکاران (Asea *et al*., 2006) افزایش ۱۶ درصدی در عملکرد گیاه ذرت و افزایش ۱۴ درصدی در جذب کل گیاه با تلقیح گیاه با سودوموناس در گلخانه را گزارش کردند. فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت می‌تواند در اثر تولید رادیکال‌های آزاد افزایش یابد و آبیاری بعد از اعمال قطع آبیاری، سبب کاهش فعالیت این آنزیم ها می‌گردد (Lima *et al*., 2016 Selote and Chopra, 2006 and). محققان افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز را در مطالعه تأثیر کم‌آبیاری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت ذرت گزارش کردند (نصری و خلعتبری، ۱۳۹۵و Li-Ping *et al*., 2006). در زمان بروز قطع آبیاری، با افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیدکننده و بالا-بردن محتوای اسمولیت‌ها نقش مهمی در افزایش تحمل به کم‌آبیاری دارد، حفاظت در برابر فتواکسیداسیون ازطریق زدودن انرژی اضافی به‌وسیله کاروتنوئیدها و یا از طریق افزایش تجزیه انواع اکسیژن فعال به‌وسیله افزایش آنزیم‌های آنتی اکسیداتیوی مانند پراکسیدازها، سوپراکسید دیسموتازها و کاتالازها صورت می‌گیرد (Huang *et al*., 2013). نتایج یک تحقیق نشان‌داد در شرایط کم‌آبیاری فعالیت پراکسیداز به پایداری بیش‌تر غشای سلولی و کلروفیل منجرمی‌شود (Guo *et al*., 2006). توجه به کمبود آب در مناطق نیمه خشک مانند ورامین، هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی کاربرد کودهای بیولوژیک مایکورایزا و سودوموناس بر صفات زراعی و بیو-شیمیایی ذرت در شرایط قطع آبیاری است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر قارچ مایکوریزا و باکتری سودوموناس در شرایط قطع آبیاری بر عملکرد و صفات بیوشیمیایی ذرت رقم KSC704 در منطقه ورامین در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ با مختصات جغرافیایی ´۳۹ و ۵۱ طول شرقی و ´۱۹,°۳۵ عرض شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۸۹۰ متر تحقیقی به‌صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح آماری بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین اجرا شد. عامل اصلی آبیاری در سه سطح آبیاری (۱- عدم تنش. ۲- قطع آبیاری در مرحله‌ی گلدهی. ۳- قطع آبیاری در مرحله‌ی پر شدن دانه) و عامل فرعی اختلاط کود زیستی قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*) و باکتری سودوموناس (*Pseudomonas*

putida) با بذرها در هنگام کاشت در چهار سطح (۱- عدم مصرف میکوریزا و سودوموناس. ۲- کاربرد ۶۰ گرم در هکتار مایکوریزا. ۳- کاربرد ۱۰۰ گرم در هکتار باکتری سودوموناس. ۴- کاربرد توام مایکوریزا و سودوموناس) برای ۲۵ کیلوگرم بذر ذرت در هکتار بود. قبل از کاشت عملیات شخم و دیسک جهت آماده شدن بستر بذر انجام‌گردید و کودهای پر مصرف براساس توصیه آزمون خاک مصرف شد (جدول یک). کاشت در تاریخ ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۵ انجام پذیرفت. هر واحد آزمایشی شامل شش ردیف به طول شش متر، فاصله خطوط کاشت نسبت به یکدیگر ۷۵ سانتی‌متر، فاصله بذور روی هر ردیف ۲۰ سانتیمتر و فاصله دو کرت مجاور نسبت به یکدیگر ۱/۵ متر می‌باشد. برای محاسبه عملکرد بیولوژیک در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، ۶/۵ مترمربع از هر کرت برداشت گردید و پس از خشک شدن در آون با دمای ۷۰ درجه به‌مدت ۷۲ ساعت، اقدام به توزین مواد گیاهی شد. همچنین عملکرد دانه پس از رسیدن رطوبت دانه به ۱۴ درصد محاسبه گردید. محاسبه شاخص برداشت با تقسیم عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) بر عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) ضرب در ۱۰۰ بر حسب درصد به‌دست آمد (Oveysi *et al.*, 2010). برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز از عصاره پروتئینی استخراج شده از روش چانس و ماهلی (Chance and Maehly, 1995) استفاده شد. برای سنجش بیومارکر تخریب مالون دی آلدئید از روش کروماتوگرافی HPLC براساس روش استون (Steven, 1978) استفاده گردید. سنجش دی هیدروکسی گوانوزین براساس روش بوگدانوف و بیکال (Bogdanov and Bical, 1999) انجام شد. در پایان آزمایش نتایج هر کدام از تیمارها توسط برنامه نرم افزاری SAS مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفت و مقایسه میانگین‌های هر صفت با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک و پنج درصد انجام شد.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

Table 1: soil physicochemical properties.

خصوصیات خاک Soil properties	روی Zinc ppm	آهن Iron ppm	فسفر Phosphorus ppm	پتاسیم Potassium ppm	کلسیم Calcium Mg per liter	نیتروژن Nitrogen درصد	ماسه Sand درصد	لای Silt درصد	رس Clay درصد	اسیدیته Acidity
نتایج Results	0/6	2/5	10/7	385/1	10	0.1	41	33	26	7/6

نتایج و بحث

عملکرد دانه

از آن‌جا که عملکرد دانه برآیندی از صفات مختلف گیاهی نظیر تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف در بلال و وزن هزاردانه می‌باشد، بنابراین همیاری گیاه ذرت با کودهای زیستی از طریق افزایش این صفات، سبب افزایش عملکرد دانه شد (Oveysi *et al.*, 2010). اثرات ساده تیمار تنش خشکی و کاربرد مایکوریزا و سودوموناس و تاثیرات متقابل تیمارها، بر عملکرد دانه در سطح یک درصد تاثیرگذار بود (جدول دو). کمترین میزان عملکرد دانه نیز از تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه به حاصل شد. همچنین بالاترین عملکرد دانه از تیمار کاربرد توام مایکوریزا و سودوموناس با متوسط ۵۷۳۰/۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول سه). در رابطه با اثرات متقابل بالاترین عملکرد دانه از تیمار آبیاری معمول و کاربرد توام مایکوریزا و سودوموناس با ۷۹۶۵/۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که با تیمارهای آبیاری معمول و کاربرد مایکوریزا و همچنین تیمار آبیاری معمول و کاربرد سودوموناس تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول سه). نتایج نشان داد عامل آبیاری و کاربرد مایکوریزا و سودوموناس به‌علت نقشی که در رشد ریشه و تسهیل جذب فسفر دارد، توانست تاثیر مثبتی بر عملکرد دانه داشته باشد. حتی در زمان بروز تنش نیز تیمارهایی که کاربرد توام مایکوریزا و سودوموناس را داشتند، کمتر از تیمار شاهد از شرایط تنش خسارت دیدند که می‌توان آن را به‌دلیل نقش فسفر در افزایش تحمل گیاه به خشکی با سازوکار-های خود دانست. چنانچه در این تحقیق مشخص شد تنش خشکی تاثیر شدیدی بر رشد برگ‌ها داشت، که این مساله را لی پینگ و همکاران (Li-Ping *et al.*, 2006) نیز تایید می‌کنند. کمبود آب بر جابجایی مواد به‌طور غیر-مستقیم اثر می‌گذارد و به‌دلیل کاهش رشد سلول، اندام مبدا (برگ‌ها) کوچک تر و مواد فتوسنتزی برای انتقال به

دانه‌ها اندک است و اندازه دانه‌ها (اندام مقصد) ممکن است کاهش یابد (اویسی، ۱۳۸۹). سونگ و همکاران (Song *et al*., 2000) اعلان نمودند با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد دانه و ماده خشک گیاه کاهش می‌یابد. در مرحله رشد زایشی نیز حساسیت به تنش‌ها متفاوت است. اویسی و همکاران (Oveysi *et al*., 2010) نیز بیش-ترین کاهش عملکرد دانه را مربوط به تنش خشکی در مرحله زایشی دانستند و علت آن را به‌طور عمده کاهش تعداد دانه به‌وجود آمده، عنوان نمودند که البته با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش اندکی مغایرت دارد. لویر (Lauer, 2003) بیان می‌دارد تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه به‌میزان هفت درصد گردید و کاهش جزئی اندازه مبدا در زمان رشد رویشی توسط تنش خشکی باعث افت عملکرد دانه نشد. یافته‌های محققان مبتنی بر این امر است تنش خشکی شدید، باعث کاهش ۴۰ درصدی عملکرد دانه گردید (لک و همکاران، ۱۳۸۵). بر-اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، در شرایط قطع آبیاری استفاده از مایکوریزا به‌علت این که تسهیل کننده جذب فسفر قابل تبادل می‌باشد (Jiang and Huang, 2001)، رشد ریشه افزایش یافته و استفاده بهتر از فسفر و نیتروژن و ساخت بیشتر کربوهیدرات‌ها و پروتئین باعث می‌شود، گیاه از رطوبت به‌ویژه در دوره‌های خشکی به‌طور کارآمد استفاده کند (Song *et al*., 2015 and Vivian *et al*., 2015). نتایج نشان داد کاربرد مایکوریزا و سودوموناس در شرایط بروز تنش با افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی و جذب فسفر و عناصر معدنی، باعث تولید فرآورده های متابولیتی سازگاری برای گیاه شده که این امر قدرت دیواره سلولی گیاه را افزایش داده و موجب استفاده بهتر از آسیمیلات‌های تولیدی می‌گردد و در نهایت عملکرد دانه در شرایط تنش نسبت به تیمار عدم مصرف مایکوریزا و سودوموناس افزایش می‌یابد (مظفری و همکاران، ۱۳۹۴).

جدول ۲: تجزیه واریانس صفات مورد بررسی.

Table 2: Analysis of variance of studied traits.

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی	کاتالاز	M.s میانگین مربعات مالون دی آلدئید	دی هیدروکسی گوانوزین	پرولین برگ
		dF	CAT	MDA	D-OH G	proline
Replication	تکرار	2	0.031^{ns}	0.001^{ns}	0.0002^{ns}	3.12^{ns}
Drought Stress	تنش خشکی	2	4.45^{**}	0.014^{*}	0.0008^{ns}	6.66^{*}
Main Error	خطای اصلی	4	0.098	0.002	0.0002	1.11
Mycorrhizal and Pseudomonas	مایکوریزا و سودوموناس	3	6.21^{*}	1.12^{**}	0.0008^{ns}	1.35^{ns}
Drought stress* Mycorrhizal and Pseudomonas	تنش خشکی × مایکوریزا و سودوموناس	6	2.99^{**}	0.845^{**}	0.087^{*}	45.11^{**}
Sub-Error	خطای فرعی	18	0.012	0.001	0.0001	0.99
CV(٪)	ضریب تغییرات		5.10	5.10	8.80	6.66

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می باشند.

ns, * and ** non significant and significant at 5 and 1 % level of probability, respectively.

ادامه جدول ۲: تجزیه واریانس صفات مورد بررسی.

Continued table 2: Analysis of variance of studied traits.

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی	M.s میانگین مربعات عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	درصد روغن
		dF	Grain yield	Bio. yield	Harvest index	oil percentages
Replication	تکرار	2	65283119.2*	32899753.4^{ns}	9.22^{ns}	0.092 ^{ns}
Drought Stress	تنش خشکی	2	493225807.3**	750453200.2**	72.31*	0.783 *
Main Error	خطای اصلی	4	11453289.1	15000873.6	10.45	0.102
orrhizal and Pseudomonas	مایکوریزا و سودوموناس	3	807000121.6**	708445333.3**	93.91*	0.944 ^{ns}
Drought stress* Mycorrhizal and Pseudomonas	تنش خشکی × مایکوریزا و سودوموناس	6	983220490.2**	849000220.2**	422.30**	3.420 *
Sub-Error	خطای فرعی	18	20750009.2	29007792.6	15.15	0.545
CV(/.)	ضریب تغییرات		16.2	15.3	7.20	5.110

، * و ** به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می باشند.

ns, * and ** non significant and significant at 5 and 1 % level of probability, respectively.

عملکرد بیولوژیک

در تجزیه و تحلیل عوامل موثر بر عملکرد و اجزای آن، مقدار ماده خشک تولیدی معیار مناسبی جهت تعیین عملکرد در گیاه زراعی می‌باشد (Benson, 2004). اثرات ساده و متقابل عوامل مورد بررسی بر عملکرد بیولوژیک در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول دو). کاربرد مایکوریزا و تلقیح بذر با سودوموناس، باعث افزایش ۲۲ درصدی عملکرد بیولوژیک شد (جدول سه). در رابطه با اثرات متقابل بالاترین میزان عملکرد بیولوژیک از تیمار آبیاری معمول و کاربرد توام مایکوریزا و سودوموناس با متوسط ۲۰۴۶۸/۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول سه). تنش خشکی می‌تواند منجر به بسته شدن روزنه‌ها گردد و این امر جذب دی اکسید کربن و تولید ماده خشک را کاهش می‌دهد (Hsiao, 2000 and Barányiová and Klem, 2016). نتایج تحقیقی نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی، ماده خشک ذرت کاهش یافت. کمترین و بیش‌ترین میزان انتقال مجدد ماده خشک ذخیره‌ای به‌ترتیب مربوط به تیمار آبیاری مطلوب و تنش ملایم خشکی بود. با افزایش شدت تنش خشکی، کارایی و سهم انتقال مجدد در عملکرد افزایش یافت (Song *et al*., 2000). تحقیقات نشان داد کم‌آبیاری در دوره‌های مختلف رشد، باعث کاهش معنی‌داری در وزن خشک ساقه شد که دلیل اصلی این کاهش تاثیری است که به‌طور کلی تنش بر تجمع ماده خشک در گیاه ذرت دارد. در مجموع باید بیان نمود عامل تنش خشکی بر روند وزن کل ماده خشک بلال تاثیر می‌گذارد (اویسی، ۱۳۸۹). در این پژوهش نیز کاربرد مایکوریزا و سودوموناس به‌تنهایی در مقابل شاهد در شرایط قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه، نتوانست مانع کاهش عملکرد بیولوژیک شود شاید دلیل این مساله جذب بیشتر فسفر و عناصر معدنی توسط دانه بود که این مساله سبب کاهش سطح برگ و کاهش زیست توده گردید و موجب بروز کاهش عملکرد بیولوژیک گشت، اما کاربرد توام مایکوریزا و سودوموناس در شرایط تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه، تاثیر مثبتی بر عملکرد بیولوژیک گذاشته است شاید بتوان دلیل آن را آزادشدن تدریجی فسفر در طول دوره رشد حتی در زمان تنش در اواخر رشد دانست که بر رشد اندام‌های هوایی و توسعه و تقسیم سلول و تسهیم آنها در پر شدن دانه و افزایش تعداد دانه اثر مثبت داشت که این نتایج همسو با نتایج مظفری و همکاران، ۱۳۹۴ است. چنان‌چه گفته شد تحمل به خشکی بستگی به توانایی سلول در نگهداری غشای سلول در شرایط معمول و جلوگیری از تغییر ماهیت پروتئین دارد (Barányiová and Klem, 2016). معمولا مواد محلول از جمله قندها، اسیدهای آمینه، ترکیبات آمونیوم موجب حفظ غشای و آنزیم‌ها از خسارت دفع آب می‌شوند (Vivian *et al*., 2015). کاربرد مایکوریزا و سودوموناس در زمان تنش در مرحله گلدهی، باعث کاهش کمتر عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار عدم کاربرد شد. آنچه که در این تحقیق مشهود است افزایش ماده خشک به علت تأثیر مفید هورمون‌های محرک رشد گیاه مانند اکسین‌ها می‌باشد، زیرا در بذوری که با کود-های بیولوژیک آغشته شدند تغییراتی در مورفولوژی سیستم ریشه‌ای ایجاد خواهدشد (Olsson *et al*., 2014) و افزایش سطوح جذب ریشه موجب افزایش جذب آب و

عناصرغذائی توسط گیاه ذرت می‌گردد و این امر باعث افزایش شاخص سطح برگ، رشد رویشی و نهایتا عملکرد علوفه را در پی دارد (Mohammad and Sohrab, 2012).

شاخص برداشت

شاخص برداشت بیان کننده نسبت توزیع مواد فتوسنتزی بین عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک است و تحت تاثیر عوامل محیطی به ویژه تنش خشکی تغییر می کند (اویسی، ۱۳۸۹). اثر ساده تیمار تنش خشکی و کاربرد مایکوریزا و سودوموناس و اثرات متقابل عوامل مورد آزمایش بر شاخص برداشت در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول دو). در رابطه با اثرات متقابل بیش-ترین میزان شاخص برداشت از تیمار آبیاری معمول و مصرف سودوموناس با ۳۹/۱ درصد حاصل شد که با تیمارهای آبیاری معمول و مصرف مایکوریزا و آبیاری معمول و مصرف توام مایکوریزا و سودوموناس اختلاف معنی‌داری نداشت و کم‌ترین مقدار نیز از تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و شاهد با متوسط ۲۸ درصد به‌دست آمد که با تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و شاهد دارای اختلاف معنی‌داری نبود (جدول سه). در شرایط تنش خشکی، شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفت و موجب کاهش وزن کل ماده خشک ذرت شد (Dobbelaere *et al*., 2002). اویسی و همکاران (Oveysi *et al*., 2010) اعلان داشتند افزایش تنش خشکی، نتایج تصاعدی کمتری در وزن خشک و شاخص برداشت دارد و این مساله نشان می‌دهد گیاه ذرت جهت حفظ ماده خشک و شاخص برداشت، تولید خود را با آب قابل دسترس تنظیم می‌کند. با توجه نتایج هرچند قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی باعث کاهش عملکرد بیولوژیک گردید، اما کاربرد توام سودوموناس و مایکوریزا به‌دلیل این که میزان عملکرد دانه را افزایش دادند و در واقع در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش انتقال مجدد مواد از ساقه به دانه شدند، بهمین خاطر شاخص برداشت کاهش نشان داد که با نتایج لک و همکاران (۱۳۸۵) و مظفری و همکاران (۱۳۹۴) منطبق است.

کاتالاز

افزایش فعالیت کاتالاز جهت کاهش اثرات پراکسیداز در هنگام تنش‌های مختلف زراعی در تحمل گیاه به شرایط تنش نقش مهمی را ایفا می‌نماید (Foyer and Noctor., 2003). نتایج نشان داد آنزیم کاتالاز تحت تاثیر اثرات ساده تنش خشکی و کاربرد مایکوریزا و سودوموناس و اثرات متقابل آنها در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول دو). بیش‌ترین میزان آنزیم کاتالاز از تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی با متوسط ۳۸/۸۲ واحد فعالیت بین المللی بر میلی‌گرم پروتئین به‌دست آمد. علت این افزایش وجود رادیکال‌های آزاد است. در تیمارهایی که قطع آبیاری در آن‌ها مشاهده شد با استفاده از مایکوریزا و سودوموناس، به‌مقدار زیادی از اثر اکسیداتیو کاسته شد و مقدار آنزیم کاتالاز کاهش داشت. اثرات متقابل تیمارها نشان داد بالاترین میزان کاتالاز از تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و عدم کاربرد کود بیولوژیک با ۴۳/۴۶ واحد فعالیت بین المللی بر میلی‌گرم پروتئین به‌دست آمد (جدول سه). نتایج این بررسی نشان دهنده افزایش میزان کاتالاز در شرایط تنش بود با قطع آبیاری در مرحله گلدهی و عدم مصرف مایکوریزا و سودوموناس، میزان این آنزیم افزایش نشان داد، ولی در تیمارهایی که قطع آبیاری در مرحله گلدهی و یا پر شدن دانه را دارند با مصرف توام مایکوریزا و سودوموناس میزان این آنزیم به‌طرز چشمگیری کاهش داشت. مطالعات کاربرد کودهای زیستی حاکی از این است مصرف این کودها باعث کاهش تنش خشکی می‌شود و میزان فعالیت این آنزیم را کاهش می‌دهد. علت آن این است گیاه در هنگام تنش خشکی سعی دارد با افزایش فعالیت این آنزیم میزان رادیکال‌های آزاد تولیدی و تخریب ناشی از آنها را در هنگام تنش کاهش دهد و از آنجا که این مواد باعث کاهش تنش می-شوند پس میزان فعالیت آنزیم‌ها نیز کاهش می‌یابد (Olsson *et al*., 2014 and Selote and Chopra, 2006). فعالیت آنزیم کاتالاز تأثیر کمی از تنش کمبود آب می-پذیرد اما با ادامه تنش و افزایش آن، میزان فعالیت کاهش می‌یابد. دلیل این کاهش ناشی از کاهش سنتز پروتئین‌ها در اثر تنش کمبود آب است (Li-Ping *et al*., 2006). نتایج نشان می‌دهد هرچه میزان کمبود آب بر اثر قطع آبیاری و عدم مصرف مایکوریزا و سودوموناس بیشتر باشد، میزان تولید این آنتی اکسیدانت‌ها در این تیمارها افزایش می‌یابد.

مالون دی آلدئید

هنگامی که تنش اکسیداتیو رخ می‌دهد پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع لیپیدها افزایش می‌یابد و در اثر حملهٔ رادیکال‌های آزاد به لیپیدها، آلدئیدهای گوناگونی از جمله مالون دی آلدئید ایجاد می‌شود (Lima *et al*., 2016). نتایج نشان داد اثرات ساده آبیاری و کاربرد مایکوریزا و سودوموناس بر مالون دی آلدئید در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بود. بالاترین میزان مالون دی آلدئید مربوط به تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی با ۳۰/۴۶ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین حاصل شد که با تیمار تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه اختلاف معنی-داری نداشت و نسبت به تیمار آبیاری معمول با ۱۵/۴۷ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین که کمترین میزان بیومارکر تخریب مالون دی آلدئید را به‌دست آورد، ۴۹ درصد افزایش داشت که دلالت بر افزایش این بیومارکر تخریب مالون دی آلدئید در اثر قطع آبیاری را می‌نماید. اثر متقابل قطع آبیاری در مرحله گلدهی و عدم کاربرد کود بیولوژیک بیش‌ترین میزان مالون دی آلدئید رو به خود اختصاص داد که با تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و عدم کاربرد کود بیولوژیک تفاوت معنی‌داری حاصل نشد (جدول دو و چهار). در بررسی‌های انجام شده مشخص بود غلظت مالون دی آلدئید، دی هیدروکسی گوآنوزین در خلال تنش خشکی پس از ۲۴ ساعت افزایش یافت، ولی بلافاصله پس از دسترسی گیاه به آب و کاهش تنش، میزان این دو ماده کاهش یافت (Jin *et al*., 2006). در این تحقیق مشخص گردید با قرارگرفتن آب در اختیار گیاه از سوی سازوکارهای تحمل به خشکی که در اثر کاربرد مایکوریزا و سودوموناس در هنگام تنش صورت گرفت، تنش اکسیداتیو تا حدی کاهش و میزان پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب آنها کاهش داشت. بهمین دلیل حتی با وجود رخداد تنش با کاربرد مایکوریزا و سودوموناس و دسترسی بهتر گیاه به فسفر، نیتروژن و افزایش میزان آسیمیلات‌های تولیدی و آنتی‌اکسیدانت‌ها از میزان انواع بیومارکرهای تخریب کاسته شد.

جدول ۳ : مقایسه میانگین اثرات ساده و متقابل صفات مورد بررسی

Table 3: Comparison of the mean simple and interaction effects of studied traits

Treatment	تیمار	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	کاتالاز
Simple effect	اثر ساده	Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	Harvest index (%)	Catalase (u. mg protein^{-1})
Normal irrigation	آبیاری معمول	6592.5 ^{b}	17989.1 ^{b}	38.46 ^{a}	22.16 ^{c}
Cut irrigation in the flowering stage	قطع آبیاری در مرحله گلدهی	7446.2 ^{a}	19128.9 ^{a}	31.66 ^{b}	38.82 ^{a}
Cut irrigation at grain filling	قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه	7437.8 ^{a}	19026.8 ^{a}	32.94 ^{b}	30.27 ^{b}
Non-use of bio-fertilizers	عدم کاربرد کود بیولوژیک	7965.2 ^{a}	20468.2 ^{a}	31.02 ^{b}	34.75 ^{a}
Mycorrhizal 60 ($g.ha^{-1}$)	کاربرد مایکوریزا ۶۰ گرم در هکتار	3021.6 ^{d}	10632.5 ^{e}	36.11 ^{a}	29.59 ^{bc}
Pseudomonas 100 ($g.ha^{-1}$)	کاربرد سودوموناس ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار	4065.3 ^{cd}	12002.9 ^{d}	36.01 ^{a}	30.11 ^{b}
Mycorrhizal and Pseudomonas	کاربرد توام مایکوریزا و سودوموناس	3987.3 ^{cd}	12432.4 ^{d}	33.93 ^{b}	26.71 ^{c}
Interaction effect	اثر متقابل				
Non-use of bio-fertilizers×Normal irr	آبیاری معمولی × عدم کاربرد کود بیولوژیک	6592.8 ^{b}	17989.7 ^{b}	36.67 ^{ab}	23.31 ^{e}
Normal irr * Mycorrhizal	آبیاری معمولی × تلقیح مایکوریزا	7446.2 ^{a}	19128.8 ^{a}	38.95 ^{a}	22.74 ^{ef}
Normal irr* Pseudomonas	آبیاری معمولی × تلقیح سودوموناس	7437.7 ^{a}	19026.6 ^{a}	39.32 ^{a}	22.55 ^{ef}
Normal irr* Application together	آبیاری معمولی × کاربرد توام کود	7965.4 ^{a}	20468.5 ^{a}	38.28 ^{a}	19.47 ^{g}
Cut irrigation in the flowering ×Non-use of bio-fertilizers	قطع آبیاری در مرحله گلدهی× عدم کاربرد کود بیولوژیک	3121.3 ^{d}	10632.2 ^{e}	28.36 ^{d}	43.46 ^{a}
Cut irrigation in the	قطع آبیاری در مرحله گلدهی×	4065.6 ^{cd}	12002.9 ^{d}	33.91 ^{bc}	38.76 ^{b}

flowering* Mycorrhizal	مایکوریزا				
Cut irrigation in the flowering* Pseudomonas	قطع آبیاری در مرحله گلدهی× سودوموناس	3987.8 ^{cd}	12432.8 ^{d}	32.07 ^{bc}	39.06 ^{b}
Cut irrigation in the flowering* Application together	قطع آبیاری در مرحله گلدهی× کاربرد توام کود	4827.2 ^{c}	15118.4 ^{c}	31.17 ^{c}	33.96 ^{c}
Non-use of bio-fertilizers *Cut irr in the filling	قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه× عدم کاربرد کود بیولوژیک	2842.3 ^{d}	10187.2 ^{e}	28.01 ^{d}	36.35 ^{b}
Cut irr in the filling* Mycorrhizal	قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه× تلقیح مایکوریزا	3501.7 ^{cd}	9853.8 ^{e}	35.93 ^{b}	29.11 ^{d}
Cut irr in the filling *Pseudomonas	قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه× تلقیح سودوموناس	3546.4 ^{cd}	9559.5 ^{e}	37.13 ^{ab}	29.98 ^{d}
Cut irr in the filling*Application together	قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه× کاربرد توام کود	4398.2 ^{c}	14072.6 ^{c}	31.77 ^{cd}	25.61 ^{e}

*: حروف مشترک در هرستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد

Means with similar letters in each column are not significantly different at 5 % probability level

دی هیدروکسی گوانوزین

نتایج نشان داد اثرات ساده تیمارهای مورد بررسی معنی-دار نبود و از طرفی دی هیدروکسی گوانوزین تحت تاثیر اثرات متقابل آبیاری و کاربرد مایکوریزا و سودوموناس (در سطح پنج درصد) قرارگرفت و بالاترین میزان از تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و عدم کاربرد کود بیولوژیک با ۸/۵۷ نانومول بر میلی‌گرم پروتئین به‌دست آمد که با تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و عدم کاربرد کود بیولوژیک تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول دو و چهار). با نگاهی به نتایج مشخص گردید در تیمارهای تحت تنش، میزان بیومارکر تخریب دی هیدروکسی گوانوزین افزایش داشت، ولی با مصرف مایکوریزا و سودو موناس با توجه به خاصیت آنها از اثرات منفی تنش تا حدود زیادی کاسته شد و میزان بیومارکرهای تخریب حتی در شرایط بروز تنش نیز کاهش نشان داد. در این تحقیق هرچند شرایط تنش منجر از بین رفتن DNA و سایر ترکیبات گردید زیرا افزایش غلظت دی هیدروکسی گوآنوزین ناشی از پراکسیداسیون و تخریب DNA بوده که دلالت بر ایجاد رادیکال‌های آزاد در بافت دارد دارد (Jin *et al*., 2006)، ولی با استفاده از مایکوریزا و سودوموناس و جذب بهتر فسفر و نقشی که در دوران زایشی و ساخت اسید نوکلئیک دارد و همچنین به‌دلیل طویل شدن ریشه و افزایش نسبت ریشه به تاج تا حدود بسیار زیادی از اثرات منفی تنش کاسته شد. کم آبیاری می‌تواند منجر به تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول‌ها گردد و به‌طور مستقیم به غشای چربی‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه زده و با غیرفعال‌نمودن فعالیت آنزیم‌های متابولیکی منجر به مرگ‌سلولی شوند (Ben Amor *et al*., 2007). نسبت بین آنزیم‌هایی نظیر سوپراکسیددیسموتاز و اسید اسکوربات با بیومارکرهایی مانند مالون دی آلوئید، دی هیدروکسی گوآنوزین می‌تواند در برقراری تحمل به خشکی مؤثر باشد هرچه این نسبت بالاتر باشد تحمل گیاه بیش‌تر می‌شود (Quartacci *et al*., 2000). برخی معتقدند که بین آنزیم‌های آنتی اکسیدانت و بیومارکرهای تخریب دی هیدروکسی گوآنوزین همبستگی منفی وجود دارد یعنی با افزایش دی هیدروکسی گوآنوزین در شرایط تنش آنزیم‌های آنتی اکسیدانت کاهش یافت که باعث افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن گردید، در نتیجه بیو-مارکرهای تخریب که رابطه مستقیمی با رادیکال‌های آزاد اکسیژن دارند افزایش می یابند (Chaves *et al*., 2003). اگرچه این نتایج با نتایج این تحقیق مغایرت داشت، مطالعات نشان داد که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در پاسخ به شرایط تنش مشخص می‌کند که آن‌ها نقش مهمی در محافظت از آسیب‌های سمی رادیکال های آزاد اکسیژن دارند (Huang *et al*., 2013). پژوهشگران در مطالعه تأثیر تنش خشکی بر فعالیت نشانگرهای تخریب، افزایش فعالیت دی هیدروکسی گوانوزین را گزارش کردند (Li-Ping *et al*., 2006). با توجه به نتایج این گونه استدلال می‌شود که باکتری‌ها و قارچ‌های محرک رشد گیاه با تولید آنزیم‌های ACC- دی

آمیناز می‌توانند از پیش‌ساز ACC که برای تولید اتیلن استفاده می‌شود به‌عنوان منبعی از نیتروژن، بلافاصله استفاده کرده و با هیدرولیز ACC باعث کاهش میزان اتیلن در گیاه شد که به‌دنبال آن رشد رشه افزایش می‌یابد (مظفری و همکاران، ۱۳۹۴).

میزان پرولین برگ

اثر ساده تیمار آبیاری و اثرات متقابل بر میزان پرولین برگ در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار بود و تنش خشکی باعث شد میزان پرولین برگ از ۰/۸۱۸ میکروگرم برگرم در تیمار آبیاری معمول به ۱/۰۲۵ میکروگرم برگرم در تیمار تنش در مرحله گلدهی برسد. براساس نتایج اثرات متقابل بیش‌ترین میزان پرولین برگ به‌مقدار ۱/۰۳۶ میکروگرم برگرم در تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی و کاربرد توام مایکوریزا و سودوموناس به‌دست آمد (جدول دو و چهار). بررسی‌ها نشان داد که افزایش پرولین در ریشه ناشی از انتقال آن از برگ‌ها می‌باشد، بیش‌ترین تجمع در بافت‌هایی دیده می‌شود که یا از گیاه جدا شدند و یا فاقد کلروفیل هستند. ضمن آن که در سطح سلولی محل عمده تمرکز پرولین، سیتوپلاسم می‌باشد. انباشت پرولین با کاهش پتانسیل آب بافت یا سلول آغاز می شود. غلظت پرولین آزاد در هر زمانی در برگ‌های تازه، تابعی از طول دوره قرارگرفتن آن در شرایط کمبود آب، پتانسیل آبی برگ‌ها و مقدار انتقال یافته از برگ‌ها به اندام‌های دیگر می‌باشد (اویسی، ۱۳۸۹). انباشت پرولین به‌عنوان شاخصی از تحمل به خشکی محسوب می‌شود. در پایداری ساختمانی پروتئین‌ها و تصفیه رادیکال‌های آزاد که موجب تخریب و فروپاشی غشاها در شرایط تنش می‌شوند، به همراه آنیون‌ها، قندها و اسیدهای آمینه دیگر نقش مهمی ایفا می‌کند. گیاهانی که در شرایط خشکی قرار می‌گیرند تغییراتی در پتانسیل آب خود به‌وجود می‌آورند. خشکی باعث تجمع پرولین و بتائین و قندها و مواد فعال اسمزی در گیاهان می‌گردد که این مواد باعث افزایش تاثیر منفی پتانسیل اسمز شده و باعث می‌شوند گیاه با خشکی سازگار گردد (Pandey And Agarwal, 2000). در این پژوهش هرچند کاربرد مایکوریزا و سودوموناس به تنهایی تاثیر معنی‌داری نداشت ولی با قرارگرفتن در زمان تنش خشکی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه با افزایش میزان فسفر قابل جذب توسط گیاه و به‌دنبال آن افزایش نیتروژن، باعث افزایش پرولین برگ شدند که تا حدود زیادی گیاه را در برابر خشکی متحمل نمود و مانع کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط مشابه در تیمار شاهد شد.

جدول ۴: مقایسه میانگین اثرات ساده و متقابل صفات مورد بررسی.

Table 3: Comparison of the mean simple and interaction effects of studied traits.

Treatment Simple effect	تیمار اثر ساده	مالون دی آلدئید MDA (nmol. mg protein^{-1})	دی هیدروکسی گوانوزین D-OH G (nmol. mg protein^{-1})	پرولین برگ Leaf proline (µg.g^{-1})	درصد روغن Oil (%)
Normal irrigation	آبیاری معمول	15.47 ^{b}	7/69 ^{a}	0.818 ^{b}	6.57 ^{a}
Cut irrigation in the flowering stage	قطع آبیاری در مرحله گلدهی	30.46 ^{a}	8.28 ^{a}	1.020 ^{a}	6.31 ^{a}
Cut irrigation at grain filling	قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه	28.14 ^{a}	8.13 a	0.982 ^{a}	5.7 b
Non-use of bio-fertilizers	عدم کاربرد کود بیولوژیک	35.12 ^{a}	8.58 a	0.933 ^{a}	5.86 ^{a}
Mycorrhizal 60 (g.ha^{-1})	کاربرد مایکوریزا ۶۰ گرم در هکتار	22.11 ^{b}	7.97 ^{a}	0.943 ^{a}	6.26 ^{a}
Pseudomonas 100 (g.ha^{-1})	کاربرد سودوموناس ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار	22.51 ^{b}	7.94 ^{a}	0.941 ^{a}	6.22 ^{a}
Mycorrhizal and Pseudomonas	کاربرد توام مایکوریزا و سودوموناس	18.63 ^{c}	7.64 ^{a}	0.951 ^{a}	6.44 ^{a}
Interaction effect	اثر متقابل				
Non-use of bio-fertilizers × Normal irr	آبیاری معمولی × عدم کاربرد کود بیولوژیک	20.64 ^{bc}	7.77 ^{b}	0.873 ^{c}	6.37 ^{ab}
Normal irr * Mycorrhizal	آبیاری معمولی × تلقیح مایکوریزا	14.27 ^{c}	7.63 ^{b}	0.822 ^{c}	6.59 ^{a}

Normal irr* Pseudomonas	آبیاری معمولی × تلقیح سودوموناس	13.93 [c]	7.58 [b]	0.818 [c]	6.62 [a]
Normal irr* Application together	آبیاری معمولی × کاربرد توام کود	13.04 [c]	7.21 [b]	0.796 [c]	6.71 [a]
Non-use of bio-fertilizers *Cut irrigation in the flowering	قطع آبیاری در مرحله گلدهی× عدم کاربرد کود بیولوژیک	43.67 [a]	8.83 [a]	1.010 [a]	6.09 [b]
Cut irrigation in the flowering* Mycorrhizal	قطع آبیاری در مرحله گلدهی× مایکوریزا	28.16 [b]	8.16 [ab]	1.020 [a]	6.33 [ab]
Cut irrigation in the flowering* Pseudomonas	قطع آبیاری در مرحله گلدهی× سودوموناس	27.83 [b]	8.14 [ab]	1.020 [a]	6.31 [ab]
Cut irrigation in the flowering* Application together	قطع آبیاری در مرحله گلدهی× کاربرد توام کود	22.18 [bc]	7.98 [b]	1.030 [a]	6.49 [ab]
Non-use of bio-fertilizers *Cut irr in the filling	قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه× عدم کاربرد کود بیولوژیک	41.39 [a]	8.57 [a]	0.948 [b]	5.11 [c]
Cut irr in the filling* Mycorrhizal	قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه× تلقیح مایکوریزا	26.48 [b]	8.13 [ab]	0.983 [b]	5.86 [b]
Cut irr in the filling *Pseudomonas	قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه× تلقیح سودوموناس	25.19 [b]	8.09 [ab]	0.979 [ab]	5.73 [b]
Cut irr in the filling*Application together	قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه× کاربرد توام کود	19.68 [bc]	7.73 [b]	1.01 [a]	6.11 [ab]

*: حروف مشترک در هرستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد

Means with similar letters in each column are not significantly different at 5 % probability level

درصد روغن دانه

براساس نتایج اثر ساده تنش خشکی و اثرات متقابل در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین درصد روغن دانه از تیمار آبیاری معمول با ۶/۵۷ درصد و کم-ترین میزان روغن دانه را تیمارهای قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه با ۵/۷ درصد به خود تخصیص دادند. نتایج اثرات متقابل مشخص نمود بالاترین درصد روغن از تیمار آبیاری معمولی و کاربرد توام مایکوریزا و سودوموناس با ۶/۷۱ درصد به‌دست آمد و تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و عدم کاربرد کود زیستی با ۵/۱۱ درصد، کمترین میزان روغن حاصل شد (جدول چهار). به‌طور کلی تنش خشکی در همه گونه غلات و گیاهان روغنی موجب کاهش میزان روغن می‌گردد. میزان روغن دانه ذرت بین ۴/۵ تا ۷ درصد متغیر است که این تغییرات ناشی از عوامل توارثی، شرایط محیطی و عوامل محیطی می‌باشد (Lauer, 2003). به نظر می‌رسد تاثیر تنش خشکی بر درصد روغن بیشتر از کاربرد مایکوریزا و سودوموناس بود. زیرا کاربرد این کودهای زیستی در شرایط تنش خشکی در مراحل زایشی که روغن تشکیل می‌شود چندان بر تغییرات درصد روغن معنی‌دار نبود و نتوانست میزان درصد روغن را افزایش دهد. به‌نظر می-رسد متابولیت‌های سازگاری حاصل از مصرف مایکوریزا و سودوموناس بیشتر بر حفظ کانوپی گیاه و خصوصیات کمی گیاه تاثیرگزار بود و خصوصیات کیفی را کمتر تحت تاثیر قرارداد. در واقع بیشتر ساختمان سلولی را از خطر تخریب نجات می‌بخشد. هر چند میزان فسفر نقش بسیار چشمگیری در مرحله زایشی دارد، گویی در این پژوهش تاثیر چندانی بر درصد روغن نداشت.

نتیجه گیری کلی

میزان خسارت وارده به ذرت در اثر قطع آبیاری بسته به طول مدت خشکی، زمان وقوع تنش، فراوانی وقوع تنش و خصوصیات ذاتی خاک متفاوت است. نتایج نشان داد کاربرد توام مایکوریزا و سودوموناس در شرایط تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه، تاثیر مثبتی بر عملکرد دانه و بیولوژیک گذاشت. شاید بتوان دلیل آن را آزاد شدن تدریجی فسفر در طول دوره رشد حتی در زمان تنش در اواخر رشد دانست. در تیمارهای تحت تنش، میزان نشانگرهای تخریب مانند دی هیدروکسی گوانوزین و مالون دی آلدئید افزایش داشت، ولی با مصرف مایکوریزا

و سودوموناس با توجه به خاصیت آن ها میزان بیومارکر-های تخریب حتی در شرایط بروز تنش نیز کاهش نشان داد و افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در پی داشت.

تحقیقات بیش‌تری برای درک بهتر نتایج در مناطق مشابه با تیمارهای دیگر توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده **References**

اویسی، م. ۱۳۸۹. بررسی اثر میزان و زمان حذف برگ بر صفات مرفوفیزیولوژیک، توزیع و تسهیم ماده خشک ذرت دانه ای رقم KSC_{704} در شرایط کم آبی. رساله دکتری زراعت. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران. ۱۲۰ صفحه.

لک، ش.، نادری، ا. و سیادت، س. ع. ۱۳۸۵. بررسی عملکرد دانه، کارآیی زراعی و کارآیی مصرف نیتروژن ذرت دانه ای تحت تاثیر تنش کمبود آب، سطوح مختلف نیتروژن و تراکم بوته در شرایط آب و هوایی خوزستان. مجله پژوهش و سازندگی. ۵۵(۳): ص ۶۸ – ۵۶ .

مظفری، م.، دانشیان، ج.، حبیبی، د.، شیرانی راد، ا. ح. و اصغرزاده، ا. ۱۳۹۴. بررسی اثر باکتری های محرک رشد گیاه بر برخی صفات مرفوفیزیولوژیکی گندم نان تحت شرایط تنش خشکی انتهایی. مجله علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۷(۲۶): ۳۶-۲۱.

نصری، م. و خلعتبری، م. ۱۳۹۵. اثر باکتری تیوباسیلوس و گوگرد بر عملکرد و ویژگی‌های بیوشیمیایی ذرت دانه‌ای (هیبرید ماکسیما) در شرایط کم‌آبیاری در منطقه ورامین. مجله علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۸(۲۹): ۱۰۳-۸۹.

Asea, P.E.A., Kucey, R.M.N., and Tewart, J.W.B. 2006. Inorganic phosphate solubilization by *Pseudomonas putida*. HortScience. 66: 141-146.

Barányiová, I., and Klem, K. 2016. Effect of application of growth regulators on the physiological and yield parameters of winter wheat under water deficit. Plant, Soil and Environment. 62: 114-120.

Benson, P. 2004. Wheat inoculation with *Azospirillum brasilense* and some mutants altered in nitrogen fixation and indole-3-acetic acid production. Microbiological Letters, 36:87-90.

Ben Amor, K., Vaughan, E.E., and De Vos, M. 2007. Advanced Molecular Tools for the Identification of Lactic Acid Bacteria. *Journal of Nutrition*. 137 (3): 741-747.

Bogdanov, M.F., and Bical, M.B. 1999. A carbon column based LCEG approach to routine 8-oH-dG measurements in biological matrices. Free Radicals Biology and Medicine. 27: 647-666.

Chance, B., and Maehly, A.C. 1995. Assay of catalase and peroxidase. In: Colowick, S. P. and Kaplan, N. D. (eds) Methods in Enzymology. Academic Press. New York, 2: 764-791.

Chaves, M.M., Maroco, J.P., and Pereira, J.S. 2003. Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant. Plant biology. 30: 239-264.

Dobbelaere, S., Croonenborgh, A., and Ptacek, A. 2002. Response of agronomically important crops to uptake by maize evaluated with an uptake mode. Soil Science Society of America Journal. 54: 1032-1036.

Foyer, C.H., and Noctor, G. 2003. Red ox sensing and signaling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. Physiologia Plantarum. 119: 355-364.

Galavi, M., Yosefi, K., and Ramrodi, M. 2011. Effect of bio-phosphate and chemical phosphorus fertilizer accompanied with foliar application of micronutrients on yield, quality and phosphorus and zinc concentration of maize. Journal of Agriculture Science. 3(4): 22-29.

Guo, Z., Ou, W., Lu, S., and Zhong, Q. 2006. Differential responses of ant oxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. Plant Physiology and Biochemistry. 44: 828-836.

Huang, C., Zhao, S., Wang, L., Anjum, A.S., Chen, M., Zhou, H., and Zou, C. 2013. Alteration in chlorophyll fluorescence, lipid peroxidation and antioxidant enzymes activities in hybrid ramie (*Boehmeria nivea* L.) under drought stress. Australian Journal of Crop Science. 7(5):594-599.

Hsiao, T.C. 2000. Leaf and root growth in relation to water status. Hortscience . 35 (6): 1051-1058.

Jiang, Y., and Huang, B. 2001. Effects of calcium on antioxidant activities and water relations associated with heat tolerance in two cool-season grasses. Journal of Experimental Botany. 52: 347-349.

Jin, J., Ningwei.S. H., Jinhe. B., and Junping, G. 2006. Regulation of ascorbate peroxidase at the transcript level is involved in tolerance to postharvest water deficit stress in the cut Rose (*Rose hybrida* L.) CV. Samantha. Physiologia Plantarum. 127: 155-165.

Lauer, J. 2003. What happen within the corn plant when drought occurs? Wisconsin Crop Manager .10(22): 225 – 228.

Lima, M.D.R., Barros, U.O., Barbosa, M.A.M., Segura, F.R., Silva, F.F., Batista, B.L., and Lobato, A.K.S. 2016. Silicon mitigates oxidative stress and has positive effects in *Eucalyptus platyphylla* under aluminum toxicity. Plant, Soil and Environment. 62: 164-170.

Li-Ping, B., Fang-Gong, S., Ti-Da, G., Zhao-Hui, S., Yin-Yan, L., and Guang-Sheng, Z. 2006. Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize. Pedosphere. 16: 326-332.

Mohammadi, K., and Sohrab, Y. 2012. Bacterial biofertilizers for sustainable crop production: a review,

Journal of Agriculture and Biology Science. 7(5): 307-316.

Noumavo, P.A., Kochoni, E., and Didagbé, Y.O. 2013. Effect of different plant growth promoting Rhizobacteria on maize seed germination and seedling development. American Journal of Plant Sciences. 4(5): 1013–1021.

Olsson, O., Olsson, P .A., and Hammer E.C. 2014. Phosphorus and carbon availability regulate structural composition and complexity of AM fungal mycelium. Mycorrhiza. 24: 443–451.

Oveysi, M., Mirhadi, M.J., Madani, H., Nourmohammadi, G., Zarghami, R., and Madani, A. 2010. The impact of source restriction on yield formation of corn (*Zea mays* L.) due to water deficiency. Plant Soil and Environment. 56(10): 476-481.

Pandey, R., and Agarwal, R.M. 2000. Water stress induced changes in proline contents and mitrate reductase activity in rice under light and dark conditions. Physiology and Molecular Biology of Plants. 4: 53 -57.

Quartacci, M.F., Pinzino, C., Sgherri, C.L.M., Dalla, F.V., and Navari, F.I. 2000. Growth in Excess Copper Induces Changes in the Lipid Composition and Fluidity of PSII-Enriched Membranes in Wheat. Physiologia Plantarum. 108, 87-93.

Selote, D., and Chopra, R.K. 2006. Drought acclimation confers oxidative stress tolerance by inducing co-ordinate antioxidant defense at cellular and sub cellular level in leaves of wheat seedlings. Physiologia Plantarum. 127: 494–506.

Song, F.B., and Dia, J.Y. 2000. Effect of drought stress on growth and development of female inflorescence and yield of maize .Journal of Jillian Agricultural university .22(1). 17-22.

Song, G., Chen, R., Xiang, W., Yang, F., Zheng, S., Zhang, J., Zhang, J., and Lin, X. 2015. Contrasting effects of long-term fertilization on the community of saprotrophic fungi and *Arbuscular mycorrhizal* fungi in a sandy loam soil. 61: 127-136.

Steven, A.K., and Joseph, M.H. 1978 . Lipid peroxidase in sample as measured by liquid chromatography separation. Interference testing in clinical chemistry. 32: 217-220.

Vivian, J., Szilagyi, Z., Ana, C., Klosowski, A.C., and Átila, F. 2015. Potential inoculants strains of Brazilian endophytic bacteria for maize (*Zea mays* L.) growth promotion. International Journal of Agronomy and Agricultural Research. 7(4): 128-134.