اثر باکتری تیوباسیلوس و گوگرد بر عملکرد و ویژگی‌های بیوشیمیایی ذرت دانه‌ای (هیبرید ماکسیما) در شرایط کم‌آبیاری در منطقه ورامین

محمد نصری*[۱] و منصوره خلعتبری[۲]

۱) گروه زراعت، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.
۲) گروه زراعت، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.

* نویسنده مسئول: Dr.nasri@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۴/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۲۱

چکیده

تنش کم‌آبی به‌عنوان عاملی مهم در کاهش عملکرد گیاهان زراعی مطرح است هم‌چنین باکتری اکسیدکننده گوگرد باعث افزایش تحمل گیاهان به‌ویژه ذرت نسبت به تنش‌های محیطی می‌شود. به‌منظور بررسی اثر باکتری زیستی تیوباسیلوس و گوگرد بر عملکرد و ویژگی‌های بیوشیمیایی ذرت دانه‌ای (*Zea mays L. Var Maxima*) در شرایط قطع آبیاری،تحقیقی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی شماره دو دانشگاه آزاد اسلامی ورامین در سال زراعی ۱۳۹۳ اجرا شد. تیمارهای این آزمایش شامل کم‌آبیاری در سه سطح به‌عنوان کرت اصلی: (شاهد (آبیاری معمول)، عدم آبیاری در مرحله گل‌دهی و عدم آبیاری در مرحله پرشدن دانه) و مصرف باکتری زیستی تیوباسیلوس و گوگرد در چهار سطح به‌عنوان کرت فرعی شامل: شاهد(بدون مصرف)، مصرف کودزیستی تیوباسیلوس به‌صورت اختلاط با بذر در هنگام کاشت، مصرف گوگرد و مصرف ترکیبی گوگرد و تیوباسیلوس. بر اساس آزمون خاک میزان توصیه شد، مصرف کود گوگرد ۲۵۰کیلوگرم در هکتار و مصرف کود زیستی تیوباسیلوس۵ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تمامی صفات مورد بررسی به‌جز بیومارکر دی‌هیدروکسی‌گوآنزین تحت اثر کم‌آبیاری و تیوباسیلوس قرارگرفتند. قطع آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه شد، هرچند مصرف گوگرد و تیوباسیلوس اثر منفی قطع آبیاری را کاهش داد، کم‌ترین میزان عملکرددانه از برهمکنش تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و عدم مصرف گوگرد و تیوباسیلوس (۴/۸۹۲ تن در هکتار) به‌دست آمد که نسبت به تیمار آبیاری معمول و مصرف توأم کود زیستی تیوباسیلوس و گوگرد، ۵۸/۲ درصد کاهش داشت. به‌کارگیری تیوباسیلوس و گوگرد در شرایط قطع آبیاری در مراحل حساس رشدی از اثرات منفی کم‌آبیاری بر عملکرد دانه کاست (۵۰ درصد).

واژه‌های کلیدی: ذرت، باکتری تیوباسیلوس و عملکرد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-27]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1395.8.29.6.6]

مقدمه

کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه خشک بوده و میانگین بارش سالیانه آن حدود یک سوم میانگین بارندگی جهانی است، بنابراین با تنش‌های خشکی متناوبی رو به رو می‌باشد (اکبری مقدم، ۱۳۹۱). کمبود آب با مختل نمودن ارتباط اندام مبداء و اندام مقصد برای فرآورده‌ها، بر جابجایی مواد به‌طور غیرمستقیم اثر می‌گذارد و اندازه دانه‌ها (اندام مقصد) کاهش می‌یابد (نصری و خلعتبری، ۱۳۹۱). کم‌آبیاری به‌شدت فعالیت‌های آنزیمی را کاهش می‌دهد. برای مثال این سازوکار در ذرت، موجب کاهش فعالیت آنزیم احیای‌کننده نیترات (نیترات ردوکتاز) نسبت به آنزیم اکسیدکننده(پراکسیداز) می‌شود (Kasraei *et al*., 2012). بر اساس نظر محققان در زمان بروز خشکی در گیاهان، بر تجمع ترکیب‌های آلی همانند پرولین در تمام اندام‌های گیاهان افزوده می‌شود (Lawlor and Cornic, 2002). تجمع پرولین در بافت‌های گیاهان تحت تنش می‌تواند تا حدودی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاهان فراهم سازد و تحمل گیاه را در برابر تنش افزایش دهد (Tayebi *et al*., 2012). تحقیقات نشان می‌دهد که اگر در شرایط تنش به کمک مواد ضد تنش یا بالابرنده تحمل گیاه، عناصرمعدنی و آب در اختیار گیاه قرار بگیرد، می‌توان این شرایط را تا حدودی بهبود بخشید (Nasri and Khalatbari, 2012). باکتری تیوباسیلوس یکی از این نوع راه‌کارها می‌باشد. باکتری‌های جنس تیوباسیلوس از مهم‌ترین و رایج‌ترین انواع باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد است و گوگرد موجود در خاک را به‌صورت So_4 قابل جذب برای گیاهان در می‌آورد (Ravichandra *et al*., 2007). این باکتری با اکسیدکردن گوگرد ضمن تأمین سولفات مورد نیاز گیاه، با کاهش اسیدیته خاک در اطراف ریشه‌ها باعث افزایش حلالیت عناصر ریزمغذی در خاک می‌شود هم‌چنین با افزایش دادن قابلیت جذب عناصرغذایی پرمصرف و ریزمغذی در خاک، به رشد بهتر گیاه کمک می‌کند. این کودآلی با فعال‌نمودن میکروب‌های مفید خاک، عمل اکسیداسیون بیولوژیکی را در خاک تسهیل کرده و ضریب تبادل‌کاتیونی بین خاک و گیاه را بالا می‌برد بدین ترتیب میزان عملکرد محصول را ۶۰-۳۰ درصد افزایش می‌دهد (Wang *et al*., 2003; Franz, 2003). در ضمن با افزایش حلالیت فسفر، مصرف کودهای فسفاتی را کاهش می‌دهد. پژوهشگران با بررسی مقادیر مختلف سولفات آمونیوم روی *Digitaria eriantha* نتیجه‌گرفتند که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان مصرف کودگوگرد و بیوماس تولیدی در دو هفته اول رشد این گیاه وجود دارد. آن‌ها ملاحظه نمودند که با افزایش مصرف گوگرد، غلظت گوگرد و پروتئین خام در برگ‌ها و عملکرد پروتئین خام در هکتار به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Isuwan *et al*, 2007). هم‌چنین Wang و همکاران (۲۰۰۳) اعلان داشتند که گوگرد همبستگی مستقیمی با رشد و افزایش عملکرد علوفه یونجه دارد، چرا که استفاده از کود گوگرد منجر به تحریک تولید پروتئین و کلروفیل در برگ‌ها می‌شود. در تحقیقات اخیر به اثر مفید تیوباسیلوس و گوگرد در چندین گونه گیاهی اشاره شده است، به‌ویژه در زمان بروز قطع آبیاری، با افزایش فعالیت

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-27]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1395.8.29.6.6]

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 آنتی‌اکسیداتیوی مانند پراکسیدازها، سوپراکسیددیسموتازها و کاتالازها صورت می‌گیرد (Gong *et al*., 2003; Guo *et al*., 2006). نتایج یک تحقیق نشان‌داد که در شرایط کم‌آبیاری فعالیت پراکسیداز به پایداری بیش‌تر غشای سلولی و کلروفیل منجر می‌شود، در حالی‌که فعالیت کاتالاز در شرایط کم‌آبیاری در ارقام مختلف ثابت بود و یا کاهش یافت و رابطه‌ای بین فعالیت کاتالاز و تحمل به خشکی مشاهده نشد (Guo *et al*., 2006). فعالیت این آنزیم‌ها می‌تواند در اثر تولید رادیکال‌های آزاد، افزایش و از طریق کاهش رادیکال‌های آزاد باشد. آبیاری بعد از اعمال قطع آبیاری، سبب کاهش فعالیت این آنزیم شد (Selote and Chopra, 2006). محققان افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز را در مطالعه اثر کم‌آبیاری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت ذرت، گزارش کردند کاربرد ۳۰کیلوگرم گوگرد در هکتار باعث افزایش رشد ریشه و تشکیل کلروفیل و در نتیجه افزایش فتوسنتز در ذرت در شرایط کم‌آبیاری گردید (Li-Ping *et al*., 2006; Reddappa Reddy, 2006). بنابراین با در نظر گرفتن خشکی‌های متعدد در ایران، این تحقیق به‌منظور بررسی کاهش اثرات منفی تنش قطع آبیاری بر عملکرد و ویژگی‌های بیوشیمیایی ذرت با مصرف گوگرد و تیوباسیلوس در منطقه ورامین صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی اثرات گوگرد و باکتری زیستی تیوباسیلوس (اکسیدکننده گوگرد) بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکرد ذرت دانه‌ای (*Zea mays var. Maxima*) در شرایط تنش قطع آبیاری انجام گرفت. این تحقیق به صورت کرت‌های خردشده (اسپلیت‌پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه پژوهشی شماره دو دانشگاه آزاد اسلامی ورامین- پیشوا واقع در قلعه سین در سه تکرار، در سال زراعی ۱۳۹۳ اجرا شد. سه سطح تنش کم‌آبیاری که کرت‌های اصلی را تشکیل دادند عبارت بودند از: شاهد (آبیاری معمول) (A_1)، عدم آبیاری در مرحله گل‌دهی (A_2) و عدم آبیاری در مرحله پرشدن دانه (A_3) و مصرف باکتری زیستی تیوباسیلوس و گوگرد در چهار سطح: شاهد (بدون مصرف) (B_1)، مصرف ۵ کیلوگرم کود زیستی تیوباسیلوس به‌صورت اختلاط با ۲۵ کیلوگرم بذر ذرت در هنگام کاشت (B_2)، مصرف گوگرد (گوگرد گرانوله حاوی بنتونیت) بر اساس توصیه بروشور مصرف کود ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار (B_3) و مصرف توأم کود زیستی تیوباسیلوس و گوگرد (B_4) در کرت‌های فرعی قرارگرفتند. کودهای پرمصرف بر اساس توصیه آزمون خاک مصرف شد. تمام کود فسفره و یک سوم کود نیتروژن در زمان کاشت و الباقی کود نیتروژنه به‌صورت دو بار سرک در زمان محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف، مورد استفاده قرار گرفت. محلول‌پاشی تیمارها در دو مرحله اوایل ساقه رفتن (مرحله هفت

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-27]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1395.8.29.6.6]

تا نه برگی) و ابتدای مرحله گل‌دهی (شروع تا سل‌دهی) انجام شد. هر تکرار شامل ۱۲ تیمار و هر تیمار شامل شش خط کاشت به‌طول پنج متر و عرض چهار و نیم متر و فاصله بوته‌ها در هر روی ردیف۲۰ سانتی‌متر و بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. خطوط یک و شش و نیم متر از هر طرف به‌عنوان حاشیه خط دو برای سطح نمونه‌برداری خط سه به عنوان حاشیه عملکرد و خطوط چهار و پنج به مساحت هفت و نیم مترمربع جهت مساحت برداشت بود. در طول دوره رشد مراقبت‌های زراعی لازم اجرا شد. قبل از کاشت در فروردین آماده‌سازی زمین شامل شخم و دیسک انجام گرفت و کشت در هفته اول اردیبهشت ماه ۱۳۹۳ انجام شد. کود گوگرد و باکتری تیوباسیلوس در تیمارهای مورد نظر هم‌زمان در هنگام کاشت به‌خاک افزوده شد. پس از هر دوره اعمال تنش میزان پرولین برگ از روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲) با اسپکتوفتومتر با طول موج ۵۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز از عصاره پروتئینی استخراج شده از روش Chance و Maehly (۱۹۹۵) استفاده شد. سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز به‌روش Mac-Adam و همکاران (۱۹۹۲) صورت‌گرفت. اندازه‌گیری سوپراکسیدازدیسموتاز به روش Misra و Fridovich (۱۹۷۲) انجام شد. برای سنجش بیومارکر تخریب مالون‌دی‌آلدئید و دی‌تیزوزین از روش کروماتوگرافی HPLC بر اساس روش Steven (۱۹۷۸) استفاده گردید. سنجش دی‌هیدروکسی‌گوانوزین بر اساس روش Bogdanov و Bical (۱۹۹۹) انجام شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از مساحت برداشت در هر تیمار بوته‌ها چیده شده و پس از رسیدن به رطوبت ۱۴ درصد جداسازی دانه‌ها از بلال‌ها انجام شد و پس از توزین، به هکتار تعمیم داده شد. در پایان آزمایش، نتایج هریک از تیمارها بعد از تعمیم دادن به هکتار به کمک نرم‌افزار رایانه‌ای SAS تجزیه واریانس شده و مقایسه میانگین داده‌ها با کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح یک و پنج درصد صورت‌گرفت.

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک محل آزمایش

اسیدیته	رس (درصد) هیدرومتر	لای (درصد) هیدرومتر	ماسه (درصد) هیدرومتر	نیتروژن (درصد) کجلدال	کلسیم (میلی‌گرم در لیتر) تیتراسیون	پتاسیم (پی‌پی‌ام) فلیم (فتومتر)	فسفر (پی‌پی‌ام) اسپکتوفتومتر	آهن (پی‌پی‌ام) اتمیک	روی (پی‌پی‌ام) اتمیک	نوع آزمایش
۷/۷۸	۲۲	۳۵	۴۲	۰/۰۶	۱۰	۴۰۶/۶	۱۲/۸	۳/۴۴	۰/۵۶	نتایج

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه تحت اثر قطع آبیاری و کودزیستی تیوباسیلوس و گوگرد و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت و اختلافات به وجود آمده از نظر آماری در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار شد(جدول ۲). قطع آبیاری باعث عملکرد دانه شد؛ ولی مصرف توأمان تیوباسیلوس و گوگرد در شرایط تنش از کاهش عملکرد جلوگیری نمود،

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-27]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1395.8.29.6.6]

بالاترین میزان عملکرد دانه از تیمار آبیاری معمول و مصرف هم‌زمان تیوباسیلوس و گوگرد با میانگین ۱۱/۶۹۷ تن در هکتار به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارهای آبیاری معمول و سطوح شاهد و مصرف گوگرد نداشت ولی تنش در مرحله گل‌دهی و عدم مصرف گوگرد با کاهش ۵۸ درصدی کم‌ترین میزان عملکرد دانه را تولید نمود. اما میزان عملکرد دانه در تیمار قطع آبیاری مرحله گل‌دهی نشان داد مصرف کود زیستی و گوگرد توانست به‌طور معنی‌داری مانع کاهش عملکرد دانه نسبت به سایر تیمارها در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی شد، به‌طوری‌که عملکرد تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و مصرف توأمان کود زیستی تیوباسیلوس و گوگرد نسبت به تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و عدم مصرف به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و از ۴/۸۹۲ تن در هکتار در کم‌ترین میزان به ۹/۸۷۶ تن در هکتار رسید که افزایش ۵۰ درصدی نشان داد. کم‌آبیاری موجب کاهش سرعت فتوسنتز و تعرق در بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌شود. شواهد بیانگر آن است قطع آبیاری در مرحله رشدی خاص، اثر مستقیم بر بیوشیمی کلروپلاست نظیر کاهش فعالیت فتوسیستم I و II بازدارندگی سیکل کالوین و کاهش فسفوریلاسیون نوری دارد (Wajid *et al*., 2007). این عامل باعث کاهش آسیمیلاسیون‌های تولیدی و کاهش عملکرد می‌شود ولی کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس با آزادسازی عناصر معدنی مورد نیاز در شرایط تنش میزان کلروفیل برگ را افزایش داده و مانع کاهش شدید عملکرد دانه می‌شود (Orman and Kaplan, 2007) که این مساله در تیمار (A_2*B_4) مشهود است که نسبت به تیمار آبیاری معمول و مصرف توأمان تیوباسیلوس و گوگرد، فقط ۱۵ درصد کاهش عملکرد داشت (جدول ۳).

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه، پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و بیو مارکر تخریب در شرایط کم‌آبیاری و مصرف تیوباسیلوس

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرددانه	پرولین	سوپراکسیددیسموتاز	کاتالاز	گلوتاتیون پراکسیداز
تکرار	۲	۷۲۲۳۴۴۹/۹^{ns}	۳۲/۴۳^{ns}	۰/۲۵^{ns}	۰/۳۰^{ns}	۰/۰۰۸۱^{ns}
تنش خشکی	۲	۴۰۴۹۳۹۸۹/۲*	۷۶/۴۳*	۰/۸۹*	۰/۶۶*	۰/۰۱۱۴*
خطای اصلی	۴	۷۸۲۲۳۳۳/۳	۱۵/۳۱	۰/۱۴	۰/۱۰۱	۰/۰۰۲۱
گوگرد و تیوباسیلوس	۳	۲۷۰۷۹۲۲۲/۳*	۷۱/۶۵*	۱۱/۲۵**	۰/۹۹۰*	۰/۰۰۶۰*
تنش× گوگرد و تیوباسیلوس	۶	۱۳۹۴۵۳۰۰۱/۵**	۹۴۵/۲۰**	۴/۵۳**	۲۹/۴۸**	۰/۰۰۶۹*
خطای فرعی	۱۸	۴۵۳۰۸۷۱/۶	۱۰/۸۳	۰/۰۰۲۸	۰/۱۴۵	۰/۰۰۰۱۱
ضریب تغییرات (درصد)		۱۷/۱۱	۴/۳۲	۴/۲۵	۳/۹۰	۴/۱۸

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ادامه جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس بیومارکرهای تخریب در شرایط کم‌آبیاری و مصرف تیوباسیلوس

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		دی تیروزین	دی‌هیدروکسی‌گوانوزین	مالون‌دی‌آلدئید
تکرار	۲	۳/۲۵^{ns}	۰/۰۳۹۰۰*	۰/۱۲*
تنش خشکی	۲	۷/۴۴*	۰/۰۱۸۰^{ns}	۰/۱۱*
خطای اصلی	۴	۱/۰۵	۰/۰۰۶۵	۰/۰۲۰
گوگرد و تیوباسیلوس	۳	۰/۸۴*	۰/۰۰۶۳^{ns}	۷/۰۶**
تنش× گوگرد و تیوباسیلوس	۶	۱۱۴/۸۳**	۷/۴۹۰۰**	۲/۴۹**
خطای فرعی	۱۸	۰/۱۲	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۸۸
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۰۱	۴/۳۷۰۰	۵/۰۶

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-27]

[DOR: 20.1001.1.20084403.1395.8.29.6.6]

پرولین

پرولین برگ تحت تیمار کم‌آبیاری و تیوباسیلوس ($p<۰/۰۵$) و برهمکنش تیمارهای مورد بررسی ($p<۰/۰۱$) قرار گرفت (جدول ۲). پرولین برگ تحت اثر تنش کم‌آبی افزایش یافت و بیش‌ترین میزان پرولین برگ از تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و عدم مصرف گوگرد با ۱/۱۲۱ میکروگرم بر گرم وزن تازه به‌دست آمد که با تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. پرولین نقش حفاظت از آنزیم کربوکسیلاز و ساختار سلولی را بر عهده دارد. تجمع پرولین تحت شرایط تنش ممکن است به دلیل کاهش اکسیداسیون پرولین یا تحریک سنتز آن از گلوتامات یا افزایش فعالیت آنزیم پروتئاز باشد به همین خاطردر شرایط تنش در سلول انباشت می‌شود (نصری و خلعتبری، ۱۳۹۱؛ Sharma and Kuhad, 2006). در این تحقیق مصرف گوگرد و تیوباسیلوس باعث افزایش تحمل گیاه ذرت به کم‌آبیاری شد و میزان پرولین برگ کاهش یافت، هنگامی که گیاهان تحت اثر شرایط خشکی، شوری، دماهای کم، قرار می‌گیرند، مقدار پرولین آزاد آن‌ها افزایش می‌یابد (حسنی و حیدری‌شریف آباد،۱۳۸۲). کاهش پرولین در واقع شاخصی برای کاهش اثرات منفی کم‌آبی می‌باشد. به همین دلیل کم‌ترین میزان پرولین برگ از تیمار آبیاری معمول و مصرف توأمان تیوباسیلوس و گوگرد با متوسط ۰/۴۰۲ میکروگرم بر گرم وزن تازه حاصل شد. با مصرف توأمان گوگرد و تیوباسیلوس در شرایط تنش، به دلیل استحکام ساختمان سلولی و جلوگیری از تخریب آنزیم‌ها و پاکسازی هیدروکسیل‌ها در واقع اثرات منفی تنش کاهش داشت و از میزان پرولین کاسته شد، شکستن سریع پرولین بعد از پایان یافتن شرایط تنش، ممکن است خود تأمین‌کننده عوامل مورد نیاز برای فسفوریلاسیون اکسیداتیو میتوکندریایی و تولید ATP ترمیم صدمات ناشی از تنش باشد. نقش ویژه پرولین درگیاهانی که در معرض خشکی قرار گرفته‌اند، به اثبات رسیده است (نصری و خلعتبری، ۱۳۹۱). به نظر می‌رسد که تیوباسیلوس با فراهمی آب و عناصر معدنی مورد نیاز گیاه و افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیدکننده و بالابردن محتوای اسمولیت‌ها نقش مهمی در افزایش تحمل به کم‌آبیاری دارد (Gong *et al.*, 2003)؛ که در این تحقیق در تیمارهای قطع آبیاری و مصرف توأمان گوگرد و تیوباسیلوس مشهود است (جدول ۴).

جدول ۳: مقایسه میانگین اثرات اصلی عملکرد دانه، پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت تخریب در شرایط کم‌آبیاری و مصرف تیوباسیلوس و گوگرد

تیمار	عملکرد دانه ($ton.ha^{-1}$)	پرولین ($\mu g.g^{-1}$ FW)	سوپراکسیددیسموتاز ($u\ mg\ protein^{-1}$)	کاتالاز ($u\ mg\ protein^{-1}$)	گلوتاتیون پراکسیداز ($u\ mg\ protein^{-1}$)
آبیاری معمول (A_1)	۱۱/۴۷۳a	۰/۴۴۷b	۷/۷۴b	۲۳/۸۵b	۹/۷۳b
عدم آبیاری در مرحله گل‌دهی (A_2)	۷/۱۲۹b	۰/۷۰۴a	۱۳/۰۰a	۳۳/۷۹a	۱۶/۴۲a
عدم آبیاری در مرحله پرشدن دانه (A_3)	۷/۷۳۹b	۰/۶۵۹a	۱۲/۱۴a	۳۲/۰۵a	۱۴/۳۹a
شاهد (بدون مصرف) (B_1)	۷/۲۶۴b	۰/۹۲۲a	۱۳/۶۲a	۴۷/۴۹a	۲۰/۱۲a
کودزیستی تیوباسیلوس (B_2)	۸/۷۳۹b	۰/۵۲۰b	۱۰/۵۳a	۲۶/۵۹b	۱۱/۵۷b
گوگرد (B_3)	۸/۴۵۲b	۰/۵۴۵b	۱۱/۱۱a	۲۹/۱۹b	۱۳/۱۹b
تیوباسیلوس + گوگرد (B_4)	۱۰/۶۶۶a	۰/۴۲۷b	۸/۴۰c	۱۶/۳۲c	۹/۷۸b

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-27]

[DOR: 20.1001.1.20084403.1395.8.29.6.6]

ادامه جدول ۳: مقایسه میانگین اثرات اصلی بیومارکر تخریب در شرایط کم‌آبیاری و مصرف تیوباسیلوس و گوگرد.

تیمار	دی تیروزین (ηmol. mg protein^{-1})	دی‌هیدروکسی‌گوآنوزین (ηmol. mg protein^{-1})	مالون‌دی‌آلدئید (ηmol. mg protein^{-1})
آبیاری معمول (A_1)	۹/۷b	۷/۴۷a	۱۱/۰۷b
عدم آبیاری در مرحله گل‌دهی (A_2)	۱۷/۴۴a	۸/۳۷a	۲۶/۱۰a
عدم آبیاری در مرحله پرشدن دانه (A_3)	۱۴/۳۳a	۸/۲۸a	۲۲/۸۵a
شاهد (بدون مصرف) (B_1)	۲۳/۴۸a	۸/۷۷a	۳۵/۴۰a
کودزیستی تیوباسیلوس (B_2)	۱۰/۶۳b	۷/۸۳a	۱۵/۶۸b
گوگرد (B_3)	۱۱/۳۹b	۸/۱۱a	۱۷/۵۰b
تیوباسیلوس + گوگرد (B_4)	۹/۸۱b	۷/۴۶a	۱۱/۴۶b

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

سوپراکسیددیسموتاز

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر تیمارکم‌آبیاری و تیمار مصرف تیوباسیلوس و گوگرد و برهمکنش آن‌ها به ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). هر چند کم‌آبیاری باعث افزایش سوپراکسیددیسموتاز شد ولی کاربرد توأمان تیوباسیلوس و گوگرد از میزان آنزیم سوپراکسیددیسموتاز کاست(جدول ۳). بیش‌ترین میزان آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (SOD) از تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و شاهد با ۱۷/۶۳ u mg protein^{-1} به‌دست آمد که با تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج نشان داد که مصرف توأمان کود زیستی و گوگرد در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی از میزان آنزیم SOD به‌شدت کاست، کم‌شدن این آنزیم نشان‌دهنده کاهش اثرات مخرب تنش خشکی در حضور عناصر معدنی است. به نظر می‌رسد تیوباسیلوس با اکسیدکردن گوگرد ضمن تأمین سولفات مورد نیاز گیاه، با کاهش اسیدیته خاک در اطراف ریشه‌ها باعث افزایش حلالیت عناصر ریزمغذی در خاک شد و با افزایش‌دادن قابلیت جذب عناصر غذایی پرمصرف و ریزمغذی در خاک، به رشد بهتر گیاه کمک نمود، هم‌چنین باعث جذب آب توسط ریشه و انتقال آن به سیتوپلاسم اندام‌های هوایی گردید، این کودزیستی با فعال نمودن میکروب‌های مفید خاک، عمل اکسیداسیون بیولوژیکی را در خاک تسهیل کرد و ضریب تبادل‌کاتیونی بین خاک و گیاه را بالا برد، بدین ترتیب اثر منفی تنش را کاهش داد (Wang *et al*., 2003; Franz, 2003). کم‌ترین میزان سوپراکسیددیسموتاز از تیمار آبیاری معمول و مصرف توأمان گوگرد و تیوباسیلوس با متوسط ۷/۵۸u mg protein^{-1} به دست آمد (جدول ۴). تنش خشکی باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم SOD در تمامی مراحل مورد بررسی شد و این موضوع با تحقیقات دیگر محققان هم‌خوانی دارد. اثر تنش خشکی بر افزایش مقدار آنزیم SOD بر روی گیاه لوبیای گرگی (Lupine) مورد بررسی قرار گرفت (Yu and Rengel, 2009). هم‌چنین مقدار SOD در ساقه و ریشه ذرت در شرایط تنش خشکی افزایش یافت (Bakalova *et al*., 2004). علت افزایش مقدار آنزیم SOD را می‌توان به دلیل نقش مهمی که در جاروب کردن رادیکال اکسیژن آزاد و محصولات حاصل از پراکسیداسیون لیپیدها در شرایط کم‌آبی دارد، دانست، در

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-27]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1395.8.29.6.6]

واقع افزایش مقدار آنزیم SOD به علت ایجاد یک محیط حفاظتی مناسب برای سلول‌ها می‌باشد (Nasri and Khalatbari, 2015). در این پژوهش بین آنزیم سوپراکسیددیسموتاز و آنزیم‌های کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. اما همبستگی بین آنزیم سوپراکسیددیسموتاز و عملکرد منفی بود، به‌طوری‌که افزایش عملکرد سبب کاهش فعالیت این آنزیم شد زیرا در شرایط کم‌آبیاری، مسلماً عملکرد کاهش یافت و این زمانی است که میزان فعالیت این آنزیم جهت مبارزه با تنش افزایش می‌یابد در حالی‌که در شرایط معمول که میزان عملکرد افزایش نشان می‌دهد میزان فعالیت این آنزیم کاهش پیدا می‌کند.

کاتالاز

جدول تجزیه واریانس نشان داد که کم‌آبیاری و مصرف تیوباسیلوس ($p<۰/۰۵$) و برهمکنش تیمارها ($p<۰/۰۵$) بر کاتالاز معنی‌دار شد (جدول ۲). تنش خشکی باعث افزایش میزان کاتالاز شد ولی بر میزان فعالیت آن تاثیرمعنی‌داری نداشت (Nasri and Khalatbari, 2012). نتایج جدول ۴ نشان داد که بیش‌ترین میزان آنزیم CAT از تیمار تنش در مرحله گل‌دهی و شاهد با میانگین $u\ mg\ protein^{-1}$ ۵۷/۶۲ حاصل شد، با مصرف توأمان کود زیستی تیوباسیلوس و گوگرد در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی میزان این آنزیم به $u\ mg\ protein^{-1}$ ۱۹/۰۴ تقلیل یافت. هر چند کم‌ترین میزان کاتالاز $u\ mg\ protein^{-1}$ ۱۲/۰۳ از تیمار آبیاری معمول و مصرف توأمان کود زیستی و گوگرد به‌دست آمد که قابل انتظار بود (جدول ۴). تنش‌های محیطی مختلف سبب پاسخ‌های سلولی و مولکولی گیاه می‌شوند. این تنش‌ها سبب به راه افتادن زنجیره‌ای از سیگنال‌های تنشی می‌شوند (Beck *et al.*, 2007). محققان اظهارداشتند که فعالیت بیش‌تر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در رقم مقاوم باعث حذف ترکیبات اکسیداسیونی و سطوح کم‌تر نشت یونی از غشای سلولی تحت تنش شد (Gue *et al.*, 2006). کاتالاز در تمام سلول‌های گیاهی یافت می‌شود و سلول‌های گیاهی را از سمیت پراکسید هیدروژن که در نتیجه فعالیت متابولیکی سلول تولید می‌شوند، حفظ می‌کند. یک مولکول از کاتالاز قادر است در یک ثانیه یک میلیون از H_2O_2 را به آب و اکسیژن تبدیل کند، pH مناسب برای فعالیت آن هفت و دمای مناسب برای آن درگونه‌های مختلف گیاهی متفاوت است. وجود این آنزیم برای حذف H_2O_2 که در نتیجه تنفس نوری به وجود آمده است، لازم و ضروری است (Luna *et al.*, 2005). هر چند نتایج تحقیقات حیدری و همکاران (۱۳۸۴) نشان داد که مصرف کود گوگرد باعث افزایش آنزیم کاتالاز تحت شرایط تنش خشکی می‌شود، که با نتایج حاصله در این تحقیق مغایرت داشت با افزایش سطح گوگرد میزان آنزیم کاتالاز کاهش یافت، چنین به نظر می‌رسد که وجود تیوباسیلوس و آزادسازی گوگرد و فسفر باعث ایجاد ماکرومولکول‌ها شده که در شرایط تنش شکسته شده و آب درون سیتوپلاسمی را تهیه می‌کنند که در نتایج سایر محققان نیز مشهود است (Li-Ping *et al.*, 2006).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-27]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1395.8.29.6.6]

جدول ۴: مقایسه میانگین برهمکنش عملکرد دانه، پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در شرایط کم‌آبیاری و مصرف تیوباسیلوس و گوگرد خاک پاش

تیمار	عملکرد دانه (ton.ha^{-1})	پرولین (µg.g^{-1} FW)	سوپراکسیددیسموتاز (u mg protein^{-1})	کاتالاز (u mg protein^{-1})	گلوتاتیون پراکسیداز (u mg protein^{-1})
A_1*B_1	۱۱/۲۶۵a	۰/۵۳۲bc	۸/۰۶de	۳۶/۲۸c	۱۱/۳۶bc
A_1*B_2	۱۱/۴۷۳a	۰/۴۲۱de	۷/۶۳e	۲۱/۶۵de	۹/۲۸cd
A_1*B_3	۱۱/۴۵۸a	۰/۴۳۴cd	۷/۷۱e	۲۵/۴۶de	۱۰/۱۷bc
A_1*B_4	۱۱/۶۹۷a	۰/۴۰۲e	۷/۵۸e	۱۲/۰۳f	۸/۱۲d
A_2*B_1	۴/۸۹۲e	۱/۱۲۱a	۱۷/۶۳a	۵۷/۶۲a	۲۴/۸۹a
A_2*B_2	۷/۲۰۳cd	۰/۶۰۴b	۱۲/۶۴bc	۲۷/۸۶d	۱۴/۱۶b
A_2*B_3	۶/۵۴۶d	۰/۶۵۲b	۱۳/۴۷b	۳۰/۶۵cd	۱۶/۲۸b
A_2*B_4	۹/۸۷۶b	۰/۴۴۲cd	۸/۲۷de	۱۹/۰۴e	۱۰/۳۶bc
A_3*B_1	۵/۶۳۷de	۱/۱۱۵a	۱۵/۱۷a	۴۸/۵۷b	۲۴/۱۱a
A_3*B_2	۷/۵۴۱c	۰/۵۳۶bc	۱۱/۳۱cd	۳۰/۲۶cd	۱۱/۲۸bc
A_3*B_3	۷/۳۵۲c	۰/۵۵۱bc	۱۲/۷۲bc	۳۱/۴۷cd	۱۳/۱۲b
A_3*B_4	۱۰/۴۲۷b	۱/۴۳۷cd	۹/۳۶d	۱۷/۸۹e	۹/۰۷cd

آبیاری معمول (A_1)، عدم آبیاری در مرحله گل‌دهی (A_2)، عدم آبیاری در مرحله پرشدن دانه (A_3)، شاهد (بدون مصرف) (B_1)، کود زیستی تیوباسیلوس (B_2)، گوگرد (B_3)، تیوباسیلوس + گوگرد (B_4). میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

ادامه جدول ۴: مقایسه میانگین برهمکنش بیومارکرهای تخریب در شرایط کم‌آبیاری و مصرف تیوباسیلوس و گوگرد خاک پاش

تیمار	دی تیروزین (ηmol. mg protein^{-1})	دی‌هیدروکسی‌گوآنوزین (ηmol. mg protein^{-1})	مالون‌دی‌آلدئید (ηmol. mg protein^{-1})
A_1*B_1	۱۱/۰۶cde	۸/۰۵bc	۱۳/۲۷c
A_1*B_2	۹/۲۶e	۷/۲۸cd	۱۰/۳۲d
A_1*B_3	۹/۳۲e	۷/۵۴bcd	۱۰/۴۴d
A_1*B_4	۹/۱۷e	۷/۰۲d	۱۰/۲۷d
A_2*B_1	۳۲/۶۵a	۹/۲۷a	۴۸/۶۷a
A_2*B_2	۱۲/۴۷cd	۸/۱۸bc	۲۰/۴۶b
A_2*B_3	۱۳/۸۲c	۸/۳۶b	۲۲/۶۵b
A_2*B_4	۱۰/۸۲de	۷/۶۹ bcd	۱۲/۶۲cd
A_3*B_1	۲۶/۷۲b	۹/۰۱a	۴۴/۲۷a
A_3*B_2	۱۰/۱۷de	۸/۰۴bc	۱۶/۲۷bc
A_3*B_3	۱۱/۰۲cde	۸/۴۲b	۱۹/۳۹b
A_3*B_4	۹/۴۳e	۷/۶۶bcd	۱۱/۴۸cd

آبیاری معمول (A_1)، عدم آبیاری در مرحله گل‌دهی (A_2)، عدم آبیاری در مرحله پرشدن دانه (A_3)، شاهد (بدون مصرف) (B_1)، کود زیستی تیوباسیلوس (B_2)، گوگرد (B_3)، تیوباسیلوس + گوگرد (B_4). میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی‌داری در آزمون دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

گلوتاتیون پراکسیداز

گلوتاتیون پراکسیداز تحت تأثیر اثر ساده و برهمکنش تیمار کم‌آبیاری و تیمار مصرف تیوباسیلوس ($p<۰/۰۵$) قرار گرفت (جدول ۲). پراکسیداز تحت شرایط کم‌آبیاری و عدم مصرف تیوباسیلیوس و گوگرد افزایش داشت در واقع افزایش پراکسیداز در زمان تنش می‌تواند نتیجه واکنش به پراکسیداسیون غشاهای پروتوپلاسمی باشد. مصرف گوگرد و تیوباسیلوس در شرایط تنش ملایم و تنش شدید خشکی، تا حدودی باعث کاهش پراکسیداز است (جدول ۳)؛ که با نتایج

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-27]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1395.8.29.6.6]

حیدری و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت داشت. تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و شاهد با ۲۴/۸۹u mg protein^{-1} بیش‌ترین مقدار را به‌دست آورد که اختلاف معنی‌داری با تیمار تنش در مرحله پرشدن دانه و شاهد نداشت. نتایج نشان داد که با مصرف توأمان کود زیستی تیوباسیلوس و گوگرد در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی از میزان آنزیم GPX به‌شدت کاسته شد و به ۱۰/۳۶ u mg protein^{-1} رسید. تیوباسیلوس و بالطبع آن گوگرد با حفاظت از کلروفیل در شرایط تنش و ساخت ویتامین‌های تیامین و بیوتین، گلوتاتیون و کوآنزیم آ، فرودوکسین (احیاکننده سولفات و نیترات)، دخالت داشته و باعث افزایش تحمل ذرت به کم‌آبیاری گردید و از تجمع نیترات در بافت‌ها جلوگیری نمود (Besharaty *et al*., 2002). این عامل باعث افزایش میزان آسیمیلاسیون و ماکرومولکول‌ها در شرایط تنش شد و اثرات منفی آن را خنثی کرد. مطالعات نشان می‌دهد که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در پاسخ به شرایط تنش مشخص می‌کند که آن‌ها نقش مهمی در محافظت از آسیب‌های سمی ROS دارند (Huang *et al*., 2013). پژوهشگران در مطالعه اثر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز را گزارش کردند (Li-Ping *et al*., 2006). در پژوهش حاضر تنش خشکی باعث افزایش آنزیم GPX شد، چرا که تنش خشکی سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو می‌شود و GPX نیز عامل حذف H_2O_2 می‌باشد. بنابراین افزایش فعالیت این آنزیم، نشان‌دهنده تجمع H_2O_2 در شرایط تنش خشکی است. تحقیقات نشان داد فعالیت GPX در برگ‌های بالغ در اثر تنش خشکی تا ۳ برابر نسبت به شاهد افزایش یافت (Hong and Ji- Yun, 2007). بر اساس نتایج حاصل، در زمان بروز کم‌آبیاری با مصرف توأمان کود زیستی نتیوباسیلوس و گوگرد، با دسترسی گیاه به عناصرمعدنی و آب و کاهش میزان H_2O_2 در سلول و افزایش پایداری غشای ستوپلاسمی از میزان آنزیم پراکسیداز کاسته شد و به حالت طبیعی گیاه نزدیک گشت.

دی‌تروزین

رادیکال‌های آزاد اکسیژن به پروتئین‌ها حمله کرده و باعث تغییرات جزئی در مکان‌های مخصوص اسیدهای آمینه، تجزیه زنجیره پپتیدی می‌شوند (توحیدی مقدم، ۱۳۸۸). دی‌تیروزین تحت اثر تیمار کم‌آبیاری و تیمار مصرف تیوباسیلوس و گوگرد ($p<۰/۰۵$) و برهمکنش تیمارها ($p<۰/۰۱$) قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین میزان DT از تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و شاهد با ۲۴/۸۹ ηmol. mg protein^{-1} حاصل شد که با مصرف توأمان گوگرد و تیوباسیلوس در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی از میزان دی‌تیروزین به شدت کاست که این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار بود و به ۱۰/۸۲ ηmol. mg protein^{-1} رسید. حساسیت اسیدهای آمینه یک پپتید به حمله اکسایشی متفاوت است و فرم‌های گوناگون اکسیژن فعال‌شده از نظر پتانسیل واکنش‌پذیری، با یکدیگر فرق می‌کنند (قربانی‌قوژدی، ۱۳۸۴). نتایج به‌دست آمده نشان‌گر اثرات تخریبی تنش خشکی بر پروتئین بود، در واقع رادیکال‌های آزاد تولید شده با از بین بردن لایه پروتئینی

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-27]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1395.8.29.6.6]

دیواره سلولی باعث تراوش مواد بیش‌تری به خارج از سلول شده و با بالا رفتن هدایت الکتریکی به مرور مرگ سلول را فراهم گشت ولی با کاربرد تیوباسیلوس در تیمارهایی که قطع آبیاری در آن‌ها رخ داد، از میزان خسارات وارده به گیاه کاسته شد. کم‌ترین میزان دی‌تیروزین از تیمار آبیاری‌معمول و مصرف توأمان کود زیستی تیوباسیلوس و گوگرد با ۹/۲۷ ηmol. mg protein^{-1} حاصل شد. به نظر می‌رسد وجود بیومارکر تخریب دی تیروزین در گیاه در شرایط آبیاری و در حضور تیوباسیلوس و گوگرد مبین این موضوع است که گیاهان در مجموعه ای از شرایط محیطی به سر می‌برند و این میزان از بیومارکرهای تخریب ناشی از تنش‌های دیگری از قبیل درجه حرارت، باد و ... می‌باشد.

میزان بیومارکر تخریبی DNA دی‌هیدروکسی‌گوآنوزین

برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس در شرایط تنش خشکی بر دی‌هیدروکسی‌گوآنوزین ($p<۰/۰۵$) معنی‌دار بود (جدول ۲). اما دی‌هیدروکسی‌گوآنوزین تحت اثر تیمار مصرف تیوباسیلوس و کم‌آبیاری قرارنگرفت (جدول ۲). بالاترین میزان دی‌هیدروکسی‌گوآنوزین از تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و شاهد با میانگین ۲۴/۸۹ ηmol. mg protein^{-1} حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار تنش در مرحله پرشدن دانه و شاهد نداشت و کم‌ترین میزان دی‌هیدروکسی‌گوآنوزین به تیمار آبیاری معمول و مصرف توأمان کود زیستی تیوباسیلوس و گوگرد با میانگین ۹/۲۷ ηmol. mg protein^{-1} اختصاص داشت، در تیمارهای قطع آبیاری، میزان بیومارکر تخریب دی‌هیدروکسی‌گوانوزین افزایش داشت، ولی با مصرف توأمان کود زیستی تیوباسیلوس و گوگرد، از اثرات منفی تا حدود زیادی کاسته شد و میزان بیومارکرهای تخریب حتی در شرایط بروز کم‌آبی کاهش یافت (جدول ۴). کم‌آبیاری می‌تواند منجر به تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول‌ها گردد و به‌طور مستقیم به غشای چربی‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک صدمه زده و با غیر فعال‌نمودن فعالیت آنزیم‌های متابولیکی منجر به مرگ‌سلولی شوند (Ben Amor *et al*., 2007). نسبت بین آنزیم‌هایی نظیر سوپراکسیددیسموتاز و اسیداسکوربات با بیومارکرهایی مانند مالون‌دی‌آلدئید، دی‌هیدروکسی‌گوانوزین 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 آنتی‌اکسیدانت و بیومارکرهای تخریب دی‌هیدروکسی‌گوآنوزین همبستگی منفی وجود دارد یعنی با افزایش دی‌هیدروکسی‌گوآنوزین در شرایط تنش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاهش یافته که باعث افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود در نتیجه بیومارکرهای تخریب که رابطه مستقیمی با رادیکال‌های آزاد اکسیژن دارند افزایش می‌یابند (Chaves *et al*., 2003). اگرچه این نتایج با نتایج این تحقیق مغایرت داشت، بررسی‌های انجام شده بر گیاه *Rose hybrida* L. نشان داد که غلظت دی‌هیدروکسی‌گوانوزین در خلال تنش خشکی پس از ۲۴ ساعت افزایش یافته ولی بلافاصله پس از دسترسی گیاه به آب و کاهش تنش، میزان این ماده کاهش یافت (Jin. *et al*., 2006).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-27]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1395.8.29.6.6]

میزان بیومارکر تخریبی لیپید (مالون‌دی‌آلدئید)

نتایج نشان داد که تیمار کم‌آبیاری و مصرف تیوباسیلوس و گوگرد ($p<۰/۰۵$) و برهمکنش تیمارها ($p<۰/۰۱$) بر مالون‌دی‌آلدئید از لحاظ آماری معنی‌داری داشت (جدول ۲). بالاترین میزان تخریب لیپیدی از تیمار مرحله گل‌دهی و شاهد با ۴۸/۶۷ $\eta mol.\ mg\ protein^{-1}$ به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه و شاهد نداشت، تنش اکسیداتیو منجر به آسیب بافتی می‌شود. تنش اکسیداتیو می‌تواند منجر به ممانعت فتوسنتز و فرآیند تنفس و رشد گیاه شود (Foyer and Noctor, 2003). هنگامی که تنش اکسیداتیو رخ می‌دهد پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع لیپیدها افزایش می‌یابد و در اثر حمله‌ی رادیکال‌های آزاد به لیپیدها، آلدئیدهای گوناگونی از جمله مالون‌دی‌آلدئید ایجاد می‌شود (Quartacci *et al.*, 2000). نتایج نشان داد مقدار MDA در سه ژنوتیپ گندم در اثر خشکی افزایش یافت. در واقع مقدار MDA به عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری مقدار پراکسیداسیون لیپیدها می‌باشد (Sairam *et al.*, 2007). در این تحقیق با مصرف توأمان کود زیستی تیوباسیلوس و گوگرد و نقش آن‌ها در پایداری دیواره سلولی و افزایش غشای سلولی و جلوگیری از تخریب دیواره و نشت مواد به خارج از سیتوپلاسم تا حدود زیادی از اثرات منفی تنش و میزان بیومارکر تخریب کاست که در تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و مصرف توأمان گوگرد و تیوباسیلوس کاملا مشهود است.

نتیجه‌گیری

هر چند قطع آبیاری در زمان‌های گوناگون می‌تواند بر ویژگی‌های کمی و بیوشیمیایی گیاه ذرت اثرگذار باشد، ولی میزان اثربخشی آن بر ویژگی‌های مختلف، متفاوت است. کاربرد تیوباسیلوس و گوگرد باعث افزایش عملکرد دانه در شرایط قطع آبیاری گردید و با افزایش پایداری دیواره سلولی و تولید ماکرومولکول‌هایی نظیر پپتیدها، ویتامین‌ها و کلروفیل و ... گیاه ذرت توانست اثرات منفی کم‌آبیاری را تحمل کند و میزان پرولین را در شرایط تنش کاهش دهد، هم‌چنین کاربرد توأم تیوباسیلیوس و گوگرد در تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه باعث کاهش میزان سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز گردید که نشانگر توانایی باکتری تیوباسیلیوس و گوگرد به عنوان تعدیل‌کننده اثر تنش است. بنابراین برای دریافت نتایج بهتر تحقیقات تکمیلی در مناطق مشابه توصیه می‌گردد.

منابع

اکبری‌مقدم، ح. ۱۳۹۱. تسهیم ماده خشک و واکنش‌های مورفوفیزیولوژیکی ارقام گندم تحت تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد. پایان‌نامه دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل. ۱۵۱ ص.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-27]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1395.8.29.6.6]

حیدری، غ.ر.، حسن‌زاده.، ب.، سی‌وسه مرده، ع.، سهرابی، ی.، امام، ی.، مجیدی، م. ۱۳۹۴. اثر سطوح تنش خشکی، کود گوگرد و محلول‌پاشی منگنز بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی آفتابگردان. نشریه زراعت دیم ایران۴ (۱): ۲۹-۴۴.

نصری، م. و خلعتبری، م. ۱۳۹۱. مطالعه اثر سطوح مختلف زئولیت بر خصوصیات فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی سورگوم دانه‌ای رقم کیمیا تحت شرایط مختلف کم‌آبیاری در منطقه ورامین. گزارش نهایی طرح پژوهشی. دانشکده کشاورزی ورامین. دانشگاه آزاد اسلامی ورامین- پیشوا. ۵۳ ص.

Bakalova, S., Nikolova, A. and Nedeva, D. 2004. Isoenzyme profiles of peroxidase, catalase and superoxide dismutase as affected by dehydration stress and ABA during germination of wheat seeds. Plant Physiology 30: 64-77.

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

Beck, E.H., Fettig, S., Knake, C., Hartig, K., and Bhattarai, T. 2007. Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress. Bioscience 32:501–510.

Besharaty, H., Khavazi, K. and Saleh-Rastin, N. 2002. Evaluation of some carriers for *Thiobacillus* inoculants used along with sulfur to increase uptake of some nutrients by corn and improve its performance .Biomedical and life Sciences, Plant Nutrition . Developments in Plant and Soil Sciences (92) 9: 672-673.

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

Chance, B. and Maehly, A.C. 1995. Assay of catalase and peroxidase. In: Colowick S. P., and N. D.Kaplan. (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.

Foyer, C.H. and Noctor, G. 2003. Red ox sensing and signaling associated with reactive oxygen in chloroplasts, paroxysms and mitochondria. Plant Physiology 119**:** 355-364.

Franz, C.H. 2003. Nutrient and water man agent for medicinal and aromatic plants. Acta Horticuiture 132: 203 – 215.

Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S. and Zhang, C.H. 2003. Effects of silicon on growth of wheat under drought. Journal Plant Nutrition 26: 1055-1063.

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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-27]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1395.8.29.6.6]

Hong, W. and Ji-Yun, J. 2007. Effects of zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize. Science Direct. Agricultural Sciences in China 6 (8): 988-995.

Huang, C., Zhao, S., Wang, L., Anjum, A.S., Chen, M., Zhou, H. and Zou, C. 2013. Alteration inchlorophyll 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.

Irigoyen, J., Emerich, D.W. and Sanchez-Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in modulated Alfalfa plant. Plant physiology 84:55-60

Isuwan, A., Saelim, J. and Poathong, S. 2007. Effects of Levels of Sulfur Fertilizer on Growth of *Digitaria eriantha* grass. Silpakorn University Science and Technology Journal 1 (2): 13-19.

Jin, J., Ningwei, SH., 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. Field Crop Research 94: 167-173

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.

Kasraie, P., Nasri, M. and Khalatbari, M. 2012. The effects of Time Spraying Amino Acid on water deficit Stress on yield, yield component and some physiological characteristics of grain corn (TWC647). Annals of Biological Research, 2012, 3 (9):4282-4286.

Lawlor, D.W. and Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment 25: 275-294.

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.

Luna, C.M., Pastori, G.M., Driscoll, S., Groten, K., Bernard, S. and Foyer, C.H. 2005 . Drought controls on H2O2 accumulation, catalase (CAT) activity and CAT gene expression in wheat. Experimental Botany 56:417–423.

Mac-Adam, J.W., Nelson, C.J. and Sharp, R.E. 1992. Peroxides activity in the leaf elongation zone of tall fescue. Plant Physiology 99:872-878.

Misra. H.P., Fridovich, I. 1972. The Generation of super oxide radical during oxidation. Bio Chemical Journal 247 3170-75

Nasri, M. and Khalatbari, M. 2012. Evaluation the effect of different ranges Zeolite consuming on yield and yield component and physiological characteristics of grain Sorghum

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-27]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1395.8.29.6.6]

(*Sorghum bicolor L.*) VAr. Kimiya under water deficit stress. Annals of Biological Research 3 (7): 3547-3550.

Nasri, M. and Khalatbari, M. 2015. Effect of zinc foliar, potassium elements and irrigation terms of concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium in grain and some quantitative characteristics corn genotypes KSC704. International Journal Bioscience 6 (2), 15-23.

Orman, S., Kaplan, M. 2007. Effects of elemental sulfur and organic manure on sulfur, zinc, and total chlorophyll contents of tomato in a calcareous sandy loam soil. Journal of Soil Science Society of America 55: 85-90.

Ravichandra, P., Gopal Mugeraya, A., Gangagni Rao, M., Ramakrishna, V. and Annapurna Jetty, Y. 2007. Isolation of *Thiobacillus sp* from aerobic sludge of distillery and dairy effluent treatment plants and its sulfide oxidation activity at different concentrations. Journal of Environmental Biology 28 (4): 819-823.

Reddappa Reddy, M. 2006. Effect of calcium, sulphur and boron on the yield andcomposition of corn *(Zea Mays* L.*)* under water deficit stress. Journal of Plant Growth Regulation 54: 205–209.

Sairam, P.K., Deshmukh, P.S. and Shukla, D.S. 2007. Tolerance of drought and temperature stress in relation to increased antioxidant enzyme activity in wheat. Agronomy & Crop Science 178, 171-178.

Selote, D., 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.

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

Sharma, K.D. and Khad, M.S. 2006. Influence of potassium level and soil moisture regime on biochemical metabolites of Brassica Species. Brassica Journal 8: 71- 74.

Tayebi, A., Afshari, H., Farahvash, F., MasoodSinaki, J. and Nazarat, S. 2012. Effect of drought stress and different planting dates on safflower yield and its components in Tabriz region. Iranian Journal of plant physiology 2 (3): 445- 453.

Yu, Q. and Rengel, Z. 2009. Drought and salinity differentially influence activities of superoxide dismutase in narrow-leafed lupins. Plant Science 182, 31-36.

Wajid, A., Hussain, K., Maqsood, M., Ahmad, A. and Hussain, A. 2007. Influence of drought on wateruse efficiency in wheat in semi-arid regions of Panjab. Soil and Environments 26: 64-68.

Wang, Y.F., Wang, S.P., Cui, X.Y., Chen, Z.Z., Schnug, E. and Haneklau, S. 2003. Effects of sulphur supply on the morphology of shoots and roots of alfalfa (*Medicago sativa* L.). Grass and Forage Science 58 (2): 160-167.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-04-27]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1395.8.29.6.6]