بررسی تأثیر تیمارهای بیولوژیک بذر بر عملکرد و برخی خصوصیات بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های کلزا تحت تنش خشکی

علی نعمتی[۱]، علی‌اصغر علیلو[۲*] و محمد صدقی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۱۴)

چکیده

کمبود آب رشد و نمو گیاهان زراعی را به‌طور گسترده در مناطق نیمه‌خشک تهدید می‌کند. همزیستی گیاهان با میکروارگانیسم‌های مفید خاک یکی از راهکارهای سازگاری آنها با تنش‌های محیطی است. در این پژوهش اثر تلقیح بذر ژنوتیپ‌های کلزا با قارچ شبه‌میکوریزا (*Piriformospora indica*) و باکتری محرک رشد (*Arthrobacter siccitolerans*) روی برخی شاخص‌های عملکردی و فیزیولوژیکی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی طی دو سال بررسی شد. نتایج نشان داد، تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه (۱۹/۵٪) و روغن کلزا (۲۳٪) شد. درحالی‌که فعالیت و مقدار شاخص‌های فیزیولوژیکی (آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و مالون دی آلدهید و پرولین) را افزایش داد. تیمار بذر با قارچ *P. indica* و باکتری *A. siccitolerans* تحت شرایط تنش باعث کاهش فعالیت آنزیم‌ها و مقدار پرولین و بهبود عملکرد دانه و روغن در مقایسه با آبیاری نرمال شد. هر چند اثر تعدیلی باکتری و قارچ روی صفات مورد مطالعه شبیه بود ولی اثر قارچ روی پرولین و عملکرد روغن بارزتر بود. همچنین تحت شرایط آبیاری نرمال نیز کاربرد این میکروارگانیسم‌ها باعث کاهش فعالیت آنزیم‌ها و مقدار پرولین شد. نکته قابل توجه اینکه تغییرپذیری زیاد محتوی پرولین استفاده از آن را به‌عنوان شاخص ارزیابی تنش در تیمارهای زیستی نیز معرفی می‌کند. در کل نتایج نشان داد که با وجود تفاوت در پاسخ ژنوتیپ‌ها به تیمارها، کاربرد هر دو میکروارگانیسم باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد روغن تحت هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی شد و می‌توان از این تیمارهای زیستی، بویژه قارچ *P. indica*، جهت تعدیل اثر تنش خشکی ژنوتیپ‌های کلزا استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم، تلقیح، پرولین، مالون دی آلدهید

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی و دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران
۳. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه محقق اردبیلی، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: aliasghar.aliloo@gmail.com

مقدمه

کلزا (*Brassica napus*.L.) از مهم‌ترین گیاهان روغنی دنیاست که به‌دلیل دارا بودن صفات زراعی مناسب، عملکرد بالا و کیفیت روغن مناسب، از اهداف پژوهشی علوم زراعت و اصلاح نباتات به شمار می‌رود. برخی از ژنوتیپ‌های این گیاه مناسب برای کاشت در نواحی خشک و نیمه‌خشک هستند. ولی در این مناطق، اثرات بازدارندگی تنش‌های محیطی روی فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژی گیاه که منجر به کاهش رشد آن می‌شود، بیشتر مشهود است (۳). برخی از محققان به انتخاب ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا در شرایط مطلوب و برخی در شرایط تنش اعتقاد دارند، اما گزارش‌های دیگری نشان می‌دهد که انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بالا تحت هر دو شرایط مطلوب و تنش در شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب و مقاوم مؤثرتر است (۷). خانی و همکاران (۱۶) عنوان کردند که تنش خشکی در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی بر عملکرد دانه و اجزای آن در ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تأثیر زیادی داشته و مقادیر آنها را به شدت کاهش داد. اما پارامتر اصلی تعیین‌کننده درصد روغن دانه کلزا، عوامل ژنتیکی بوده و تأثیر عوامل محیطی بر درصد روغن دانه کم است (۳۳). ژانگ و همکاران (۴۰) گزارش کردند که کمبود آب از مرحله گلدهی تا پایان پر شدن دانه، عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ‌هایی که آب بیشتری را حفظ کنند، دارای عملکرد دانه و در نتیجه روغن بیشتری هستند. تاکنون روش‌های متعدد به‌زراعی و اصلاحی جهت تعدیل اثرات تنش خشکی معرفی شده است (۳۲). یکی از اهداف پژوهشی در ارتباط با تنش‌ها، مربوط به مطالعه‌ی مکانسیم‌های دفاعی گیاهان است. شاید بتوان گفت یکی از مهم‌ترین این مکانیسم‌ها، فعالیت آنزیم‌ها و ترکیب‌های آنتی‌اکسیدان گیاهی است که در گیاه کلزا تحمل به تنش کم آبی را افزایش می‌دهد (۲۶).

همراه با تحقیقات اصلاحی، روش‌های زیستی مبتنی بر استفاده از میکروارگانیسم با در نظر گرفتن هزینه کم آنها می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با تنش‌ها، به‌ویژه تنش خشکی باشند (۳۸). اهمیت برقراری ارتباط همزیستی قارچ *P. indica* با گیاهان مختلف در تحریک رشد گیاه گندم و درنتیجه افزایش توان تحمل گیاه به تنش‌های اسمزی نسبت به حالت بدون همزیستی توسط رویز- لوزانو گزارش شده است (۳۰). کومار و همکاران (۱۸) عنوان کردند که تلقیح بذور ذرت با قارچ *P. indica* باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و افزایش عملکرد دانه شد. خو و همکاران (۳۷) نیز بیان کردند که قارچ *P. indica* در شرایط بدون تنش خشکی اثر معنی‌داری بر فعالیت‌های آنزیم آنتی‌اکسیدان گیاه ذرت نداشت، اما در شرایط اعمال تنش خشکی باعث افزایش بیش از ۲۰ درصدی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی شد. این قارچ از راه‌های مختلف نظیر افزایش سطوح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، اسمولیت‌ها به‌خصوص پرولین و حفظ رنگیزه‌های کلروفیلی موجب افزایش تحمل به شوری و خشکی در گیاه میزبان می‌شود (۳۹). پاداشی و همکاران (۲۷) گزارش کردند همزیستی گیاه کاهو تلقیح شده با قارچ، نقش مهمی در افزایش شاخص‌های رشدی و تعدیل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان داشت. کاهش در میزان مالون دی آلدهید برگ‌های گیاه گندم تلقیح شده با قارچ *P. indica* نیز گزارش شده است (۱). اثر مثبت تلقیح بذور با قارچ‌های میکوریزی بر افزایش عملکرد و کاهش مالون دی آلدهید گیاه هندوانه نسبت به شرایط بدون تلقیح توسط مو و همکاران ارائه شده است (۲۲). همچنین اثر مثبت مشابهی از باکتری‌های محرک رشد نیز در تعادل متابولیک و کاهش اثر تنش خشکی تحت شرایط کم آبیاری در گندم توسط نوید و همکاران (۲۴) و استفاده از گونه‌های Arthrobacter در یونجه و فلفل توسط آنتونیو و همکاران (۴) گزارش شده است. نتایج کوهلر و همکاران (۱۷) بر روی کاهو نشان داد که در شرایط بدون اعمال تنش خشکی گیاهچه‌های تلقیح شده با باکتری سودوموناس میزان فعالیت آنزیم کاتالاز کمتری نسبت به تیمار بدون تلقیح داشتند. اردوگان و همکاران (۱۰) نیز اظهار داشتند که بوته‌های تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد، از فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی بالاتری برخوردار بودند و در مقابل میزان بیومارکر

مالون دی آلدهید و پراکسید هیدروژن آنها پایین بود. با توجه به مطالب ذکر شده یافتن ژنوتیپ و تیمار زیستی مناسب درگیاه کلزا که بتواند اثرات تنش خشکی را تعدیل کند، می‌تواند به صورت کاربردی در مزارع کشاورزی مناطق نیمه‌خشک مؤثر واقع شود. در این راستا، اثر تلقیح بذر با قارچ *Piriformospora indica* و باکتری *Arthrobacter siccitolerans* در شرایط تنش خشکی و شرایط نرمال در دو سال زراعی متوالی روی برخی ازصفات عملکردی و فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های مختلف کلزا بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی واقع در ۱۰ کیلومتری شهرستان اردبیل با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۹ دقیقه اجرا شد. محل آزمایش از نظر آب و هوا و طبقه‌بندی اقلیمی جزو مناطق نیمه‌خشک سرد محسوب و میزان بارندگی و شرایط دمایی محل، طی دو سال آزمایش به شرح جدول ۱ است. بعد از مشخص شدن محل اجرای آزمایش، یک نمونه مرکب از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه و خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. از آنجایی که برای انجام توصیه کودی بهینه و صحیح، انجام آزمون خاک از اقدامات ضروری بود، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی معمول در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. خاک محل آزمایش از نوع لومی- رسی و مواد آلی آن ۰/۸ درصد بود. مقدار فسفر و پتاسیم خاک به‌ترتیب ۱۳ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، مقدار نیتروژن خاک برابر با ۰/۱۲ درصد، هدایت الکتریکی آن ۱/۲ میلی‌موس بر سانتی‌متر و pH خاک منطقه در حدود ۷/۴ بود. این آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی (شامل آبیاری معمول بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A (شاهد) و دیگری تنش خشکی بر اساس روش سیلوستر- برادلی (۳۴) به صورت قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی (از مرحله خورجین‌دهی، کد شده به شماره ۵/۵ از جدول سیلوستر- برادلی) تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (کد شماره ۶/۹) و سه سطح تلقیح میکروبی (بدون تلقیح، تلقیح قارچ *P. indica* و تلقیح باکتری *A. siccitolerans* به‌عنوان فاکتور فرعی و ۱۰ ژنوتیپ کلزای پاییزه (کرج ۱، کرج ۲، کرج ۳، طلایه، زرفام، Licord، SLM-046، Modena، Opera، Okapi) به‌عنوان فاکتور فرعی فرعی، مجموعاً با ۶۰ تیمار طراحی و اجرا شد. در این پژوهش پس از آماده‌سازی بستر کشت، بذر گواهی شده ارقام کلزا از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. سپس به‌منظور تلقیح بذور، جدایه قارچ اندوفایت *P. indica* به روش دشموخ و کوزل (۹) و سوسپانسیون باکتری به روش سیدیگوی و شائوکات (۳۱) جهت بیوپرایمینگ بذرها آماده و با استفاده از روش قبولی و همکاران (۱۱) عمل تلقیح انجام گرفت. بر اساس نقشه طرح آزمایش، کرت‌ها به ابعاد ۵ × ۲/۴ متر، شامل ۶ ردیف و فاصله ردیف‌ها از هم ۳۰ سانتی‌متر جهت کشت کلزا ایجاد و عملیات کشت بذرهای تلقیح شده با قارچ *P. indica* و باکتری *A. siccitolerans* با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع انجام شد، تیمار عدم تلقیح بذر با باکتری و قارچ در آب مقطر استریل جوانه‌دار و در کرت‌های مشخص شده کشت شد. نیم‌متر از ابتدا و انتهای ردیف کشت و دو خط کناری به‌منظور حذف اثر حاشیه در نتیجه برداشت حذف و اندازه‌گیری معیارها و شاخص‌های رشد و عملکرد از مساحت ۵/۶ مترمربع صورت گرفت. مرحله داشت این پژوهش شامل آبیاری، کوددهی سرک و مبارزه با علف‌های هرز بود. در طول دوره کشت، آبیاری در دو سطح، شامل آبیاری معمول و دیگری تنش خشکی به‌صورت قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی صورت گرفت. مقدار آب مصرفی در هر دور آبیاری ۸۰ درصد آب تبخیر شده بود. در طول دوره کاشت تا برداشت تمامی عملیات به غیر از آبیاری، به صورت یکسان برای تمامی تیمارها اعمال شد. در انتها به‌منظور تعیین عملکرد دانه از هر کرت آزمایشی به‌طور جداگانه بوته‌ها کف بر شده و جهت خشک شدن نهایی و رسیدن رطوبت به ۱۲درصد، به مدت یک

جدول ۱. میزان بارندگی (میلی‌متر) و دمای محل (سانتی‌گراد) آزمایش طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷

معیارها	ماه‌ها									
	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
بارندگی۹۷-۱۳۹۶	۶/۴	۴/۸	۴۰/۲	۲۸/۹	۳/۴	۳۵/۲	۹/۴	۲۳/۸	۳۲/۹	۲/۴
بارندگی۹۸-۱۳۹۷	۰/۱	۴۳/۶	۹/۷	۶/۵	۱۶/۵	۵۴/۷	۲۶/۵	۹/۳	۶۰/۳	۲/۲۸
حداکثر دما ۹۷-۱۳۹۶	۲۷/۲	۱۹	۱۷	۱۰	۱۱/۹	۶	۱۵/۱	۱۷	۲۳/۵	۲۸
حداقل دما ۹۷-۱۳۹۶	۱۴	۹/۲	۳	-۴	-۷	-۱۳	-۶	۱/۳	۶/۵	۱۳/۸
حداکثر دما ۹۸-۱۳۹۷	۲۸	۱۶/۵	۱۴/۴	۸	۱۰/۱	۴/۵	۱۳/۱	۱۶/۶	۲۴	۲۷/۷
حداقل دما ۹۸-۱۳۹۷	۱۳/۵	۱۱/۸	۴/۴	-۲	-۵/۵	-۱۱	-۴/۲	۱	۸/۸	۱۳

هفته در هوای آزاد نگهداری و پس از جداسازی دانه‌ها از خورجین، وزن دانه‌ها با ترازوی دقیق توزین و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. درصد روغن دانه‌های هر کرت آزمایشی هم توسط دستگاه NMR (Nuclear Magnetic Resonance) در آزمایشگاه تعیین و از حاصلضرب درصد روغن دانه در عملکرد دانه، عملکرد روغن محاسبه شد.

سنجش‌های آنزیمی

در مرحله شروع پر شدن دانه، از برگ‌های توسعه یافته انتهایی نمونه‌برداری انجام و از روش گینوپولیتیس و رایس (۱۳) برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز استفاده شد و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با استفاده از روش ناکانو و اسادا (۲۳)، فعالیت آنزیم کاتالاز براساس روش کاکماک و هورست (۸) و فعالیت آنزیم پراکسیداز طبق روش گانتی و همکاران (۱۲) اندازه‌گیری و قرائت شد. جهت اندازه‌گیری غلظت مالون دی آلدهید از روش والنتوویک و همکارانش (۳۶) استفاده شد و به‌منظور تعیین غلظت پرولین برگ از روش باتیز و همکاران (۶) استفاده شد.

روش‌های آماری و تجزیه داده‌ها

برای ارزیابی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی آزمون بارتلت انجام یافت که نتایج نشان‌دهنده یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی در طی دو سال بود. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و SPSS انجام و نتایج تجزیه واریانس به‌دست آمد. سپس با استفاده از آزمون LSD، میانگین داده‌ها در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث

عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن

نتایج نشان داد اثرات ساده میکروارگانیسم و ژنوتیپ بر عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن دانه کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲) و اثرات متقابل ترکیب تیماری تنش خشکی در ژنوتیپ و تنش در ژنوتیپ در میکروارگانیسم اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن دانه در سطح احتمال یک درصد داشتند. مقایسات میانگین ترکیب تیماری ژنوتیپ و میکروارگانیسم‌ها نشان داد که ژنوتیپ طلایه تحت شرایط تیمار با باکتری *A. siccitolerans* و قارچ *P. indica* به‌ترتیب با میانگین ۳۰۹۹ و ۳۰۹۲ کیلوگرم در هکتار با بیشترین عملکرد در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳). از آنجایی که هدف اصلی از کشت کلزا استحصال روغن است بنابراین عملکرد روغن از اهمیت بیشتری برخوردار است که نتایج تأثیر این ترکیب تیماری بر عملکرد روغن دانه نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های مودنا، اکاپی و طلایه تحت شرایط تلقیح با باکتری *A. siccitolerans* به‌ترتیب با عملکردهای ۱۳۴۱، ۱۳۹۷ و ۱۳۷۸ کیلوگرم در هکتار و ژنوتیپ‌های اکاپی و طلایه تحت شرایط تلقیح با قارچ *p. indica* به‌ترتیب با

جدول ۲. تجزیه مرکب واریانس عملکرد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش و استفاده از میکروارگانیسم‌ها طی دو سال زراعی

منبع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	درصد روغن دانه	عملکرد روغن	سوپراکسید دیسموتاز	آسکوربات پراکسیداز	کاتالاز	پرکسیداز	پرولین	مالون‌دی آلدهید
سال	۱	۸۵۰۹۸۶^{ns}	۴۱/۱۴^{ns}	۲۹۷۷۳۵^{ns}	۱۰/۷^{ns}	۹/۱۵^{ns}	۴/۲۸^{ns}	۵۶/۲^{ns}	۳۱/۴^{ns}	۲/۹۹^{ns}
تکرار (سال)	۴	۶۷۴۰	۱/۵۴	۳۳۰۳	۱/۰۵	۳/۴۷	۰/۲۵۵	۱/۶۷	۱/۲۹	۰/۱
تنش	۱	۲۵۸۷۸۶۲۰*	۲۳۹/۶^{ns}	۶۵۹۳۱۶۹^{ns}	۱۹۲۳*	۵۸۸*	۸۹/۹^{ns}	۱۳۰۷*	۲۹۷۶*	۱۲۶^{ns}
تنش در سال	۱	۱۵۸۴۶۶^{ns}	۹/۹^{ns}	۵۳۲۶۵^{ns}	۳/۵^{ns}	۱/۷۳^{ns}	۰/۸۴۵*	۷/۶^{ns}	۸/۴۶^{ns}	۱/۲۷^{ns}
خطا (a)	۴	۱۵۰۲۴	۰/۶۳۲	۸۶۰۲	۰/۱۷۴	۱/۴	۰/۶۳	۲/۵۷	۱/۷	۰/۱۵
میکروارگانیسم‌ها	۲	۲۳۲۶۶۰۸**	۱۲/۴۴^{ns}	۴۹۱۱۱۵**	۱۰۱**	۹۱/۲**	۲۷/۳**	۱۱۱**	۵۹۵**	۷/۲**
سال × میکروارگانیسم	۲	۱۸/۳^{ns}	۰/۷۸۹^{ns}	۷۰۸^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۰/۰۵۵^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۰/۴۴۸^{ns}	۰/۲۵۴^{ns}	۰/۰۱۴^{ns}
تنش × میکروارگانیسم	۲	۴۲۹۰۸^{ns}	۱/۸۸^{ns}	۵۵۹۳^{ns}	۳/۳۹*	۱۳/۱۱*	۲/۷۲^{ns}	۱/۲^{ns}	۷۶/۵**	۰/۹۱۷^{ns}
سال × تنش × میکروارگانیسم	۲	۲۵۷۸^{ns}	۰/۴۱۴^{ns}	۲۷۱/۳^{ns}	۰/۰۳۷^{ns}	۰/۱۴۷^{ns}	۰/۰۸۵^{ns}	۰/۸۱^{ns}	۰/۱۱۴^{ns}	۰/۰۱۲^{ns}
خطا (b)	۱۶	۵۸۸۲	۰/۶۷۱	۲۵۰۷	۰/۶۶۳	۱/۵۲	۰/۷۷۶	۰/۷۵۶	۱/۲۳	۰/۰۵۲
ژنوتیپ	۹	۲۳۲۶۲۷۳**	۲۵۹**	۸۹۸۷۳۵**	۲۵۱**	۱۰۸۱**	۶۶۱**	۵۶۱/۷**	۹۸۳**	۱۰/۷۸**
سال×ژنوتیپ	۹	۱۱۰۷۸**	۰/۷۸۵^{ns}	۱۶۳۹^{ns}	۰/۲۹۱^{ns}	۰/۱۱۴^{ns}	۲/۷۸^{ns}	۱/۰۳^{ns}	۰/۶۳۰^{ns}	۰/۰۶۸**
تنش×ژنوتیپ	۹	۶۷۲۶۳**	۳۷/۳۶**	۳۱۵۴۹**	۵۹/۱۶**	۴۹/۶**	۲۳/۳**	۱۵۲/۳**	۳۷۳**	۱۳/۳**
سال×تنش×ژنوتیپ	۹	۱۷۸۶^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۵۴۷/۹^{ns}	۰/۱۷۳^{ns}	۰/۰۶۸^{ns}	۰/۰۳۸^{ns}	۱/۲۴^{ns}	۰/۵۸۸^{ns}	۰/۰۳۷^{ns}
میکرو ارگانیسم×ژنوتیپ	۱۸	۲۹۰۱۱**	۰/۷۵۱^{ns}	۶۷۰۴**	۶/۱۸**	۶/۳**	۳/۸۶**	۱۱/۲۶**	۴۳/۵**	۰/۵۷**
سال×میکروارگانیسم×ژنوتیپ	۱۸	۲۴۶۹^{ns}	۰/۱۱۹^{ns}	۵۲۵^{ns}	۰/۲^{ns}	۰/۱۲۷^{ns}	۰/۰۳۴^{ns}	۰/۷۳^{ns}	۰/۵۲۶^{ns}	۰/۰۲۷^{ns}
تنش× میکروارگانیسم×ژنوتیپ	۱۸	۱۴۶۶۰**	۰/۵۹۶**	۳۴۵۱**	۰/۸۴۵**	۶/۵۳**	۱/۲**	۳/۶۷**	۲۰/۸**	۰/۱۵۸**
سال×تنش×میکروارگانیسم×ژنوتیپ	۱۸	۲۷۶۴^{ns}	۰/۱۲۷^{ns}	۴۴۷^{ns}	۰/۲۱^{ns}	۰/۱۶۶^{ns}	۰/۰۳۴^{ns}	۰/۹۸^{ns}	۰/۵۷۱^{ns}	۰/۰۲^{ns}
خطای کل	۲۱۶	۳۱۴۹	۰/۸۵	۳۵۶۳	۰/۴۱	۰/۸۸	۰/۸۷۳	۱/۲	۰/۹۱۷	۰/۰۶۸

ns و ** و * به‌ترتیب بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

جدول ۳. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری میکروارگانیسم‌ها و ژنوتیپ بر عملکرد دانه و روغن و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، پراکسیداز، پرولین و مالون دی آلدهید ژنوتیپ‌های ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش و استفاده از میکروارگانیسم‌ها طی دو سال زراعی

میکروارگانیسم‌ها	ژنوتیپ	عملکرد دانه	عملکرد روغن	سوپراکسید دیسموتاز	آسکوربات پراکسیداز
		(کیلوگرم برهکتار)		(واحد بر میلی‌گرم پروتئین)	
بدون تلقیح	مودنا	۲۶۸۱^{j}	۱۱۹۰^{bc}	۱۸/۶۵۸^{abc}	۲۲/۴۶^{bc}
	کرج – ۱	۲۴۵۷^{l}	۹۴۲^{ef}	۱۲/۲۴^{ij}	۴۰/۹۵^{gh}
	کرج – ۲	۲۳۷۶^{mn}	۸۸۸^{f}	۱۳/۲۳^{hij}	۴۴/۳۵^{cd}
	کرج – ۳	۲۳۰۲^{o}	۹۳۷^{ef}	۱۳/۷۵$^{g-j}$	۴۴/۷۶^{bcd}
	اکاپی	۲۶۱۳^{hi}	۱۱۸۸^{bc}	۱۲/۱۳^{ij}	۳۰/۲۹^{lm}
	لیکورد	۲۶۵۳^{gh}	۱۱۶۲^{bcd}	۱۷/۴۷^{bcd}	۴۸/۰۸^{a}
	اپرا	۲۳۸۶^{mn}	۹۶۰^{ef}	۱۹/۳۱^{ab}	۴۳/۵^{de}
	زرفام	۲۲۴۰^{p}	۹۸۹^{ef}	۱۸/۶۲^{abc}	۴۱/۷۴^{efg}
	SLM-046	۲۱۲۴^{q}	۸۹۱^{f}	۲۰/۹۲^{a}	۴۱/۴۱^{fgh}
	طلایه	۲۸۸۵^{e}	۱۲۶۶^{ab}	۱۶/۲۹$^{c-g}$	۳۳/۹۷^{k}
Arthrobacter siccitolerans	مودنا	۳۰۰۸^{b}	۱۳۴۱^{a}	۱۶/۶۳^{cde}	۴۵/۷۴^{bc}
	کرج – ۱	۲۷۷۲^{f}	۱۰۴۱^{cde}	۱۱/۷^{j}	۳۹/۷^{hi}
	کرج – ۲	۲۶۰۳^{hij}	۹۹۰^{ef}	۱۲/۸۹^{hij}	۴۱/۵^{fgh}
	کرج – ۳	۲۵۳۳^{k}	۱۰۲۵^{def}	۱۳/۰۷^{hij}	۴۲/۹^{def}
	اکاپی	۳۰۵۰^{ab}	۱۳۹۷^{a}	۱۱/۷۳^{j}	۲۸/۷۷^{m}
	لیکورد	۲۹۵۳^{c}	۱۲۸۷^{ab}	۱۴/۶۵$^{e-i}$	۴۶/۰۴^{bc}
	اپرا	۲۵۳۲^{k}	۱۰۱۳^{ef}	۱۵/۱۵$^{d-h}$	۴۳/۷۴^{d}
	زرفام	۲۴۰۹^{lmn}	۱۰۷۶^{cde}	۱۶/۲۹$^{c-g}$	۴۰/۶^{ghi}
	SLM-046	۲۳۶۴^{n}	۹۹۶^{ef}	۱۹/۲۷^{ab}	۳۷/۸۷^{j}
	طلایه	۳۰۹۹^{a}	۱۳۷۸^{a}	۱۳/۲۹^{hij}	۳۰/۹۵^{l}
Piriformospora indica	مودنا	۲۹۱۰^{cde}	۱۳۰۰^{ab}	۱۷/۳۵^{bcd}	۴۵/۸۰^{bc}
	کرج – ۱	۲۶۱۲^{hi}	۱۰۱۴^{ef}	۱۲/۰۷^{ij}	۳۹/۹۵^{ghi}
	کرج – ۲	۲۵۴۹^{jk}	۹۹۲^{ef}	۱۳/۱۲^{hij}	۴۲/۹۸^{def}
	کرج – ۳	۲۵۵۱^{jk}	۱۰۵۹^{cde}	۱۳/۹۵$^{f-j}$	۴۳/۵^{de}
	اکاپی	۲۹۴۵^{cd}	۱۳۶۴^{a}	۱۱/۹۳^{ij}	۲۹/۷۲۵^{lm}
	لیکورد	۲۸۹۴^{cde}	۱۲۷۲^{ab}	۱۵/۳۱$^{d-h}$	۴۶/۴۵^{ab}
	اپرا	۲۵۹۰^{ij}	۱۰۵۲^{cde}	۱۶/۱۸$^{c-f}$	۴۳/۱^{def}
	زرفام	۲۴۲۶^{lm}	۱۰۸۸^{cde}	۱۶/۵۵$^{c-f}$	۴۰/۹^{gh}
	SLM-046	۲۲۸۹^{op}	۹۷۱^{ef}	۱۹/۴۸^{ab}	۳۸/۹۱^{ij}
	طلایه	۳۰۹۲^{a}	۱۳۷۷ ^{a}	۱۴/۱۸ $^{e-j}$	۳۴/۳۷ ^{k}

میانگین‌های دارای حرف مشترک در یک ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند (LSD).

ادامه جدول ۳.

میکروارگانیسم‌ها	ژنوتیپ	کاتالاز	پرکسیداز	پرولین	مالون دی آلدهید
		(واحد بر میلی‌گرم پروتئین)		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	(نانومول بر گرم وزن تر)
بدون تلقیح	مودنا	۳۴/۹۷^{b}	۲۱/۷۷^{ghi}	۴۱/۱۱^{ab}	۴/۶۴^{bcd}
	کرج – ۱	۲۷/۴۹^{g}	۳۱/۴^{a}	۳۲/۰۸^{efg}	۴/۲۴^{def}
	کرج – ۲	۲۷/۱۷^{gh}	۲۲/۸۴^{fg}	۳۵/۱^{cde}	۴/۶۶^{bcd}
	کرج – ۳	۲۵/۵۱^{jkl}	۲۷/۳۸$^{b-e}$	۳۳/۵۲^{de}	۴/۴۸^{cde}
	اکاپی	۲۴/۲۴^{m}	۲۵/۹۱^{de}	۳۱/۷۹^{efg}	۵/۱۵۸^{abc}
	لیکورد	۳۶/۴۲^{a}	۳۲/۲۵^{a}	۳۹/۲۶^{ab}	۴/۵۴^{bcd}
	اپرا	۳۳/۸۸^{cd}	۲۰/۹۶$^{g-j}$	۲۷/۶۴^{gh}	۵/۵۳^{ab}
	زرفام	۳۱/۴۲^{e}	۲۹/۵۳^{abc}	۲۵/۰۲^{hi}	۳/۶۳^{ef}
	SLM-046	۳۱/۴۱^{e}	۲۰/۰۶$^{g-j}$	۲۷/۷۶^{gh}	۵/۸۸^{a}
	طلایه	۲۵/۵۶^{jkl}	۲۱/۰۶$^{g-j}$	۴۲/۴۹^{a}	۴/۷^{bcd}
Arthrobacter siccitolerans	مودنا	۳۳/۲۳^{d}	۲۰/۰۳$^{g-j}$	۳۱/۶۶^{efg}	۴/۴^{cde}
	کرج – ۱	۲۶/۵۴^{hi}	۲۹/۵۵^{abc}	۳۱/۱۵^{efg}	۴/۱۵^{def}
	کرج – ۲	۲۵/۳۵^{kl}	۲۲/۸۳^{fg}	۳۲/۳۵^{ef}	۴/۴۵^{cde}
	کرج – ۳	۲۴/۱۵^{m}	۲۶/۸۵^{cde}	۳۲/۴^{ef}	۴/۲^{def}
	اکاپی	۲۳/۳۵^{n}	۲۵/۷۴^{de}	۲۸/۰۲^{efg}	۴/۲^{def}
	لیکورد	۳۴/۵۲^{bc}	۲۷/۶۵^{bcd}	۳۷/۷۷^{bc}	۴/۲^{def}
	اپرا	۳۴/۱۷^{c}	۲۱/۲۲$^{g-j}$	۲۶/۳^{hi}	۴/۷۲^{bcd}
	زرفام	۳۰/۷^{f}	۲۷/۱۵$^{b-e}$	۲۰/۳۷^{j}	۳/۳۶^{f}
	SLM-046	۳۱/۰۴^{ef}	۱۹/۸۱^{hij}	۲۴/۴^{hij}	۵/۳۶^{ab}
	طلایه	۲۶/۱۷^{ij}	۱۹/۹$^{g-j}$	۳۳/۰۸^{e}	۴/۳۸^{cde}
Piriformospora indica	مودنا	۳۴/۰۳^{bcd}	۱۹/۰۷^{ij}	۳۴/۹۵^{cde}	۴/۳۷۵^{cde}
	کرج – ۱	۲۵/۴^{kl}	۲۹/۹۳^{ab}	۳۱/۴۴^{efg}	۴/۱۵^{def}
	کرج – ۲	۲۵/۸۸^{ijk}	۲۲/۵۳^{fgh}	۳۲/۷۸^{e}	۴/۴۸^{cde}
	کرج – ۳	۲۵/۰۶^{l}	۲۵/۹۹^{de}	۳۱/۷۶^{efg}	۴/۲^{def}
	اکاپی	۲۳/۸^{mn}	۲۴/۵۹^{ef}	۲۸/۲^{h}	۴/۲۲^{def}
	لیکورد	۳۴/۲۲^{c}	۲۷/۵۲^{bcd}	۳۷/۳^{bcd}	۴/۰۵^{def}
	اپرا	۳۴/۴^{bc}	۲۱/۶۵$^{g-j}$	۲۶/۰۵^{hi}	۴/۱۸^{def}
	زرفام	۳۱/۱۲^{ef}	۲۵/۱۳^{def}	۲۰/۴۱^{j}	۳/۳۹^{f}
	SLM-046	۳۰/۹۴^{ef}	۱۹/۷۶^{hij}	۲۲/۵۷^{ij}	۵/۷۱^{a}
	طلایه	۲۵/۷۷^{jk}	۱۸/۶۹^{j}	۳۱/۴۱^{efg}	۴/۲۵^{def}

میانگین‌های دارای حرف مشترک در یک ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند (LSD).

عملکردهای ۱۳۶۴ و ۱۳۷۷ کیلوگرم روغن دانه در هکتار ضمن قرارگیری در یک گروه آماری بیشترین عملکرد روغن را داشتند (جدول ۳). اهمیت برقراری ارتباط همزیستی قارچ *P. indica* با گیاهان مختلف در تحریک رشد گیاه گندم نسبت به حالت بدون همزیستی توسط زارع و همکاران گزارش‌شده است (۳۹). اعمال تنش آبی روی ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ طلایه در شرایط آبیاری کامل با عملکرد ۳۳۲۳/۵ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین عملکرد دانه و ژنوتیپ SLM-046 با عملکرد ۲۰۴۲ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد دانه را داشت (جدول ۴). ژانگ و همکاران (۴۰) گزارش کردند که عملکرد دانه به‌وسیله کمبود آب از گل‌دهی تا پایان پر شدن دانه تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ‌هایی از کلزا که قادر باشند مقدار آب بیشتری را حفظ کنند، دارای عملکرد دانه بیشتری خواهند بود. نتایج مقایسات میانگین ترکیب تیماری تنش و ژنوتیپ بر درصد روغن دانه نشان داد که ژنوتیپ اکاپی تحت شرایط بدون اعمال تنش خشکی دارای بیشترین درصد روغن دانه با مقدار ۴۸/۴ درصد بود (جدول ۴). به‌طور کلی عوامل ژنتیکی از پارامترهای اصلی تعیین‌کننده درصد روغن دانه کلزا بوده و تأثیر عوامل محیطی بر درصد روغن دانه کم است (۳۳). در کل، نتایج نشان داد که تنش خشکی ضمن افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باعث کاهش عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه به‌ترتیب به میزان ۱۹/۵ و ۲۳ درصد شد (جدول ۶). در مقابل استفاده از باکتری *A. siccitolerans* ضمن تعدیل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، به‌طور میانگین باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه به‌ترتیب به میزان ۱۰/۹۲ و ۱۲ درصد تحت شرایط تنش خشکی شد (جدول ۶). استفاده از قارچ *P. indica* نیز ضمن تعدیل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، به‌طور میانگین باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه به‌ترتیب به میزان ۱۰/۶ و ۱۲/۹ درصد تحت شرایط تنش خشکی شد (جدول ۶). نتایج ضریب همبستگی بین صفات عملکرد دانه، روغن و درصد روغن دانه نشان داد که بین عملکرد دانه و روغن همبستگی بالایی بوده و همچنین بین عملکرد دانه و درصد روغن دانه نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۷). این نتایج با یافته‌های خانی و همکاران (۱۶) که بیان کردند، تنش خشکی در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی عملکرد دانه و اجزای آن را در ژنوتیپ‌های مختلف کلزا به شدت کاهش داد، مطابقت داشت. تحت شرایط تنش خشکی، جذب آب ومواد غذایی از طریق ریشه به‌دلیل کاهش حجم آب خاک و همچنین کاهش توزیع عناصر غذایی در بافت خاک کاهش می‌یابد، اما استفاده از میکروارگانیسم‌های همزیست با گیاه، به‌دلیل سطح ویژه جذب بالا و همچنین گسترش هیف قارچ‌ها در خاک، ضمن بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه با ایجاد چرخه مواد غذایی و قابل دسترس ساختن آنها باعث افزایش جذب آب و عناصر غذایی شده و از این طریق موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

بر اساس مقایسات میانگین ترکیبات تیماری تنش در میکروارگانیسم در ژنوتیپ، بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) مربوط به ژنوتیپ مودنا، اپرا و SLM-046 تحت شرایط تنش خشکی و بدون استفاده از میکروارگانیسم به‌ترتیب با میانگین ۲۳/۳، ۲۳/۶ و۲۲/۹ (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) بوده و کمترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) نیز مربوط به ژنوتیپ طلایه تحت شرایط بدون تنش خشکی و استفاده از میکروارگانیسم *A. siccitolerans* با میانگین ۹/۹۵ (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) بود (جدول ۶). در کل فعالیت این آنزیم در سلول‌ها در پاسخ به تنش‌های مختلف محیطی و تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی افزایش می‌یابد (۲). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش خشکی در کلزا توسط توحیدی مقدم و همکاران (۳۵) و امیدی (۲۶) گزارش شده است. اثرات تنش روی فعالیت آنزیم کاتالاز در ۱۰ ژنوتیپ مورد استفاده نشان داد که بیشترین فعالیت این آنزیم مربوط به ژنوتیپ لیکورد با میانگین ۳۷/۴ (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) تحت شرایط تنش بوده و کمترین فعالیت نیز مربوط به ژنوتیپ

جدول ۴. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری شرایط رطوبتی و ژنوتیپ بر درصد ژنوتیپ بر درصدروغن، عملکرد دانه، روغن دانه، فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، پراکسیداز، پرولین و مالون‌دی‌آلدهید ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش و استفاده از میکروارگانیسم‌ها طی دو سال زراعی

شرایط رطوبتی	ژنوتیپ	عملکرد دانه (کیلوگرم برهکتار)	روغن دانه (درصد)	عملکرد روغن (کیلوگرم برهکتار)	سوپراک سید دیسموتاز	آسکوربات پراکسیداز	کاتالاز	پراکسیداز	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	مالون‌دی‌آلدهید (نانومول بر گرم وزن تر)
		(واحد بر میلی‌گرم پروتئین)								
بدون تنش	مودنا	۳۱۱۸^{b}	۴۵/۸۹^{b}	۱۴۳۳^{bc}	۱۳/۰۳^{gh}	۴۵/۴۹^{bc}	۳۴/۱۹^{b}	۱۴/۹۶^{k}	۲۷/۵۷^{g}	۴/۰۷^{ghi}
	کرج – ۱	۲۸۹۰^{c}	۳۸/۸^{i}	۱۱۲۰^{efg}	۱۱/۱۵^{j}	۳۸/۵۷^{j}	۲۵/۹^{g}	۳۰/۳۹^{bc}	۳۰/۹۹^{de}	۳/۹۳^{hij}
	کرج – ۲	۲۸۵۶^{c}	۳۸^{j}	۱۰۸۳^{fg}	۱۲/۱۲^{i}	۴۲/۱^{gh}	۲۵/۵۰^{g}	۲۱/۵۴^{hi}	۳۱/۷^{de}	۴/۱۹^{fgh}
	کرج – ۳	۲۷۸۵^{d}	۴۰/۶۷^{g}	۱۱۳۲^{ef}	۱۲/۴۹^{hi}	۴۲/۴^{fgh}	۲۳/۹۹^{i}	۲۴/۲^{f}	۳۲/۶۵^{d}	۳/۸۷^{ijk}
	اکاپی	۳۱۱۳^{b}	۴۸/۴۴^{a}	۱۵۱۱^{a}	۱۰/۸۰^{j}	۲۸/۵^{n}	۲۲/۹۹^{j}	۲۶/۹۵^{d}	۲۷/۳^{g}	۳/۶۳^{kl}
	لیکورد	۳۰۴۷^{b}	۴۵/۶۷^{b}	۱۴۰۳^{c}	۱۲/۷۳^{ghi}	۴۳/۲۸^{def}	۳۲/۶۴^{c}	۲۶/۵^{de}	۳۸/۹۹^{b}	۴/۳^{fg}
	اپرا	۲۷۲۲^{e}	۴۰/۶^{g}	۱۱۰۵^{fg}	۱۳/۳۹^{fg}	۴۲/۹۴^{efg}	۳۴/۳^{b}	۲۱/۲۴^{i}	۲۵/۹۸^{g}	۳/۴^{lm}
	زرفام	۲۶۲۳^{f}	۴۴/۸^{c}	۱۱۷۵^{de}	۱۴/۵^{e}	۴۰/۷۰^{i}	۳۰/۷۵^{e}	۲۳/۱^{fg}	۱۸/۱۳^{h}	۳/۲۵^{m}
	SLM-046	۲۴۷۶^{g}	۴۲/۶^{e}	۱۰۵۷^{g}	۱۷/۸۶^{d}	۳۶/۳۹^{k}	۳۱/۵^{d}	۱۷/۶۰^{j}	۲۰/۰۰^{h}	۳/۷۹^{jk}
	طلایه	۳۳۲۳^{a}	۴۴/۷۵^{c}	۱۴۸۳^{ab}	۱۱/۲۹^{j}	۳۳/۱^{l}	۲۵/۸^{g}	۱۷/۵^{j}	۲۷/۹^{fg}	۴/۲۶^{fg}
تنش	مودنا	۲۶۱۵^{f}	۴۲/۸۰^{e}	۱۱۲۰^{efg}	۲۲/۰۶^{a}	۴۶/۳۵^{b}	۳۳/۹۶^{b}	۲۵/۶^{e}	۴۴/۲۵^{a}	۴/۸۷^{d}
	کرج – ۱	۲۳۳۵^{h}	۳۷/۷۰^{j}	۸۸۲^{hi}	۱۲/۸۶^{ghi}	۴۱/۸^{h}	۲۷/۰۴^{f}	۳۰/۲^{c}	۳۲/۱۲^{d}	۴/۴۴^{ef}
	کرج – ۲	۲۱۶۳^{i}	۳۸/۳۰^{ij}	۸۳۰^{i}	۱۴/۰۴^{ef}	۴۳/۸۰^{de}	۲۶/۷^{f}	۲۳/۹^{f}	۳۵/۱۲^{c}	۴/۸۸^{d}
	کرج – ۳	۲۱۳۹^{j}	۴۱/۲^{fg}	۸۸۲^{hi}	۱۴/۶۹^{e}	۴۵/۰۸^{c}	۲۵/۸^{g}	۲۹/۲۷^{c}	۳۲/۴۷^{d}	۴/۷۰^{d}
	اکاپی	۲۶۲۶^{f}	۴۲/۶۷^{e}	۱۱۲۱^{efg}	۱۳/۰۶^{gh}	۳۰/۶۷^{m}	۲۴/۶^{h}	۲۳/۸۷^{f}	۳۱/۳۸^{de}	۵/۴۰^{c}
	لیکورد	۲۵۹۳^{f}	۴۱/۵۴^{f}	۱۰۷۷^{fg}	۱۸/۸۹^{c}	۵۰/۴۰^{a}	۳۷/۴۷^{a}	۳۱/۷۶^{a}	۳۷/۲۴^{b}	۴/۲۰^{fg}
	اپرا	۲۲۸۳^{i}	۳۹/۹۰^{h}	۹۱۲^{h}	۲۰/۳۷^{b}	۴۳/۹۹^{d}	۳۳/۹۹^{b}	۲۱/۳۳^{hi}	۲۷/۳۵^{g}	۶/۲۰^{b}
	زرفام	۲۰۹۴^{k}	۴۴/۲۸^{cd}	۹۲۷^{h}	۱۹/۸^{b}	۴۱/۴۷^{hi}	۳۱/۴^{d}	۳۱/۴^{ab}	۲۵/۷۵^{g}	۳/۶۷^{jkl}
	SLM-046	۲۰۴۲^{l}	۴۱/۵۶^{f}	۸۴۹^{i}	۲۱/۹۲^{a}	۴۲/۴۰^{fgh}	۳۰/۷۵^{f}	۲۲/۵^{gh}	۲۹/۷^{ef}	۷/۵۰^{a}
	طلایه	۲۷۲۷^{e}	۴۳/۸۹^{d}	۱۱۹۷^{d}	۱۷/۸۸^{d}	۳۳/۰۶^{l}	۲۵/۸۴^{g}	۲۲/۲^{ghi}	۴۳/۴^{a}	۴/۶^{dc}

میانگین‌های دارای حرف مشترک در یک ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (LSD).

جدول ۵. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری شرایط رطوبتی و میکروارگانیسم‌ها بر فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، پرولین و مالون دی آلدهید ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش و استفاده از میکروارگانیسم‌ها طی دو سال زراعی

شرایط رطوبتی	میکروارگانیسم‌ها	سوپراکسید دیسموتاز	آسکوربات پراکسیداز	پرولین	مالون دی آلدهید
		(واحد بر میلی‌گرم پروتئین)		(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	(نانومول بر گرم وزن تر)
بدون تنش	بدون تلقیح	۱۳/۷۷^{c}	۴۰/۱۲^{bc}	۳۱/۵^{b}	۴/۰۵^{c}
	Arthrobacter siccitolerans	۱۲/۱۹^{d}	۳۸/۲۸^{c}	۲۶/۱^{c}	۳/۸^{c}
	Piriformospora indica	۱۲/۸۵^{cd}	۳۹/۶۶^{bc}	۲۶/۷۸^{c}	۳/۷۷^{c}
تنش	بدون تلقیح	۱۸/۷۶^{a}	۴۲/۹۴^{a}	۳۵/۶۴^{a}	۵/۴۴^{a}
	Arthrobacter siccitolerans	۱۶/۷۵^{b}	۴۱/۳^{ab}	۳۳/۴^{ab}	۴/۹^{b}
	Piriformospora indica	۱۷/۱۷^{b}	۴۱/۴۹^{ab}	۳۲/۶^{b}	۴/۸^{b}

میانگین‌های دارای حرف مشترک در یک ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند (LSD).

جدول ۶. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری شرایط رطوبتی، ژنوتیپ و میکروارگانیسم بر عملکرد دانه، سوپراکسید دیسموتاز، پرولین و مالون دی آلدهید ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش و میکروارگانیسم‌ها طی دو سال زراعی

شرایط رطوبتی	میکروارگانیسم‌ها	ژنوتیپ	عملکرد دانه (کیلوگرم برهکتار)	سوپراکسید دیسموتاز (واحد بر میلی‌گرم پروتئین)	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	مالون دی آلدهید (نانو مول بر گرم وزن تر)
بدون تنش	بدون تلقیح	مودنا	۲۹۹۵^{d}	۱۳/۹۵^{lmn}	۳۴/۵۰^{h}	۴/۳۰$^{e-h}$
		کرج– ۱	۲۷۶۲^{ej}	۱۱/۲۵^{vwx}	۳۱/۸۸^{klm}	۳/۹۰$^{l-o}$
		کرج– ۲	۲۷۱۷$^{g-l}$	۱۲/۲۸$^{r-v}$	۳۴/۰۰^{hi}	۴/۲۵^{fgh}
		کرج– ۳	۲۶۳۷^{klm}	۱۲/۹۳$^{o-s}$	۳۳/۱۸^{ij}	۴/۰۰$^{i-m}$
		اکاپی	۲۸۵۰^{ef}	۱۰/۹۰^{wx}	۲۹/۳۷^{o}	۴/۰۰$^{i-m}$
		لیکورد	۲۸۳۵^{ef}	۱۳/۹۵^{lmn}	۳۹/۱۵^{e}	۴/۴۸$^{d-g}$
		اپرا	۲۵۷۶^{mno}	۱۵/۳۷^{j}	۲۸/۰۰^{p}	۳/۹۰$^{l-o}$
		زرفام	۲۴۹۵^{no}	۱۵/۵۸^{j}	۲۲/۵۳^{tuv}	۳/۳۷$^{o-s}$
		SLM-046	۲۳۳۷^{qrs}	۱۸/۹۳^{de}	۲۳/۷۰^{rs}	۳/۸۳$^{l-o}$
		طلایه	۳۱۸۷^{b}	۱۲/۵۷$^{p-u}$	۳۸/۸۸^{f}	۴/۵۲$^{d-g}$
	Arthrobacter siccitolerans	مودنا	۳۲۰۴^{b}	۱۲/۱۲$^{s-w}$	۲۱/۳۸^{u}	۴/۰۰$^{i-m}$
		کرج– ۱	۳۰۷۲^{cd}	۱۰/۹۸^{wx}	۳۰/۲۵^{no}	۳/۹۵$^{j-n}$
		کرج– ۲	۲۹۷۹^{d}	۱۲/۰۲^{w}	۳۰/۲۵^{no}	۴/۱۷$^{g-j}$
		کرج– ۳	۲۸۵۴^{ef}	۱۱/۷۸^{vwx}	۳۲/۲۷^{jkl}	۳/۸۵$^{l-o}$
		اکاپی	۳۳۳۹^{a}	۱۰/۵۸^{yz}	۲۵/۵۸^{q}	۳/۳۷$^{o-s}$
		لیکورد	۳۲۲۱^{b}	۱۱/۶۳^{vwx}	۳۹/۰۸^{e}	۴/۳۳$^{e-h}$
		اپرا	۲۷۹۲$^{e-j}$	۱۲/۱۰$^{s-w}$	۲۵/۵۵^{q}	۳/۲۷$^{p-s}$
		زرفام	۲۶۹۶$^{h-l}$	۱۳/۷۸$^{l-o}$	۱۵/۲۵^{z}	۳/۱۸^{rs}
		SLM-046	۲۶۱۸^{lm}	۱۶/۹۵^{hi}	۱۸/۷۲^{v}	۳/۶۸$^{m-p}$
		طلایه	۳۴۲۱/۰۷^{a}	۹/۹۵^{z}	۲۲/۶۳st	۴/۱۸$^{g-j}$

ادامه جدول ۶.

	میکروارگانیسم‌ها	ژنوتیپ	عملکرد دانه (کیلوگرم برهکتار)	سوپراکسید دیسموتاز (واحد بر میلی‌گرم پروتئین)	پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	مالون دی آلدهید (نانومول بر گرم وزن تر)
بدون تنش	*Piriformospora indica*	مودنا	۳۱۵۴^{bc}	۱۳/۰۳$^{o-r}$	۲۶/۸۲^{p}	۳/۹۲$^{j-n}$
		کرج– ۱	۲۸۳۶^{ef}	۱۱/۲۲^{vwx}	۳۰/۸۵^{mn}	۳/۹۳$^{j-n}$
		کرج– ۲	۲۸۷۳^{e}	۱۲/۰۷$^{t-w}$	۳۰/۸۸^{mn}	۴/۱۵$^{g-k}$
		کرج– ۳	۲۸۶۴^{e}	۱۲/۷۵$^{p-s}$	۳۲/۵۰^{jk}	۳/۷۸^{mn}
		اکاپی	۳۱۵۰^{bc}	۱۰/۹۲^{wx}	۲۶/۹۵^{p}	۳/۵۱$^{n-r}$
		لیکورد	۳۱۶۵^{bc}	۱۲/۶۳$^{p-t}$	۳۸/۷۳^{f}	۴/۱۳$^{g-k}$
		اپرا	۲۷۹۸$^{e-h}$	۱۲/۷۰$^{p-s}$	۲۴/۴۰^{qr}	۳/۱۰^{s}
		زرفام	۲۶۷۸$^{j-m}$	۱۴/۱۷^{lm}	۱۶/۶۰^{w}	۳/۳۳$^{p-s}$
		SLM-046	۲۴۷۲^{op}	۱۷/۱۷^{hi}	۱۷/۸۸^{v}	۳/۸۵$^{l-o}$
		طلایه	۳۳۶۱^{a}	۱۱/۳۷^{vwx}	۲۲/۲۲^{tu}	۴/۰۸$^{h-l}$
تنش	بدون تلقیح	مودنا	۲۳۶۷^{pqr}	۲۳/۳۷^{a}	۴۷/۷۳^{a}	۴/۹۸^{cde}
		کرج– ۱	۲۱۴۵^{uvw}	۱۳/۲۲$^{n-q}$	۳۲/۲۸^{jkl}	۴/۵۸$^{d-g}$
		کرج– ۲	۲۰۳۶^{xy}	۱۴/۱۸^{lm}	۳۶/۲۲^{q}	۵/۰۸^{cd}
		کرج– ۳	۱۹۶۷^{yz}	۱۴/۵۷^{kl}	۳۳/۸۷^{hi}	۴/۹۷^{cde}
		اکاپی	۲۳۷۶^{pq}	۱۳/۳۷$^{m-p}$	۳۴/۲۲^{ij}	۶/۳۲^{c}
		لیکورد	۲۴۷۱^{op}	۲۱/۰۰^{b}	۳۹/۳۸^{e}	۴/۶۰$^{d-g}$
		اپرا	۲۱۹۵$^{t-w}$	۲۳/۶۷^{a}	۲۷/۲۸^{p}	۷/۱۷^{b}
		زرفام	۱۹۸۵^{yz}	۲۱/۶۷^{b}	۲۷/۵۰^{p}	۳/۹۰$^{k-n}$
		SLM-046	۱۹۱۰^{z}	۲۲/۹۲^{a}	۳۱/۸۳^{klm}	۷/۹۰^{a}
		طلایه	۲۵۸۲^{mn}	۲۰/۰۲^{c}	۴۶/۱۰^{b}	۴/۸۸$^{c-f}$
	Arthrobacter siccitolerans	مودنا	۲۸۱۳^{efg}	۲۱/۱۵^{b}	۴۱/۹۳^{d}	۴/۸۰$^{c-f}$
		کرج– ۱	۲۴۷۲ ^{op}	۱۲/۴۳$^{q-w}$	۳۲/۰۵$^{j-m}$	۴/۳۷^{efg}
		کرج– ۲	۲۲۲۷^{tuv}	۱۳/۷۷$^{l-o}$	۳۴/۴۷^{i}	۴/۷۵$^{c-f}$
		کرج– ۳	۲۲۱۲$^{t-w}$	۱۴/۳۷^{kl}	۳۲/۵۵^{jk}	۴/۵۷$^{d-g}$
		اکاپی	۲۷۶۰ $^{e-j}$	۱۲/۸۸$^{p-s}$	۳۰/۴۷^{no}	۵/۰۵^{cd}
		لیکورد	۲۶۸۵$^{-m}$	۱۷/۶۷^{gh}	۳۶/۴۷^{g}	۴/۰۸$^{h-l}$
		اپرا	۲۲۷۲^{rst}	۱۸/۲۰^{efg}	۲۷/۰۷^{p}	۴/۱۸^{c}
		زرفام	۲۱۲۳^{vwx}	۱۸/۸۰^{ef}	۲۵/۵۰^{q}	۳/۵۵$^{n-q}$
		SLM-046	۲۱۱۱^{wx}	۲۱/۵۸^{b}	۳۰/۰۸^{no}	۷/۰۵^{b}
		طلایه	۲۷۷۷$^{e-j}$	۱۶/۶۳^{i}	۴۳/۵۳^{c}	۴/۵۸$^{d-g}$
	Piriformospora indica	مودنا	۲۶۶۶$^{j-m}$	۲۱/۶۷^{b}	۴۳/۱۰^{c}	۴/۸۳$^{c-f}$
		کرج– ۱	۲۳۸۹^{pq}	۱۲/۹۲$^{o-t}$	۳۲/۰۳$^{j-m}$	۴/۳۶^{efg}
		کرج– ۲	۲۲۲۵^{tuv}	۱۴/۱۸^{lm}	۳۴/۶۸^{h}	۴/۸۱$^{c-f}$
		کرج– ۳	۲۲۳۹^{stu}	۱۵/۱۵^{jk}	۳۱/۰۲^{lmn}	۴/۶۱$^{d-g}$
		اکاپی	۲۷۴۱$^{f-k}$	۱۲/۹۵$^{o-s}$	۲۹/۴۶^{o}	۴/۹۳^{cde}
		لیکورد	۲۶۲۳^{lm}	۱۸/۰۲^{fg}	۳۵/۸۷^{h}	۳/۹۸$^{i-n}$
		اپرا	۲۳۸۲^{pq}	۱۹/۶۷^{cd}	۲۷/۷۰^{p}	۵/۲۷^{c}
		زرفام	۲۱۷۳$^{t-w}$	۱۸/۹۵^{de}	۲۴/۲۳^{r}	۳/۵۸$^{n-q}$
		SLM-046	۲۱۰۵^{wx}	۲۱/۲۷^{b}	۲۷/۲۵^{p}	۷/۵۸^{ab}
		طلایه	۲۸۲۳^{efg}	۱۷/۰۰^{hi}	۴۰/۶۲^{d}	۴/۴۲$^{e-h}$

میانگین‌های دارای حرف مشترک در یک ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است. (LSD).

ادامه جدول ۶. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری شرایط رطوبتی، میکروارگانیسم و ژنوتیپ بر درصد روغن دانه، عملکرد روغن، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت شرایط تنش و بدون تنش و میکروارگانیسم‌ها طی دو سال زراعی

شرایط رطوبتی	میکروارگانیسم‌ها	ژنوتیپ	روغن دانه	عملکرد روغن دانه	آسکوربات پراکسیداز	کاتالاز	پراکسیداز
			(درصد)	(کیلوگرم برهکتار)	(واحد بر میلی‌گرم پروتئین)		
بدون تنش	بدون تلقیح	مودنا	۴۶/۰۰^{b}	۱۳۷۷^{fg}	۴۵/۹۶^{bcd}	۳۴/۵۶^{cd}	۱۶/۲۷^{q}
		کرج– ۱	۳۹/۱۶$^{p-s}$	۱۰۸۶$^{n-q}$	۳۹/۴۵$^{l-n}$	۲۶/۷۰^{lm}	۳۰/۸۸^{bcd}
		کرج– ۲	۳۷/۳۳^{vw}	۱۰۱۴^{qrs}	۴۳/۶۰$^{e-h}$	۲۶/۲۶$^{l-o}$	۲۱/۶۵^{no}
		کرج– ۳	۴۰/۸۳$^{m-p}$	۱۰۷۶^{opq}	۴۳/۰۶$^{f-i}$	۲۴/۴۵^{stu}	۲۵/۰۸^{ijk}
		اکاپی	۴۷/۶۶^{ab}	۱۳۶۶^{fg}	۲۹/۲۸^{vw}	۲۳/۴۳^{vw}	۲۷/۸۵^{gh}
		لیکورد	۴۶/۰۰^{b}	۱۳۰۴^{fg}	۴۵/۲۶$^{c-f}$	۳۳/۵۵^{ef}	۳۰/۶۳^{bcd}
		اپرا	۴۰/۶۶$^{m-p}$	۱۰۴۷^{pqr}	۴۲/۹۰$^{f-i}$	۳۴/۴۰^{de}	۲۰/۶۸^{o}
		زرفام	۴۴/۳۳^{efg}	۱۱۰۶^{nop}	۴۱/۲۳$^{i-m}$	۳۱/۱۳^{ijk}	۲۵/۱۱^{ijk}
		SLM-046	۴۲/۵۰$^{g-i}$	۹۹۳$^{r-u}$	۳۷/۴۸^{no}	۳۱/۵۳$^{h-k}$	۱۷/۲۶^{pq}
		طلایه	۴۴/۵۸$^{c-g}$	۱۴۰۸^{ef}	۳۲/۹۶^{s}	۲۵/۴۱$^{o-t}$	۱۸/۱۷^{p}
	Arthrobacter siccitolerans	مودنا	۴۵/۸۳^{bc}	۱۴۷۸^{cde}	۴۵/۰۱$^{c-g}$	۳۳/۶۵^{ef}	۱۴/۵۶^{r}
		کرج– ۱	۳۸/۳۳$^{s-w}$	۱۱۶۲^{hij}	۳۸/۱۵^{mno}	۲۶/۳۶$^{l-o}$	۳۰/۵۵^{bcd}
		کرج– ۲	۳۷/۸۳$^{t-w}$	۱۱۲۱$^{k-o}$	۴۰/۵۱$^{j-n}$	۲۴/۸۱$^{g-t}$	۲۱/۹۱^{no}
		کرج– ۳	۴۰/۰۰^{nop}	۱۱۴۲^{jkl}	۴۱/۸۰^{ij}	۲۴/۰۱^{vw}	۲۴/۰۰^{jkl}
		اکاپی	۴۸/۵۰^{a}	۱۶۲۰^{a}	۲۷/۵۶^{x}	۲۲/۹۶^{vw}	۲۷/۳۵^{h}
		لیکورد	۴۵/۳۳$^{b-e}$	۱۴۶۰$^{c-f}$	۴۲/۰۱^{hij}	۳۲/۵۰^{fg}	۲۴/۳۶$^{i-l}$
		اپرا	۴۰/۳۳^{nop}	۱۱۲۶^{klm}	۴۲/۹۱$^{f-i}$	۳۴/۱۸^{de}	۲۱/۵۱^{no}
		زرفام	۴۴/۸۳$^{b-f}$	۱۲۰۸^{ghi}	۳۹/۸۵$^{k-n}$	۳۰/۴۶^{jkl}	۲۲/۹۱^{lmn}
		SLM-046	۴۲/۶۶^{bc}	۱۱۱۷$^{l-o}$	۳۵/۳۵^{qr}	۳۱/۵۶$^{h-k}$	۱۷/۸۰^{p}
		طلایه	۴۴/۸۳$^{b-f}$	۱۵۳۴^{bc}	۲۹/۶۵^{uvw}	۲۵/۹۷$^{l-p}$	۱۷/۶۵^{pq}
	Piriformospora indica	مودنا	۴۵/۸۳^{bc}	۱۴۴۵^{def}	۴۵/۵۰$^{b-e}$	۳۴/۳۶^{de}	۱۴/۰۵^{r}
		کرج– ۱	۳۹/۰۰$^{q-t}$	۱۱۱۳^{mno}	۳۸/۱۱^{mno}	۲۴/۶۸$^{r-u}$	۲۹/۷۵^{def}
		کرج– ۲	۳۸/۸۳$^{q-u}$	۱۱۱۵$^{l-o}$	۴۲/۲۰$^{g-j}$	۲۵/۵۵$^{m-t}$	۲۱/۰۵^{o}
		کرج– ۳	۴۱/۱۶$^{l-o}$	۱۱۷۷^{ijk}	۴۲/۳۵$^{g-j}$	۲۴/۵۰^{rst}	۲۳/۵۸^{klm}
		اکاپی	۴۹/۱۶^{a}	۱۵۴۹^{ab}	۲۸/۷۱^{w}	۲۲/۵۶^{w}	۲۵/۶۶^{i}
		لیکورد	۴۵/۶۶^{bcd}	۱۴۴۶^{def}	۴۲/۵۶$^{g-j}$	۳۱/۸۶^{ghi}	۲۴/۵۸^{ijk}
		اپرا	۴۰/۸۳$^{m-p}$	۱۱۴۳^{jkl}	۴۳/۰۱$^{f-i}$	۳۴/۳۰^{de}	۲۱/۵۱^{no}
		زرفام	۴۵/۲۵$^{b-f}$	۱۲۱۲^{ghi}	۴۱/۰۱$^{i-m}$	۳۰/۶۵$^{i-l}$	۲۱/۲۶^{o}
		SLM-046	۴۲/۶۶^{gkl}	۱۰۶۲$^{o-r}$	۳۶/۳۵^{pq}	۳۱/۴۵^{ijk}	۱۷/۸۰^{p}
		طلایه	۴۴/۸۳$^{b-f}$	۱۵۰۷^{cd}	۳۶/۷۸^{o}	۲۶/۱۰$^{l-p}$	۱۶/۷۵^{pq}
تنش	بدون تلقیح	مودنا	۴۲/۳۳$^{g-n}$	۱۰۰۲$^{q-t}$	۴۶/۴۸^{bc}	۳۵/۳۷^{c}	۲۷/۲۶^{h}
		کرج– ۱	۳۷/۱۶^{w}	۷۹۷^{wxy}	۴۲/۴۵$^{g-j}$	۲۸/۲۸^{klm}	۳۱/۹۳^{b}
		کرج– ۲	۳۷/۵۰^{ab}	۷۶۳/۳۳^{y}	۴۵/۱۱$^{c-g}$	۲۸/۰۷^{klm}	۲۴/۰۳^{jkl}

ادامه جدول ۶.

شرایط رطوبتی	میکروارگانیسم‌ها	ژنوتیپ	روغن دانه	عملکرد روغن دانه	آسکوربات پراکسیداز	کاتالاز	پراکسیداز
			(درصد)	(کیلوگرم برهکتار)	(واحد بر میلی‌گرم پروتئین)		
تنش	*Arthrobacter siccitolerans*	کرج– ۳	۴۰/۵۰$^{m-p}$	۷۹۷^{wxy}	۴۶/۴۶^{bc}	۲۶/۵۸^{lmn}	۲۹/۶۸^{def}
		اکاپی	۴۲/۵۰$^{g-m}$	۱۰۱۱^{qrs}	۳۱/۳۰^{tu}	۲۵/۰۶$^{p-t}$	۲۳/۹۸^{jkl}
		لیکورد	۴۱/۳۰$^{l-o}$	۱۰۲۱$^{p-s}$	۵۰/۹۰^{a}	۳۹/۳۰^{a}	۳۳/۸۸^{a}
		اپرا	۳۹/۷۵^{opq}	۸۷۳$^{t-w}$	۴۴/۱۶$^{d-h}$	۳۳/۳۷^{ef}	۲۱/۲۵^{o}
		زرفام	۴۴/۰۰$^{f-i}$	۸۷۳$^{t-w}$	۴۲/۲۵$^{g-j}$	۳۱/۷۱$^{g-k}$	۳۳/۹۵^{a}
		SLM-046	۴۱/۳۳$^{l-o}$	۷۸۹^{wx}	۴۵/۳۳$^{b-f}$	۳۱/۳۰$^{i-l}$	۲۳/۹۶^{jkl}
		طلایه	۴۳/۵۰^{ghi}	۱۱۲۳$^{k-n}$	۳۴/۹۷^{r}	۲۵/۷۱$^{l-r}$	۲۳/۹۶^{jkl}
	Piriformospora indica	مودنا	۴۲/۸۳^{ijk}	۱۲۰۵^{hi}	۴۶/۴۶^{bc}	۳۲/۸۱^{f}	۲۵/۵۰^{ij}
		کرج– ۱	۳۷/۶۶$^{u-w}$	۹۳۲^{stu}	۴۱/۲۶$^{i-l}$	۲۶/۷۱^{lm}	۲۸/۵۵^{fgh}
		کرج– ۲	۳۸/۵۰$^{r-v}$	۸۵۸^{vwx}	۴۲/۵۸$^{g-j}$	۲۵/۸۸$^{l-q}$	۲۳/۷۵^{kl}
		کرج– ۳	۴۱/۱۶$^{l-o}$	۹۰۹$^{s-v}$	۴۴/۰۶$^{d-h}$	۲۵/۳۰$^{o-t}$	۲۹/۷۱^{def}
		اکاپی	۴۲/۵۰$^{g-m}$	۱۱۷۳^{hij}	۲۹/۹۸^{uv}	۲۳/۷۳^{uv}	۲۴/۱۳^{jkl}
		لیکورد	۴۱/۵۰^{lmn}	۱۱۱۴^{mno}	۵۰/۰۶^{a}	۳۶/۵۵^{b}	۳۰/۹۳^{bcd}
		اپرا	۳۹/۶۶$^{o-r}$	۹۰۱^{tuv}	۴۴/۵۶$^{d-g}$	۳۴/۱۰^{def}	۲۰/۹۳^{o}
		زرفام	۴۴/۵۰$^{d-g}$	۹۴۵^{stu}	۴۱/۳۵$^{i-l}$	۳۰/۹۳^{ijk}	۳۱/۳۸^{bc}
		SLM-046	۴۱/۵۰^{lmn}	۸۷۶$^{t-w}$	۴۰/۳۸$^{j-n}$	۳۰/۵۱^{jkl}	۲۱/۸۳^{no}
		طلایه	۴۴/۰۰$^{f-i}$	۱۲۲۲^{gh}	۳۲/۲۷st	۲۶/۳۷$^{l-p}$	۲۲/۱۸^{mno}
	Piriformospora indica	مودنا	۴۳/۳۳^{ghi}	۱۱۵۵^{ijk}	۴۶/۱۱^{bcd}	۳۳/۷۰^{ef}	۲۴/۱۰^{jkl}
		کرج– ۱	۳۸/۳۳$^{s-w}$	۹۱۶$^{s-v}$	۴۱/۷۸^{ijk}	۲۶/۱۳$^{l-p}$	۳۰/۱۱^{cde}
		کرج– ۲	۳۹/۰۰$^{q-t}$	۸۶۸^{vwx}	۴۳/۷۶$^{e-h}$	۲۶/۲۱$^{l-o}$	۲۴/۰۱^{jkl}
		کرج– ۳	۴۲/۰۰$^{k-n}$	۹۴۰^{stu}	۴۴/۷۱$^{d-g}$	۲۵/۶۱$^{l-s}$	۲۸/۴۰^{fgh}
		اکاپی	۴۳/۰۰$^{h-k}$	۱۱۷۹^{hij}	۳۰/۷۳^{uv}	۲۵/۰۵$^{l-t}$	۲۳/۵۱^{klm}
		لیکورد	۴۱/۸۳^{lmn}	۱۰۷۹^{nop}	۵۰/۳۳^{a}	۳۶/۵۸^{b}	۳۰/۴۶$^{b-e}$
		اپرا	۴۰/۳۳^{nop}	۹۶۲st	۴۳/۲۵$^{e-i}$	۳۴/۵۱^{cd}	۲۱/۸۰^{no}
		زرفام	۴۴/۳۳^{efg}	۹۶۴st	۴۰/۸۰$^{j-m}$	۳۱/۶۰$^{h-k}$	۲۹/۰۰^{efg}
		SLM-046	۴۱/۸۳^{lmn}	۸۸۱$^{t-w}$	۴۱/۴۸$^{i-l}$	۳۰/۴۳^{jkl}	۲۱/۷۳^{no}
		طلایه	۴۴/۱۷$^{e-h}$	۱۲۴۶^{gh}	۳۱/۹۵st	۴۵/۲۵$^{n-t}$	۲۰/۶۳^{o}

میانگین‌های دارای حرف مشترک در یک ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند (LSD).

اکاپی با میانگین ۲۲/۹ (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) تحت شرایط آبیاری معمول بود. بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز مربوط به ژنوتیپ لیکورد تحت شرایط تنش آبیاری با میانگین ۳۱/۷ (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) بوده و کمترین فعالیت این آنزیم مربوط به ژنوتیپ مودنا تحت شرایط آبیاری معمول با میانگین ۱۴/۹ (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) بود (جدول ۴). فعالیت این آنزیم نیز همانند فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در سلول‌ها در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی، مانند خشکی افزایش می‌یابد. پراکسیدازها خانواده‌ای از آنزیم‌ها هستند که برای بسیاری از آنزیم‌ها، سوبسترای پراکسید هیدروژن (H_2O_2) خواهند بود. نتایج

جدول ۷. ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده طی دو سال آزمایش

ردیف	عملکرد دانه	درصد روغن دانه	عملکرد روغن	سوپراکسید دیسموتاز	آسکوربات پراکسیداز	کاتالاز	پراکسیداز	پرولین	مالون دی آلدهید
عملکرد دانه	۱								
درصد روغن دانه	۰/۴۱**	۱							
عملکرد روغن	۰/۸۸**	۰/۷۴**	۱						
سوپر اکسید دیسموتاز	-۰/۲۸**	۰/۰۸^{ns}	-۰/۱۸**	۱					
آسکوربات پراکسیداز	-۰/۳۶**	-۰/۲۴**	-۰/۳۷**	۰/۵**	۱				
کاتالاز	-۰/۱^{ns}	۰/۰۹^{ns}	-۰/۰۳^{ns}	۰/۶۲**	۰/۷۲**	۱			
پراکسیداز	-۰/۱^{ns}	۰/۱^{ns}	-۰/۰۸^{ns}	-۰/۱۴*	۰/۰۳^{ns}	۰/۱^{ns}	۱		
پرولین	۰/۴۸**	۰/۱۱*	۰/۳۷**	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۱^{ns}	-۰/۰۶^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۱	
مالون دی آلدهید	-۰/۰۷^{ns}	-۰/۱۴*	-۰/۰۹^{ns}	۰/۲**	۰/۰۲^{ns}	-۰/۰۲^{ns}	۰/۴**	۰/۰۴^{ns}	۱

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

دیگری نیز تأثیر معنی‌دار تنش خشکی بر میزان فعالیت آنزیم‌ها در گیاه کلزا را گزارش کردند (۱۹). نتایج مقایسات میانگین اثرات متقابل ژنوتیپ و میکروارگانیسم بر میزان فعالیت آسکوربات پراکسیداز نشان داد که ژنوتیپ لیکورد تحت شرایط بدون استفاده از میکروارگانیسم (شاهد) با میانگین ۴۸/۸ (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) بیشترین میانگین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) و کمترین میانگین فعالیت این آنزیم مربوط به ژنوتیپ اکاپی تحت شرایط تلقیح با باکتری *A. siccitolerans* با میانگین ۲۸/۷ (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) بود (جدول ۳). این آنزیم نیز نقش کلیدی در پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن و حفاظت از سلول‌ها در مقابل اثرهای مخرب آن در جلبک و گیاهان عالی دارند (۲۱). نتایج این تحقیق با یافته‌های عمر و همکاران (۲۵) که کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز گیاهچه‌های جو تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد را گزارش کردند، مطابقت داشت. کاربرد قارچ *p. indica* و باکتری *A. siccitolerans* تحت شرایط بدون تنش به‌ترتیب باعث کاهش ۶/۶۸ و ۱۱/۴ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) شد. تحت شرایط تنش خشکی نیز کاربرد قارچ *p. indica* و باکتری *A. siccitolerans* به‌ترتیب باعث کاهش ۸/۴۷ و ۱۰/۷ درصدی فعالیت این آنزیم شد (جدول ۵). همچنین کاربرد قارچ *p. indica* و باکتری *A. siccitolerans* تحت شرایط بدون تنش به‌ترتیب باعث کاهش ۱/۹ و ۲/۱ درصدی میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز ژنوتیپ‌های مختلف کلزا شد. تحت شرایط تنش خشکی نیز کاربرد قارچ *p. indica* و باکتری *A. siccitolerans* به‌ترتیب باعث کاهش ۳/۰۲ و ۳/۷۹ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز شد (جدول ۶) که نشان‌دهنده تأثیر میکرواگانیسم‌های محرک رشد گیاه تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش در تعدیل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بود. البته فعالیت این آنزیم بسته به حساسیت ژنوتیپ‌های مختلف به تنش خشکی و همچنین پتانسیل ژنتیکی گونه‌های مختلف متفاوت است (۲۰). همچنین نتایج مقایسات نتایج میانگین ترکیب تیماری کاربرد قارچ *P. indica* و باکتری *A. siccitolerans* تحت شرایط بدون تنش و تنش نشان داد که کمترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) مربوط به ترکیب تیماری شرایط آبیاری معمول و کاربرد باکتری *A. siccitolerans* با میانگین ۳۸/۲۸ و بیشترین فعالیت این آنزیم مربوط به ترکیب تیماری شرایط تنش رطوبتی بدون تلقیح با میانگین ۴۲/۹ (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) بود (جدول ۵). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش خشکی به‌عنوان یک مکانیسم دفاعی برای کاهش اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد بوده و از این طریق باعث حذف و یا

کم کردن اثرات تنش می‌شود، اما به نظر می‌رسد استفاده از باکتری *A. siccitolerans* از طریق ترشح هورمون و فاکتورهای تحریک‌کننده رشد، با افزایش سطح و گسترش ریشه گیاه، باعث بهبود جذب آب و عناصر معدنی شده و ضمن کم کردن اثرات تنش و افزایش رشد و عملکرد گیاه، باعث تعدیل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شد. قارچ *p. indica* نیز به واسطه انشعابات میسلیومی خود سطحی اضافه را برای جذب آب و عناصر غذایی به وجود می‌آورد و در نتیجه دریافت آب و مواد معدنی افزایش یافته، و این میکروارگانیسم نیز ضمن افزایش عملکرد کلزا، باعث تعدیل فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان شد. این نتایج با یافته‌های پاداشی و همکاران (۲۷) که گزارش کردند همزیستی گیاه کاهو تلقیح شده با قارچ، نقش مهمی در تعدیل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان دارد و یافته‌های کومار و همکاران (۱۸) که عنوان کردند تلقیح بذور ذرت با قارچ *P. indica* باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود ، مطابقت داشت. همچنین با یافته‌های نوید و همکاران (۲۴) که اثر مثبت مشابهی از باکتری‌های محرک رشد در تعادل متابولیک و کاهش اثر تنش خشکی تحت شرایط کم آبیاری در گندم را گزارش کردند، مطابقت داشت. نتایج این تحقیق با یافته‌های بنی‌عقیل و همکاران (۵) که بیان داشتند تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز گیاه کلزا شد اما تیمارهای باکتریایی نیاز به فعالیت آنزیم را کاهش داد، مطابقت داشت. پایین بودن فعالیت آنزیم در تیمارهای حاوی باکتری، احتمالاً نشان‌دهنده این موضوع است که باکتری گیاه را در شرایط مناسب‌تری قرار داده است.

مقدار پرولین

نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده میکروارگانیسم و ژنوتیپ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار مقدار پرولین در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). همچنین اثر متقابل ترکیب تیماری شرایط رطوبتی در میکروارگانیسم، شرایط رطوبتی در ژنوتیپ، میکروارگانیسم در ژنوتیپ و شرایط رطوبتی در میکروارگانیسم در ژنوتیپ نیز نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار مقدار پرولین در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۲). مقایسات میانگین ترکیب تیماری شرایط رطوبتی و ژنوتیپ نیز نشان داد که ژنوتیپ مودنا و طلایه تحت شرایط اعمال تنش آبی دارای بیشترین مقدار پرولین به‌ترتیب با میانگین ۴۴/۲ و ۴۳/۴ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بوده و کمترین مقدار مربوط به ارقام زرفام و SLM-046 به‌ترتیب با میانگین ۱۸/۱ و ۲۰ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود (جدول ۴). با توجه به اینکه تحت شرایط تنش خشکی بیشترین مقدار پرولین و عملکرد دانه و روغن دانه در ژنوتیپ‌های مودنا و طلایه مشاهد شد، بالا بودن مقدار پرولین این دو ژنوتیپ تحت شرایط تنش خشکی می‌تواند نشان‌دهنده مقاومت این دو ژنوتیپ نسبت به تنش خشکی باشد. لطفی و همکاران (۱۹) نیز بیان کردند که مقدار پرولین در بوته‌های کلزا تحت شرایط تنش خشکی در مقایسه با شرایط نرمال و بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. نتایج مقایسات میانگین ترکیب تیماری ژنوتیپ و میکروارگانیسم این تحقیق نشان داد که بیشترین مقدار پرولین با میانگین ۴۲/۴۹ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به ژنوتیپ طلایه تحت شرایط بدون استفاده از میکروارگانیسم و کمترین مقدار مربوط به ژنوتیپ زرفام تحت هر دو شرایط تلقیح با قارچ *P. indica* و باکتری *A. siccitolerans* به‌ترتیب با میانگین ۲۰/۴۱ و ۲۰/۳۷ (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود (جدول ۳). معمولاً گیاهان دارای همزیستی با مایکوریزا با استفاده از روابط آبی و تغذیه بهتر نسبت به گیاهان بدون همزیستی با مایکوریزا در شرایط تنش خشکی، کمتر دچار آسیب می‌شوند و در نتیجه با تغییر در میزان پرولین، گیاه را از صدمات تنش خشکی محافظت می‌کنند (۳۳).

مالون دی آلدهید

نتایج نشان داد اثر ساده میکروارگانیسم و ژنوتیپ بر میزان مالون دی آلدهید (MDA) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل ترکیب تیماری تنش در ژنوتیپ، میکروارگانیسم در ژنوتیپ و تنش در میکروارگانیسم در ژنوتیپ نیز در سطح احتمال یک درصد

معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسات میانگین اثرات متقابل تنش در میکروارگانیسم در ژنوتیپ نشان داد که بیشترین مقدار بیومارکر مالون دی آلدهید مربوط به ژنوتیپ SLM-046 تحت شرایط تنش خشکی و بدون استفاده از میکروارگانیسم با میانگین ۷/۹ (نانومول بر گرم وزن تر) بود و کمترین مقدار بیومارکر مالون دی آلدهید نیز مربوط به ژنوتیپ زرفام تحت شرایط بدون اعمال تنش خشکی و استفاده از میکروارگانیسم *P. indica* با میانگین ۳/۱ (نانومول بر گرم وزن تر) بود (جدول ۶). بالا بودن مقدار بیوماکر MDA در ژنوتیپ SLM-046 نشان‌دهنده پایین بودن توان آنتی‌اکسیدانتی آنزیمی این ژنوتیپ در برابر تنش اکسیداتیو و کاهش میزان تخریب اکسیداتیو غشاءهای زیستی بوده و در نهایت باعث شد تا علاوه بر پایین بودن تحمل این ژنوتیپ نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها، عملکرد دانه و روغن دانه کمتری داشته باشد. ضمناً این موضوع بیانگر رابطه منفی میان مقدار مالون دی آلدهید با عملکرد دانه و روغن دانه بود (جدول ۷). بررسی‌های رشیدی و همکاران (۲۹) نیز نشان داد قطع آبیاری در مرحله گلدهی باعث افزایش چشمگیر MDA در کلزا به‌ویژه ارقام حساس شد. همچنین نتایج نشان داد در شرایط تنش خشکی، تلقیح بذور با قارچ *p. indica* و باکتری *A. siccitolerans* باعث کاهش مقدار بیومارکر مالون دی آلدهید به‌ترتیب به میزان ۱۱/۷ و ۹/۹ درصد نسبت به شرایط بدون استفاده از میکروارگانیسم شد (جدول ۵). کاهش مقدار بیوماکر MDA تحت شرایط تلقیح بذور با قارچ *P. indica* و باکتری *A. siccitolerans*، می‌تواند نشان‌دهنده بهبود رشد ریشه و افزایش قابلیت جذب آب و عناصر غذایی توسط ریشه گیاه باشد. کاهش در میزان مالون دی آلدهید برگ‌های گیاه گندم تلقیح شده با قارچ *P. indica* توسط عبادی و سپهری (۱) و همچنین اثر مثبت تلقیح بذور با قارچ‌های میکوریزی بر افزایش عملکرد و کاهش مالون دی آلدهید گیاه هندوانه نسبت به شرایط بدون تلقیح توسط مو و همکاران (۲۲) گزارش شده است، که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. ایسلام و همکاران (۱۵) نیز با بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه بر تحمل گیاه ماش به تنش شوری از طریق تنظیم دفاع آنتی‌اکسیدانتی نتیجه گرفتند که تحت شرایط تنش، بوته‌های تلقیح شده، بیومارکر مالون دی آلدهید کمتری داشتند. همچنین گزارش شده که بوته‌های تیمار شده با باکتری‌های محرک رشد نقش مهمی در بالا بردن تحمل آنها نسبت به تنش‌های مختلف از جمله خشکی و شوری ایفا می‌کنند (۱۴).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد تلقیح بذور با باکتری *A. siccitolerans* و قارچ *P. indica* عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه ژنوتیپ‌های مورد استفاده را افزایش و در مقابل باعث تعدیل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مالون دی آلدهید و پرولین شد. احتمالاً کاربرد باکتری‌های محرک رشد و قارچ‌های میکوریزا با توجه به شرایط مناسب‌تری که برای جذب آب و عناصر غذایی برای گیاه فراهم می‌آورند موجب افزایش عملکرد و کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شوند. به نظر می‌رسد استفاده از باکتری *A. siccitolerans* و قارچ *P. indica* ضمن کاهش اثرات تنش خشکی باعث بهبود عملکرد دانه و روغن دانه تحت هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی شدند که در این میان ژنوتیپ طلایه تحت شرایط تنش و کاربرد قارچ *P. indica* بیشترین عملکرد روغن دانه را داشت و تحت شرایط آبیاری کامل و کاربرد قارچ *P. indica* نیز ژنوتیپ اکاپی بیشترین عملکرد روغن دانه را داشت. ضمناً با توجه به اینکه تحت شرایط تنش خشکی بیشترین مقدار پرولین، عملکرد دانه و روغن دانه در ژنوتیپ‌های مودنا و طلایه مشاهد شد بنابراین بالا بودن مقدار پرولین می‌تواند نشان‌دهنده مقاومت این دو ژنوتیپ نسبت به تنش خشکی باشد که می‌توان این دو ژنوتیپ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم و با عملکرد بالا در منطقه شمال غربی کشور معرفی کرد

منابع مورد استفاده

1. Abadi, V. A. J. M. and M. Sepehri. 2015. Effect of *Piriformospora indica* and *Azotobacter chroococcum* on mitigation of zinc deficiency stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Symbiosis* 69(1): 9-19.
2. Alscher, R. G., N. Erturk and L. S. Heath. 2002. Role of superoxide dismutases (SOD) in controlling oxidative stress in plant. *Journal of Experimental Botany* 53(372): 1331-1341.
3. Anjum, S. A., U. Ashraf, A. Zohai, M. Tanveer, M. Naeem, I. Ali, T. Tabassum and U. Nazir. 2017. Growth and developmental responses of crop plants under drought stress: a review. *Zemdirbyste Agriculture* 104(3): 267-276.
4. Antonio, J., F. Gonzale, P. Martinez, F. Jose, C. Diaz, J. Pablo, E. Martínez-Molina, N. Toro, G. Susanna and L. Manuel Fernandez. 2017. The rhizosphere microbiome of burned holm-oak: potential role of the genus *Arthrobacter* in the recovery of burned soils. *Scientific reports*. *Scientific reports* 7 (1): 1-12.
5. Baniaghil, N., M. H. Arzanesh, M. Ghorbanli and M. Shahbazi. 2013. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth parameters, antioxidant enzymes and microelements of canola under drought stress. *Biological and Environmental Science* 3(4): 17-27.
6. Bates, L. S., R. P. Waldren and L. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *An International Journal on Plant-Soil Relationships* 39: 205-207.
7. Betran, F. J., D. Beck, M. Banziger and G. O. Edmeades. 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize. *Crop Science* 43(3): 807-817.
8. Cakmak, I. and W. Horst. 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and pe-roxidase activities in root tip of soybean (*Glysin max*). *Physiologia Plantarum* 83(3): 463-468.
9. Deshmukh, S. and K. H. Kogel. 2007. *Piriformospora indica* protects barley from root rot caused by *Fusarium graminearum*. *Journal of Plant Diseases and Protection* 114(6): 263-268.
10. Erdogan, U., R. Cakmakci, A. Varmazyari, M. Turan, Y. Erdogan and N. Kitir. 2016. Role of inoculation with multi-trait rhizobacteria on strawberries under water deficit stress. *Scientific Journal Zemdirbyste-Agriculture* 103(1): 67-76.
11. Ghabooli, M., B. Khatabi, S. A. Farajolah, M. Sepehri, M. Mirzaei, A. Amirkhani, J. V. Jorrrn-Novo and G. Hosseini Salekdeh. 2013. Proteomics study reveals the molecular mechanisms underlying water stress tolerance induced by *Piriformospora indica* in barley. *Journal of proteomics* 6(94): 289-301.
12. Ghanati, F., A. Morita and H. Yokota. 2002. Induction of suberin and increase of lignin content by excess Boron in tobacco cell. *Soil Science and Plant Nutrition* 48(3): 357-364.
13. Giannopolitis, C. N. and S. K. Ries. 1977. Superoxide dismutases I. occurrence in higher plants. *Plant Physiology* 59(2): 309-314.
14. Gururani, M. A., C. P. Upadhyaya, V. Baskar, J. Venkatesh, A. Nookaraju and S. W. Park. 2013. Plant growth-promoting *rhizobacteria* enhance abiotic stress tolerance in *Solanum tuberosum* through inducing changes in the expression of ROS-scavenging enzymes and improved photosynthetic performance. *Journal of Plant Growth Regulation* 32(2): 245-258.
15. Islam, F., T. Yasmeen, Q. Ali, S. Ali, M. S. Arif, S. Hussain and H. Rizvi. 2015. Influence of Pseudomonas aeruginosa as PGPR on oxidative stress tolerance in wheat under Zn stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 1(104): 285-293.
16. Khani, R., A. R. Sadeghi Bakhtyari, B. Pasban Eslam and V. Sarabi. 2018. Effects of drought stress on canola (*Brassica napus* L.) genotypes yield and yield components. *Iranian Journal of Field Crops Research* 15(4): 914-924. (In Farsi).
17. Kohler, J., J. Antonio Hernandes, F. Caravaca and A. Roldan. 2009. Induction of antioxidant enzymes is involved in the greater effectiveness of a PGPR versus AM fungi with respect to increasing the tolerance of lettuce to severe salt stress. *Environmental and Experimental Botany* 65(2): 245-252.
18. Kumar, K., V. Yadav, N. Tuteja and A. K. Johri. 2009. Antioxidant enzyme activities in maize plants colonized with *Piriformospora indica*. *Microbiology* 155(3): 780-790.
19. Lotfi, R., P. Gharavi-Kuochebagh and H. Khoshvaghti. 2015. Biochemical and physiological responses of *Brassica napus* plants to humic acid under water stress. *Russian Journal of Plant Physiology* 62 (4): 480-486.
20. Masoumi, H., M. Masoumi, F. Darvish, J. Daneshian, G. Nourmohammadi and D. Habibi. 2010. Change in several antioxidant enzymes activity and seed yield by water deficit stress in soybean cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 38(3): 86-97.
21. Mishra, A. and B. Jha. 2011. Antioxidant response of the microalga *Dunaliella salina* under salt stress. *Botanica Marina* 54(1): 195-199.
22. Mo, Y., Y. Wang, R. Yang, J. Zheng, C. Liu, H. Li, J. Ma, Y. Zhang, C. Wei and X. Zhang. 2016. Regulation of plant growth, photosynthesis, antioxidation and osmosis by an arbuscular mycorrhizal fungus in watermelon

seedlings under well-watered and drought conditions. *Frontiers in Plant Science* 7(11): 1-15.
23. Nakano, Y. and K. Asada. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplast. *Plant and Cell Physiology* 22(5): 867-80.
24. Naveed, M., M. B. Hussain, Z. A. Zahir, B. Mitter and A. Sessitsch. 2014. Drought stress amelioration in wheat through inoculation with *Burkholderia phytofirmans s*train PsJN. *Plant Growth Regulation* 73(2): 121-131.
25. Omar, M. N. A., M. E. H. Osman, W. A. Kasim and L. A. Abd El-Daim. 2009. Improvement of salt tolerance mechanisms of barley cultivated under salt stress using *Azospirillum brasilense. Salinity and Water Stress* 44(1): 133-147.
26. Omidi, H. 2010. Changes of proline content and activity of antioxidative enzymes in two canola genotype under drought stress. *American Journal of Plant Physiology* 5 (6): 338-349.
27. Padashi, A., S. Shahabivand, F. Behtash, A. Aghaee and A. A. Aliloo. 2019. The changes in antioxidant enzymes activity of lettuce under *Piriformospora indica* and zinc treatments. *Journal of Plant Process And Function* 7(27): 75-86.
28. Porcel, R. and J. M. Ruiz-Lozano. 2004. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. *Journal of Experimental Botany* 55(403): 1743-1750.
29. Rashidi, S., A. H. ShiraniRad, A. Ayene Band, F. Javidfar and S. Lak. 2012. Study of relationship between droughts stresses tolerances with some physiological parameters in canola genotypes (*B. napus* L.*). Annals of Biological Research* 3 (1): 564-569.
30. Ruiz-Lozano, J. M. 2003. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress, new perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza* 13(6): 309-317.
31. Siddiqui, I. A. and S. S. Shaukat. 2002. Mixtures of plant disease suppressive bacteria enhance biological control of multiple tomato pathogens. *Biology and Fertility of Soils* 36(4): 260-268.
32. Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research* 98 (2): 222-229.
33. Soleymani, A., M. Moradi and L. Naranjani. 2011. Effects of the irrigation cut-off time in different growth stages on grain and oil yield components of autumn's canola cultivars in isfahan region. *Journal of Water and Soil* 25(3): 426-435.
34. Sylvester-Bradley, R. and R. J. Makepeace. 1984. A code for stages of development in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Aspects of applied biology* 4(6): 398-418.
35. Tohidi-Moghaddam, H. R., A. R. Shirani-Rad, G. Noormohammadi, D. Habibi and M. M. A. Boojar. 2009. Effect of super absorbent application on antioxidant enzyme activities in canola (*Brassica napus* L.) cultivars under water stress conditions. *American Journal of Agricultural and Biological Science* 4(3): 215-223.
36. Valentovic, P., M. Luxova, L. Kolarovi and O. Gasparikora. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant Soil and Environment* 52 (4): 186-191.
37. Xu, L., A. Wang, J. Wang, Q. Wei and W. Zhang. 2016. *Piriformospora indica* confers drought tolerance on *Zea mays* L. through enhancement of antioxidant activity and expression of drought-related genes. *The crop journal* 5(1) :251-258.
38. Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo, A. Asgharii and M. Zeinalabedini. 2016. Drought stress effect on physiological parameter and amino acids accumulations in canola. *Journal of Crop Breeding* 8(2): 191-203.
39. Zarea, M. J., S. Hajinia, N. Karimi, E. Mohammadi Goltapeh, F. Rejali and A. Varma. 2012. Effect of *Piriformospora indica* and *Azospirillum* strains from saline or non-saline soil on mitigation of the effects of NaCl. *Soil Biology and Biochemistry* 45(1): 139-146.
40. Zhang, J., A. S. Mason, J. Wu, S. Liu, X. Zhang, T. Luo and G. Yan. 2015. Identification of putative candidate genes for water stress tolerance in canola (*Brassica napus*). *Frontiers in plant science* 6(27): 1058-1069.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 11, No. 4, Winter 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Study on the Effects of Seed Biological Treatments on Yield and Some Biochemical Parameters of Rapeseed Genotypes under Water Stress Conditions

A. Nemati[1], A. A. Aliloo[2*] and M. Sedghi[3]

(Received: July 17-2021; Accepted: October 6-2021)

Abstract

Water shortage seriously threatens crop growth and development especially in semi-arid areas. Association of plants with beneficial soil microorganisms is a strategy for plant adaptation to environmental stresses. In this study, the effect of seed inoculation of rapeseed genotypes with mycorrhiza-like fungus (*Piriformospora indic*a) and growth-promoting bacterium *(Arthrobacter siccitolerans*) was investigated on some yield and physiological indices under non-stress and drought stress conditions. The results showed that the stress reduces grain yield (19.5%) and oil concentration (23%) while physiological attributes including activity of anti-oxidant enzymes (catalase, superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and malondialdehyde) and content of proline increased. Seed treatment with *P. indica* and *A. siccitolerans* under stress condition reduced the activity of enzymes and content of proline whereas improved grain and oil yields compared to the non-stress condition. Although the alleviation effect of bacteria and fungi on the studied traits was similar, the effect of fungi on proline content and oil yield became more noticeable. Also, under non-stress condition, the use of these microorganisms reduced the activity of enzymes and content of proline. It is noteworthy that due to the high variability of the proline content, it can also be introduced as an indicator of stress in biological treatments assessment. Overall, the results showed that despite the differences in the response of genotypes to treatments, the application of both microorganisms increases grain yield and oil yield under both non-stress and water stress conditions, and the biological treatments, particularly *P. indica* could be used to alleviate water stress effects on rapeseed genotypes.

Keywords: Enzyme, Inoculation, Proline, Malondialdehyde

1, 2. PhD Student in Crop Physiology and Associate Professor Department of Plant Production and Genetic Engineering, Respectively, Maragheh University, Maragheh, Iran
3. Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
*: Corresponding Author, Email: aliasghar.aliloo@gmail.com