



دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

## ارزیابی اثر رژیم آبیاری، کود زیستی و کاربرد گوگرد بر برخی ویژگی های بیوشیمیایی، میزان فعالیت در شرایط آب و هوایی خوزستان (*Camelina sativa* L.) آنتی اکسیدانی و درصد روغن کاملینا

محمد مهدی مطیعی<sup>۱\*</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۲۸

### چکیده

به منظور ارزیابی اثر کودهای زیستی و کاربرد گوگرد بر کاهش اثرات کم آبیاری، آزمایشی به صورت کرت-های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در ایستگاه کشاورزی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ اجرا شد. رژیم آبیاری به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی بر اساس فائو) و تلقیح با کود زیستی در شامل چهار سطح (تلقیح با *Thiobacillus*، *Pseudomonas* و *Pseudomonas + Thiobacillus* و عدم تلقیح به عنوان شاهد) و سطوح کود گوگرد در دو سطح (۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار) به عنوان عامل فرعی بودند. صفات مورد بررسی شامل محتوای قندهای محلول و پرولین، آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز و مالون دی آلدئید و همچنین درصد روغن و عملکرد روغن بودند. بیشترین مقدار پرولین، آنزیم-های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و مالون دی آلدئید که در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی به همراه مصرف ۵۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار و کاربرد تیوباسیلوس + سودوموناس به دست آمد. به نظر می‌رسد کاربرد باکتری‌های محرک رشد و مصرف گوگرد باعث کاهش اثرات منفی تنش خشکی در گیاه کاملینا شد.

**کلمات کلیدی:** کاملینا، کاتالاز، پرولین، دانه روغنی، پراکسیداز

مطیعی، م. ارزیابی اثر رژیم آبیاری، کود زیستی و کاربرد گوگرد بر برخی ویژگی های بیوشیمیایی، میزان فعالیت آنتی اکسیدانی و درصد روغن کاملینا (*Camelina sativa* L.) در شرایط آب و هوایی

خوزستان. (۱۵) ۱۹۶:۵۴-۱۷۹

۱- عضو هیات علمی پیام نور خوزستان، خوزستان، ایران. مسئول مکاتبات: motiei.mm.916@gmail.com

## مقدمه

دانه‌های روغنی به‌عنوان بخش مهمی از محصولات صنعتی از جمله محصولاتی هستند که سالانه میلیاردها دلار برای تامین نیاز خود در ایران هزینه می‌کنند. دانه‌های روغنی معمولی مانند سویا، کلزا و آفتابگردان با وجود فواید فراوان، محصولاتی هستند که برای تولید آنها نیاز به مصرف آب بالایی دارند. بنابراین، معرفی محصول جدید دانه روغنی که بتواند در شرایط خشکسالی و اراضی دیم عملکرد اقتصادی و رضایت بخشی داشته باشد، می‌تواند راه حلی موثر و کلیدی در این زمینه باشد. این دقیقاً همان وضعیتی است که کشاورزان از کشت یک محصول جدید استقبال می‌کنند. دانه روغنی کاملینا خواص و کاربردهای زیادی دارد. از نظر تغذیه و سلامت، روغن آن حاوی مقادیر زیادی امگا ۳ است که به پیشگیری از سرطان و چاقی کمک می‌کند (بالانوکا و همکاران، ۲۰۱۵). در صنعت، به‌عنوان سوخت زیستی، در تولید رزین، موم، و همچنین در تولید لوازم آرایشی، بهداشتی و دارویی استفاده می‌شود (یانگ و همکاران، ۲۰۱۶). این محصول نسبت به کلزا دارای مزایایی است که از جمله آنها می‌توان به نیاز کم به آب و مواد مغذی، سازگاری با شرایط نامساعد محیطی و مقاومت در برابر آفات اشاره کرد. محصولی است که می‌تواند با شرایط محیطی سرد و خشک سازگار شود و در مناطق گرم نیز یافت می‌شود. این گیاه همچنین می‌تواند تنش خشکی را در اوایل فصل رشد تحمل کند (مک‌وای، ۲۰۰۸). مطالعات نشان می‌دهد که کاملینا محصولی است که می‌تواند از نظر اقتصادی در مناطق دیم یا در طول آبیاری تکمیلی مقرون به صرفه باشد. آزمایشات اولیه در ایران نشان داده است که کشت کاملینا می‌تواند در مناطق دیم به خوبی توسعه یابد و تا حد زیادی نیاز کشور به دانه‌های روغنی را برطرف کند (رستمی و احمدوندی، ۲۰۲۱). گزارش شده است که گیاه کاملینا نسبت به سایر گیاهان دانه روغنی نیاز آبی بسیار کمتر و مقاومت بیشتری در برابر سرماهای بهاره دارد. این گیاه همچنین در برابر آفات رایج دانه‌های روغنی مانند سوسک گرده مقاومت بالایی دارد. پتانسیل تولید پرمحصول در کاملینا به اثبات رسیده و امکان انتخاب مناسب آن در تناوب با غلات گزارش شده است (مک‌وای، ۲۰۰۸). کاملینا (*Camelina sativa L.*) متعلق به خانواده Brassicaceae است و دارای فواید بسیاری در زمینه‌های صنعتی و تغذیه‌ای است، زیرا روغن دانه آن دارای اسیدهای چرب منحصر به فرد است (آنجلوپولو و همکاران، ۲۰۱۹). این گیاه به خوبی با منطقه نیمه خشک سازگار است و برای تولید دانه و روغن کشت می‌شود (آبوار و همکاران، ۲۰۱۵). روغن کاملینا دارای اسید چرب غنی با سطوح بالایی از اسید آلفا لینولنیک و اسید لینولئیک است (تانسه و همکاران، ۲۰۱۳). گیاهان در طول چرخه زندگی خود به طور مداوم در معرض تنش‌های غیر زنده مانند تنش خشکی قرار دارند. خشکسالی رایج‌ترین تنش محیطی است که می‌تواند بر رشد گیاهان در سراسر جهان به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک تأثیر بگذارد، بنابراین خشکی به محدودیت‌های اصلی تولید محصولات زراعی تبدیل شده است (بهادر و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین تنش خشکی باعث تغییرات ساختاری، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان شده است (گاش و همکاران، ۲۰۱۷). گونه‌های

فعال اکسیژن (ROS) تولید شده تحت استرس کمبود آب می تواند پروتئین ها، لیپیدها، کربوهیدرات ها و اسیدهای نوکلئیک را از بین ببرد (حسین و همکاران، ۲۰۲۰). به منظور کاهش اثرات اکسیداتیو ROS ها، گیاهان مکانیسم های مختلفی را توسعه داده اند (کروز د کاروالیو، ۲۰۰۸). سیستم های آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی یکی از مکانیسم هایی هستند که ROS را از بین می برند. در سیستم دفاع آنتی اکسیدانی، آنزیم های سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POX)، کاتالاز (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و گلوکاتایون ردوکتاز (GR) آنزیم های کلیدی و مهم ترین ترکیبات آنتی اکسیدانی غیر آنزیمی گلوکاتایون، آلفا توکوفرول و اسید اسکوربیک هستند (دامانویچ و همکاران، ۲۰۲۱). CAT به طور مستقیم باعث تجزیه پراکسید هیدروژن می شود و POX با استفاده از ترکیبات فنلی دهنده الکترون، پراکسید هیدروژن را تجزیه می کند، در حالی که SOD با تغییر شکل آنیون های سوپراکسید، پراکسید هیدروژن تولید می کند (گابری، ۲۰۱۰). تغییرات در فعالیت های آنزیمی تحت تنش آبی به خوبی ثبت شده است. سنتز آنزیم های آنتی اکسیدانی در شرایط تنش می تواند از افت بیشتر عملکرد جلوگیری نماید (سید شریفی و سید شریفی، ۱۳۹۸). با توجه به اینکه  $O_2^-$  و  $H_2O_2$  در شرایط تنش افزایش می یابد، این ترکیبات به وسیله فعالیت آنزیم-های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز کنترل می شود (نیلیواجسکی و اسکلودوفسکا، ۲۰۲۱). گیاهان مجموعه ای از اسمولیت ها را برای تنظیم پتانسیل اسمزی درون سلولی خود در شرایط استرس زا جمع می کنند. اسمولیت ها به عنوان تثبیت ساختار پروتئین شناخته شده اند و در موجودات زنده در همه جا وجود دارند. اسمولیت های آلی اصلی شامل اسیدهای آمینه (مانند پرولین)، متیل آمین ها (مانند بتائین و تری متیل آمین-N-اکسید)، پلی آمین ها (مانند اسپرمیدین)، قندها (مانند ترهالوز) و پلی آل ها (مانند سوربیتول) (Ozturket) هستند (اوزتورک و همکاران، ۲۰۲۱؛ سینگ و همکاران، ۲۰۲۱). در میان این اسمولیت ها، پرولین هم به عنوان واحد ساختاری پروتئین و هم به عنوان اسمولیت برای محافظت از اسمولیت در گیاهان اهمیت اساسی دارد (مختاری و همکاران، ۲۰۲۰؛ آوارز و همکاران، ۲۰۲۲؛ اسپورمن و همکاران، ۲۰۲۳). هنگامی که گیاهان در معرض تنش اسمزی قرار می گیرند، پرولین در سیتوپلاسم تجمع می یابد و به عنوان یک محافظ اسمزی برای تثبیت غشاهای سلولی و حفظ فشار تورگ عمل می کند. این به گیاه کمک می کند تا از آسیب به اجزای سلولی جلوگیری کند و به گیاهان اجازه می دهد علیرغم استرس به رشد و عملکرد حداکثری خود ادامه دهند. تجمع پرولین در گیاهان تحت تنش، به واسطه سنتز پرولین و غیرفعال شدن تخریب آن است. افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش باعث محافظت غشای سلولی، پروتئین ها، آنزیم-های سیتوپلاسمی و مهار گونه های فعال اکسیژن و حذف رادیکال های آزاد می گردد (مختاری و همکاران، ۲۰۲۰). با این وجود، تجمع پرولین به تنهایی نمی تواند تحمل ایجاد کند، بلکه سایر مسیرهای فعال شده بر روی تنش های غیرزیستی مختلف با تأثیر آن بر گیاهان مرتبط است (چون و همکاران، ۲۰۱۸؛ اوزتورک و همکاران، ۲۰۲۱). یکی از راهکارهای اساسی برای تعدیل یا کاهش اثر تنش آبی در گیاهان زراعی، کاربرد انواع مختلفی از کودهای زیستی (باکتری ها و قارچ های مفید خاکزی) است (مارولاندا آگویر و همکاران،

۲۰۰۸). این کودها شامل ریزموجودات مفید خاک هستند که عناصر غذایی را به شکل قابل جذب در اختیار گیاهان قرار می‌دهند (چن، ۲۰۰۶). مهم‌ترین اکسیدکنندگان گوگرد در زمین‌های کشاورزی، باکتری‌های جنس تیوباسیلوس هستند که گوگرد خاک را به صورت قابل جذب برای گیاهان فراهم می‌کنند (چغازردی و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین این باکتری‌ها با اکسید کردن گوگرد برای تأمین سولفات موردنیاز گیاهان و کاهش اسیدیته خاک در اطراف ریشه‌ها حلالیت عناصر ریزمغذی در خاک افزایش می‌دهند، با افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی ریزمغذی و پرمصرف در خاک باعث رشد بهتر گیاه می‌شوند (بشارتی، ۲۰۱). کمبود مواد غذایی در خاک و عدم دسترسی کافی به مواد غذایی از عواملی هستند که اثرات تنش خشکی بر گیاه را تشدید میکنند. وجود مقادیر کافی عناصر غذایی در خاک و دسترسی مناسب گیاه به این عناصر میتواند در بهبود رشد و عملکرد گیاه بسیار مؤثر باشد. از جمله عناصر موردنیاز گیاه میتوان به عناصر پرمصرف و کممصرفی مانند گوگرد اشاره نمود که نقش بسزایی در تغذیه و فرآیندهای رشد گیاه دارند. کمبود گوگرد باعث کاهش بهره‌وری و کیفیت محصول میشود و از طرفی بر سلامت گیاه اثرگذار خواهد بود (اشنوگ، ۱۹۹۷). گوگرد در سنتز پروتئین نقش داشته و بخشی از آمینواسیدهای سیستئین، متیونین و پروتئینهای حاصل از آنها است. این آمینواسیدها، پیشساز سایر ترکیبات گوگرددار، نظیر کوانزیمها میباشند. گوگرد به طور مستقیم در واکنشهای متابولیکی گیاه نقش دارد (خوش گفتارمنش، ۱۳۸۶).

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه کشاورزی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ اجرا شد. نمونه‌ها برای آنالیز به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران منتقل شد که نتایج به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱. مشخصات خاک مزرعه موردبررسی در عمق ۳۰ سانتی‌متری

سیلت (%)	رس (%)	شن (%)	بافت	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	K <sub>2</sub> O (ppm)	N (%)	C <sup>0</sup> (%)	EC (ds/m)	CHC (emol/gr)	pH
				فسفات	پتاسیم	نیتروژن	کربن	هدایت الکتریکی	گنجایش تبادل کاتیونی	اسیدیته
۴۴	۴۰	۱۶		۱۱/۳۸	۲۴۵	۰/۷۶	۰/۷۸	۱/۸	۱۹/۳	۷/۸

این بررسی به صورت آزمایش کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. تیمار رژیم آبیاری شامل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه (بر اساس روش FAO) به عنوان عامل اصلیه تلقیح با کود زیستی در چهار سطح تلقیح با تیوباسیلوس، پسودوموناس و تیوباسیلوس + پسودوموناس و عدم تلقیح (شاهد) در کرت‌های فرعی و مصرف کود گوگرد در دو سطح (صفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار) به عنوان فاکتور فرعی فرعی در نظر گرفته شدند. در زمین محل آزمایش پس از عملیات شخم و تهیه بستر، کرت‌هایی به ابعاد ۳×۲ متر تهیه شد. فاصله بین کرت‌های آزمایش از هم نیم متر و بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. مقادیر لازم کود گوگرد قبل از کاشت در کرت‌های مربوطه با خاک مخلوط شد. برای سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، از نمونه‌های برگ‌های نگهداری شده در دمای ۸۰- درجه

سلسیوس استفاده شد. اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز از روش شرح داده‌شده توسط ابی (۱۹۸۴) و از یلماتی و همکاران (۲۰۰۷) انجام گرفت. اندازه‌گیری آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) طبق روش جیانوپولیتیس و ریس (۱۹۷۷) بر اساس واحد آنزیمی به ازای هر میلی‌گرم بر وزن تر محاسبه گردید. تعیین میزان مالون‌دی‌آلدئید (MDA) بر اساس روش آستون و سیدنی (۱۹۸۷) استفاده شد. پیک MDA با اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر شناسایی و بر اساس سطح زیر منحنی پیک، اندازه‌گیری گردید. محتوای قندهای محلول با استفاده از جوان‌ترین برگ و روش (اوموکولو و همکاران، ۱۹۹۶) انجام گرفت. محتوای پرولین نیز در جوان‌ترین برگ به روش بتز و همکاران (۱۹۷۳) انجام پذیرفت. درصد روغن دانه نیز با دستگاه سوکسله (دمای ۴۵ درجه سانتیگراد و حلال دی‌اتیل‌اتر خشک) اندازه‌گیری خواهد شد (هانگ و همکاران، ۲۰۰۶). آنالیز داده‌های جمع‌آوری شده با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

### نتایج و بحث

#### آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

**کاتالاز:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده رژیم آبیاری، کود زیستی، گوگرد، اثرات متقابل آن‌ها و همچنین اثرات سه‌جانبه آنها در سطح احتمال ۱ درصد بر میزان فعالیت این آنزیم معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		کاتالاز	پراکسیداز	سوپر اکسید دیسموتاز	مالون دی آلدئید	پرولین	قندهای محلول	درصد روغن	عملکرد روغن
تکرار	۲	۰/۰۹۷	۲/۷۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰	۳۲/۷۲	۲۳۲۲۷۵۴۰/۴۹
رژیم آبیاری	۲	۰/۰۵۶**	۹/۷۲*	۰/۰۱۳*	۰/۰۲۴**	۲/۴۰۶**	۱/۱۳**	۳۹۴/۴۵**	۶۶۹۸۲۵۵۹۱۵/۰۲*
		۵۰۰							
اشتباه آزمایشی ۱	۴	۴/۴۳	۱/۵۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۳/۲	۱۹۶۵۱۰۸/۲۸
کود زیستی	۳	۷۷۵/۰۵**	۴۶۸/۰۹**	۰/۰۳۲**	۱/۳۵**	۲/۹۵**	۰/۶۲۷**	۵۹/۴۲**	۳۰۷۱۴۲۰۸۱/۰۴**
رژیم آبیاری×کود زیستی	۶	۲۷۹/۰۹**	۱۱۲/۱۴**	۰/۰۱۳**	۱/۰۳**	۰/۸۱**	۰/۶۷**	۴/۳۶ns	۱۵۳۷۴۷۱۰/۲۵ <sup>ns</sup>
اشتباه آزمایشی ۲	۱۸	۲/۹۱	۲/۲۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۳/۳۳	۶۸۰۰۲۰۲/۶۴
کود گوگرد	۱	۵۵/۱۲**	۱۶/۰۵*	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۷۴**	۰/۰۱۵**	۲۲۱/۲**	۷۵۵۶۰۰۳۶۰/۰۶**
آبیاری×کود گوگرد	۲	۹۰/۱۶**	۱/۷۲**	۰/۰۰۹**	۰/۰۱۲**	۰/۹۷**	۰/۰۸**	۱۱/۱۳ns	۶۵۰۸۴۲۶۷/۸۵**
		۱۲۸۸							
کود زیستی×کود گوگرد	۳	۴۸۹/۳۱**	۳۳/۳۵**	۰/۰۰۵*	۰/۰۵۲**	۰/۴۶۱**	۰/۲۰۸**	۲۱/۰۶*	۶۰۹۱۹۸۰/۰۵*
آبیاری×کود زیستی×کود گوگرد	۶	۲۷۹/۳۵**	۳۷۳/۲۹**	۰/۰۱**	۰/۳۲**	۰/۸۱۶**	۰/۲۵۱**	۲/۵۶ns	۶۶۷۲۲۲۷/۹۹**
اشتباه آزمایشی ۳	۲۴	۱/۹۵	۲/۹۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۴/۸۲	۱۱۳۲۶۰۱۱/۰۴
ضریب تغییرات (%)	-	۱/۵۶	۱/۸۵	۶/۶۹	۱/۹۳	۲/۴	۱/۱۰	۹/۳۷	۱۰/۱۹

جدول ۳-مقایسه میانگین اثرات تیمارهای آزمایشی بر صفات مورد بررسی

مالون دی آلدئید	سوپر اکسید دیسموتاز (تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه)	کاتالاز ) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه)	پرولین (میلی گرم بر گرم وزن تر)	کود گوگرد	کود زیستی	رژیم آبیاری
قندهای محلول						
۴/۲ f	۰/۰۷ l	۰/۳۸۶ j	۰/۰۷۴ l	۱/۵۲ o	۰/۶۱ r	عدم تلقیح
۳/۹ g	۰/۰۸۱ k	۰/۴۱۴ ij	۰/۰۷۴ l	۲/۰۷۶ n	۰/۶۵ p	عدم تلقیح
۴/۱ g	۰/۰۸۱ k	۰/۴۱۵۷ ij	۰/۰۷۶ jk	۲/۱۶۱ m	۰/۶۲ qr	T ۱۰۰ نیاز آبی
۱/۴ g	۰/۰۸۴ ijk	۰/۴۱۹ ij	۰/۰۸۲ jk	۲/۱۹۳ m	۰/۸۱ n	T
۴g	۰/۰۸۱ k	۰/۴۴۶۷ hi	۰/۰۸۷۳۳ j	۲/۲۵۱ l	۰/۷ o	P
۳/۹ hi	۰/۰۸۶ i	۰/۴۵۱ ghi	۰/۰۸۳ k	۲/۳۱۱ k	۰/۸۶ mn	P
۳/۸ i	۰/۰۸۱ jk	۰/۴۶۸۳ fghi	۰/۰۸۱ k	۲/۴۸۳ j	۰/۸ n	T+P
۳/۹ hi	۰/۰۹۴ def	۰/۴۷۱۳ fghi	۰/۰۹۸ cd	۲/۵۶۲ i	۰/۹۴ k	T+P
۴/۴ f	۰/۰۸۹ h	۰/۴۸۸ fghi	۰/۰۸۴ ij	۲/۶۰۳ hi	۰/۶ op	عدم تلقیح
۴ g	۰/۰۹ h	۰/۴۹۶۷ defgh	۰/۰۸۵ ij	۲/۶۳۴ h	۰/۸ n	عدم تلقیح

$\frac{3}{4}$ f	۰/۰۹۲ fgh	۰/۵۰۱۷ defgh	۰/۰۸۹ h	۲/۷۰۱ g	۰/۸ n	.	T
$\frac{3}{4}$ f	۰/۰۹۲ fgh	۰/۵۰۳ defgh	۰/۰۹ gh	۲/۷۲۴ g	۰/۹۱ l	۵۰	T
$\frac{۴}{۳}$ f	۰/۰۹۱ gh	۰/۵۰۵ defgh	۰/۰۹۱ gh	۲/۷۳۱ g	۰/۸۲ n	.	P
$\frac{۴}{۴}$ f	۰/۰۹۴ def	۰/۵۱۲۳ defg	۰/۰۹۲ gh	۲/۸۲۸ f	۰/۹۶ k	۵۰	P
$\frac{۳}{۹}$ h	۰/۰۹۶ de	۰/۵۲۲ cdef	۰/۰۹۲ fg	۲/۸۷۴ f	۱/۰۲ j	.	T+P
$\frac{3}{4}$ f	۰/۱۰۳ c	۰/۵۳۷ cde	۰/۱۰۳ c	۲/۹۴۴ e	۱/۲ ij	۵۰	T+P
$\frac{۵}{۳}$ a	۰/۰۹۳ efg	۰/۵۴۴vcde	۰/۰۹۲ fg	۲/۹۵۶ e	۱/۲ i	.	عدم تلقیح
$\frac{۵}{۱}$ b	۰/۰۹۴ def	۰/۵۵۲bcd	۰/۰۹۴ f	۲/۹۶۳ e	۱/۶ ef	۵۰	عدم تلقیح
$\frac{۵}{۱}$ b	۰/۰۹۵ de	۰/۵۵۳bcd	۰/۰۹۵e	۳/۰۲ d	۱/۳ h	.	T
$\frac{۵}{۱}$ c	۰/۱۰۲ c	۰/۵۸۱abc	۰/۱۲۵۳ de	۳/۰۲۷ d	۱/۸ b	۵۰	T
$\frac{۴}{۹}$ cd	۰/۰۹۷ d	۰/۵۷۳۳abc	۰/۰۹۷ e	۳/۰۲۸ d	۱/۳ h	.	P
$\frac{۴}{۸}$ de	۰/۱۰۹ b	۰/۶۱۳۳ a	۰/۱ d	۳/۶۲۷ c	۱/۹ b	۵۰	P
$\frac{۴}{۸}$ e	۰/۱۰۴ c	۰/۶۰۴۷ ab	۰/۱۰۷ b	۳/۹۳۵ b	۱/۴ g	.	T+P
$\frac{۴}{۴}$ f	۰/۱۱۹ a	۰/۶۱۷۳ a	۰/۱۱۵ a	۴/۹ a	۲/۰۲ a	۵۰	T+P

۷۵ درصد نیاز  
آبی

۵۰ درصد نیاز  
آبی

با توجه به جدول ۳، مقایسه میانگین نشان داد بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۱۱۵) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در کاربرد توأم تیوباسیلوس+سودوموناس و کود گوگرد در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و کمترین آن (۰/۰۷۴) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) از عدم کاربرد کود زیستی و گوگرد و در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شد. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با افزایش سطوح آبیاری و همچنین کاربرد کود گوگرد و کودهای زیستی افزایش یافت. کاتالاز آنزیمی است که در اثر فعالیت آن پراکسید هیدروژن تولید شده در مسیرهای تنفس نوری داخل پراکسی زومها مهار می شود (میتلر، ۲۰۰۶). همچنین این آنزیم از دسته پروتئین های آهن دار و گروه آنزیم های اکسیدو ردوکتاز محسوب می شود و می تواند به طور مستقیم پراکسید هیدروژن را به اکسیژن و آب تبدیل کند و سمی بودن این رادیکال آزاد اکسیژن را به صورت کامل حذف کند (ساروجیت و نارندرا، ۲۰۱۰؛ نایار و گوپتا، ۲۰۰۶). نتایج این پژوهش در راستای افزایش فعالیت کاتالاز در شرایط تنش کم آبی با تحقیقات سروری و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. باکتری های محرک رشد از طریق افزایش فعالیت برخی از آنزیم های آنتی اکسیدان در کاهش آسیب های تنش اکسیداتیو و گونه های فعال اکسیژن در گیاهان تحت تنش مؤثر می باشند (سارواناکومار و همکاران، ۲۰۱۰). می توان گفت تولید متابولیت ها توسط این باکتری ها از جمله هورمون های محرک رشد نقش مهمی در بیان و تحریک پروتئین های آنزیم های آنتی اکسیدان بازی می کند. یکی از مهم ترین اثرهای نامطلوب انواع تنش بر گیاه و فرایندهای فیزیولوژیکی مهم گیاهی تنش اکسایشی ناشی از افزایش گونه های فعال اکسیژن در سلول، می باشد. با توجه به نقش کلیدی آنزیم های پراکسیداز و کاتالاز در حذف رادیکال سمی هیدروژن پراکسید در شرایط تنش، افزایش میزان فعالیت کاتالاز در اثر تلقیح باکتری، می تواند عاملی تاثیرگذار در حذف گونه های فعال اکسیژن و در نهایت افزایش مقاومت گیاهان به انواع تنش باشد. کاربرد باکتری های محرک رشد با پاک سازی رادیکال های آزاد اکسیژن باعث کاهش آسیب به آنزیم ها و اسیدهای چرب شده، و اثر مخرب تنش را کاهش می دهند (بیلیمو و همکاران، ۲۰۱۵). افزایش فعالیت کاتالاز در چغندر تلقیح شده با باکتری محرک رشد نسبت به گیاهان شاهد در شرایط تنش گزارش شده است (گارورانی و همکاران، ۲۰۱۲). در حالت کلی باکتری سودوموناس به عنوان یک کاتابولیس عمل کرده، همچنین باعث افزایش فعالیت آنزیم هایی مانند کاتالاز و سوپراکسیداز شده است (بیانکو و دفز، ۲۰۰۹). تحقیقات رهبری و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که تلقیح با باکتری سودوموناس به ویژه سویه ۱۵۰ در گیاه شوید سبب افزایش معنی دار فعالیت آنزیم های پراکسیداز و کاتالاز شد.

#### پراکسیداز:

با توجه به جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کود زیستی، اثر متقابل آبیاری و کود زیستی، اثر متقابل آبیاری و گوگرد، اثر متقابل کود زیستی و گوگرد و اثر سه جانبه تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال ۱

درصد معنی‌دار، اثر ساده رژیم آبیاری و گوگرد در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. بیشترین فعالیت این آنزیم (۰/۱۱۹) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در کاربرد توأم تیوباسیلوس + پسودوموناس و کود گوگرد در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و کمترین آن (۰/۰۷) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) از عدم کاربرد کود زیستی و گوگرد و سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شد. میزان فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز با افزایش شدت تنش کم‌آبی و همچنین کاربرد کود گوگرد و کودهای زیستی افزایش یافت (جدول ۳ و ۵). پراکسیداز یک آنزیم مهم در اکسیداسیون اکسید است و پراکسیدازها با تبدیل هیدروژن پراکسید به آب از گیاه حفاظت می‌کنند. این آنزیم حساس به نوسان‌های زیست‌محیطی بوده و به‌عنوان شاخص تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزنده در نظر گرفته می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش در فعالیت آنزیم پراکسیداز می‌تواند دلیلی بر القای ترکیب‌های دفاعی توسط باکتری‌ها باشد که با نتایج سایر پژوهشگران مطابقت دارد (هاریش و همکاران، ۲۰۰۸).

#### سوپراکسید دیسموتاز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده رژیم آبیاری، کود زیستی، اثر متقابل رژیم آبیاری و کود زیستی، اثر متقابل آبیاری و گوگرد و اثر سه‌جانبه تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار، اثر متقابل کود زیستی و گوگرد در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار و اثر ساده گوگرد غیر معنی‌دار شد. بیشترین فعالیت این آنزیم (۰/۶۱۷۷) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در کاربرد توأم تیوباسیلوس + پسودوموناس و کود گوگرد در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و کمترین آن (۰/۳۷۲) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) از عدم کاربرد کود زیستی و گوگرد و سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شد (جدول ۲ و ۳). میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز با افزایش سطوح آبیاری و همچنین کاربرد کود گوگرد و کودهای زیستی افزایش یافت. میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز با افزایش سطوح آبیاری و همچنین کاربرد کود گوگرد و کودهای زیستی افزایش یافت. اولین خط دفاعی علیه رادیکال‌های فعال اکسیژن را در سلول آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز تشکیل می‌دهند (آلچر و همکاران، ۲۰۰۲) و همچنین احیای رادیکال اکسیدسوپر را به هیدروژن پراکسید و اکسیژن مولکولی کاتالیز می‌کنند. هیدروژن پراکسید حاصله در مرحله بعد به‌وسیله آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز پاکسازی می‌شود (زید و شید، ۲۰۰۶). در این بررسی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در اثر تنش کم‌آبی افزایش پیدا کرد. نتایج مشابه به‌وسیله دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (میتلر، ۲۰۰۶؛ یانگ و همکاران، ۲۰۰۷). افزایش میزان فعالیت این آنزیم با افزایش حفاظت از خسارات حاصل از انواع تنش‌های محیطی همبستگی دارد (پانگ و همکاران، ۲۰۰۵). در حالت کلی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نقش مهم و کلیدی در کنترل کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن و پراکسیدها در سطح سلولی دارند (آپل و هیرت، ۲۰۰۴). با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان بیان کرد، مصرف کود گوگرد و استفاده از

کودهای زیستی، تحت شرایط تنش کم‌آبی به ویژه در مراحل رشد رویشی و زایشی قادر است با افزایش میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تا حدودی از آسیب ناشی از تنش در گیاه اسطوخدوس جلوگیری کند که با نتایج (حشمتی و همکاران، ۲۰۰۵) روی گلرنگ مطابقت دارد.

#### مالون دی آلدئید

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سطوح آبیاری، کود زیستی، اثر متقابل سطوح آبیاری و کود زیستی، اثر متقابل آبیاری و کود گوگرد، اثر متقابل کود زیستی و کود گوگرد و همچنین اثرات سه‌جانبه سطوح آبیاری، کود زیستی و کود گوگرد در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثرات تیمارهای آزمایشی بر مقدار مالون دی آلدئید نشان می‌دهد که غلظت مالون دی آلدئید با افزایش شدت تنش کم‌آبی افزایش معنی‌داری داشته است اما کاربرد کود گوگرد و کودهای زیستی از مقادیر افزایش این ماده کاسته است. بیشترین مقدار مالون دی آلدئید (۵/۳ میکرو مول بر گرم وزن‌تر) از تیمار آبیاری پس از سطح ۵۰ درصد نیاز آبی و عدم کاربرد کود گوگرد و کودهای زیستی و کمترین آن (۴/۲ میکرو مول بر گرم وزن‌تر) از تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد کود گوگرد و تیوباسیلوس+سودوموناس حاصل شد. نتیجه اثرات رادیکال‌های آزاد، پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی می‌باشند که نشان‌دهنده خسارت تنش در سطح سلولی هستند؛ پس سطح مالون دی آلدئید (MDA) حاصله از پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، معمولاً به‌عنوان شاخص برای خسارت اکسیداتیو به کار می‌رود (تارکان و همکاران، ۲۰۰۵؛ آنتونیو و همکاران، ۲۰۱۷). افزایش MDA نشان می‌دهد که تنش کم‌آبی باعث آسیب به ساختار غشا و منجر به آزاد شدن لیپیدهای آن می‌شود. از طرفی با افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) در شرایط تنش، این لیپیدها پراکسیده شده و مالون دی آلدئید را تولید می‌کنند. وجود سیستم آنتی‌اکسیدان قوی باعث کاهش ROS شده و با این طریق می‌تواند منجر به کاهش پر اکسیداسیون لیپیدی شود (زفری و همکاران، ۲۰۱۲). در این پژوهش نیز تجمع مالون دی آلدئید در شرایط تنش کم‌آبی افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. تحقیقات نشان داده است که در شرایط تنش رطوبتی، میزان پر اکسیداسیون لیپیدها افزایش یافته و در نهایت مقدار مالون دی آلدئید در سلول‌ها افزایش می‌یابد (گوناز و همکاران، ۲۰۰۶). پایین بودن مقدار مالون دی آلدئید در تیمارهای شامل کود گوگرد و کود زیستی نشان می‌دهد که اعمال آن‌ها توان دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی گیاه را بالا برده و منجر به کاهش میزان آسیب اکسیداتیو غشاءهای زیستی شده است؛ پس می‌توان بیان کرد گیاهانی که با این کودها تیمار شده‌اند در مقایسه با شاهد از میزان تحمل بالاتری در برابر تنش کم‌آبی برخوردارند.

## پرولین

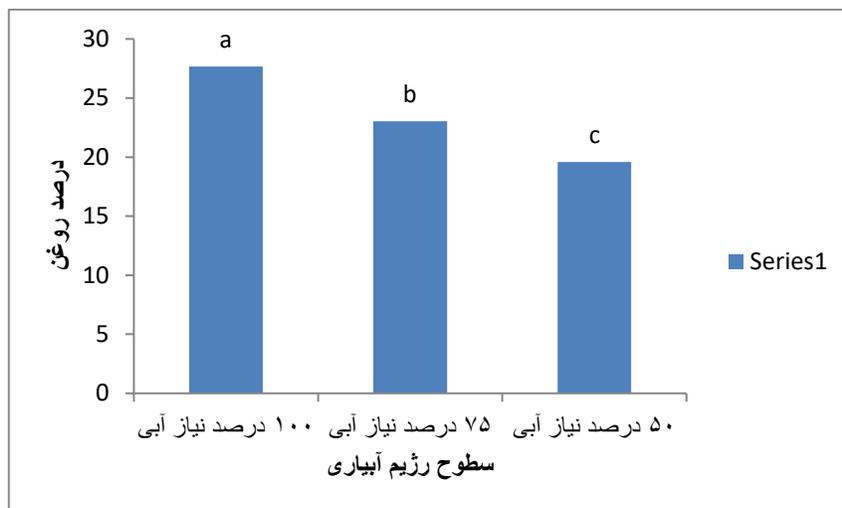
با توجه به جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده رژیم آبیاری، کود زیستی، گوگرد اثر متقابل و سه جانبه تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی بر میانگین پرولین نشان می‌دهد که با افزایش شدت تنش کم‌آبی مقدار پرولین افزایش می‌یابد. کمترین پرولین (۱/۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) از عدم تلقیح کودهای زیستی و عدم کاربرد گوگرد و سطح آبیاری شاهد و بیشترین مقدار پرولین (۴/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) از سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی (تنش شدید) و کاربرد کود گوگرد و تیوباسیلوس+سودوموناس به دست آمد

## محتوای قندهای محلول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده رژیم آبیاری، کود زیستی، گوگرد اثر متقابل و سه جانبه تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد. مقایسه میانگین تیمارهای آزمایشی بر میانگین قندهای محلول نشان می‌دهد که با افزایش سطوح آبیاری و کاربرد کود گوگرد و کودهای زیستی مقدار قندهای محلول افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار قندهای محلول (۲/۰۲ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) از تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و کاربرد کود گوگرد و تلقیح تیوباسیلوس+سودوموناس به دست آمد. کمترین مقدار آن ۰/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر از کاربرد تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و عدم کاربرد کود گوگرد و کودهای زیستی به دست آمد. علت افزایش قندهای محلول در پاسخ به تنش کم‌آبی می‌تواند به هیدرولیز نشاسته به قندهای ساده، افزایش میزان فعالیت آنزیم آمیلاز و کند شدن انتقال قندهای محلول از برگ به سایر بخش‌های گیاه ارتباط داشته باشد (زنگ و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین افزایش مقدار قندهای محلول با تحمل به تنش کم‌آبی در گیاهان مرتبط بوده چون از طرفی با کاهش پتانسیل اسمزی به تداوم جذب آب و حفظ تورژسانس کمک می‌کند و از طرف دیگر از غشاهای سلولی و پروتئین‌های سلول از طریق تشکیل پیوند هیدروژنی با دنباله‌های پلی پپتیدی، قطبی و گروه‌های فسفات لیپید محافظت می‌کنند (کراوو و همکاران، ۱۹۹۲).

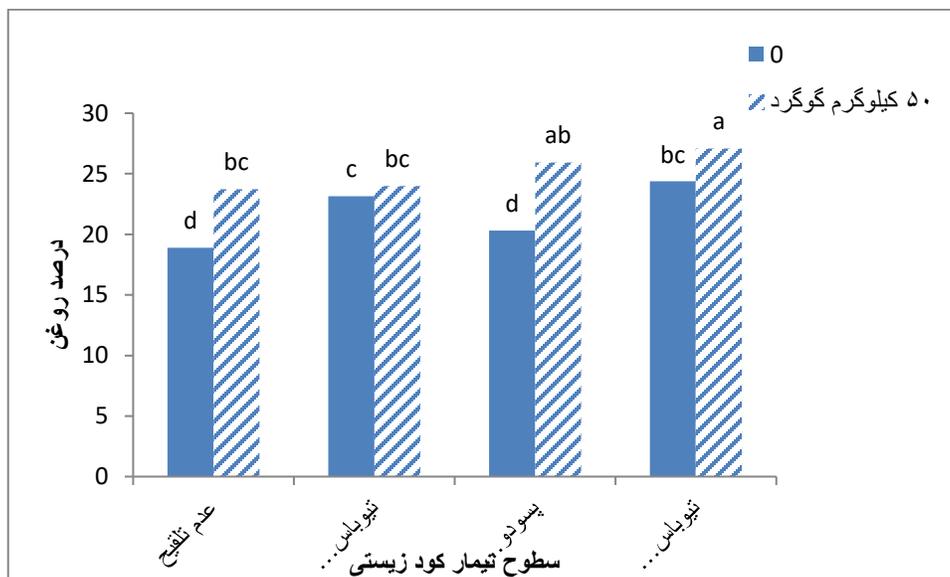
## درصد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده رژیم آبیاری، کود زیستی و گوگرد، در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار، اثر متقابل کود و گوگرد در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد. مقایسه میانگین اثر ساده رژیم آبیاری بر درصد روغن نشان داد که با افزایش تنش خشکی از درصد روغن کاسته می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- اثر ساده رژیم آبیاری بر میانگین درصد روغن

همچنین شکل ۲ نشان می دهد که با کاربرد کود زیستی و گوگرد بر میزان درصد روغن افزوده می گردد.

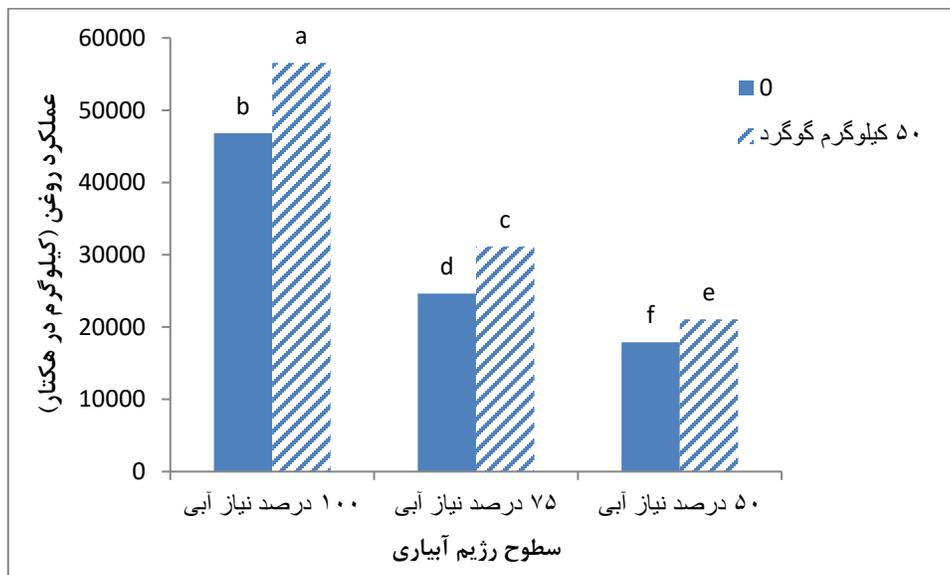


شکل ۲- اثر متقابل کود زیستی و گوگرد بر میانگین درصد روغن

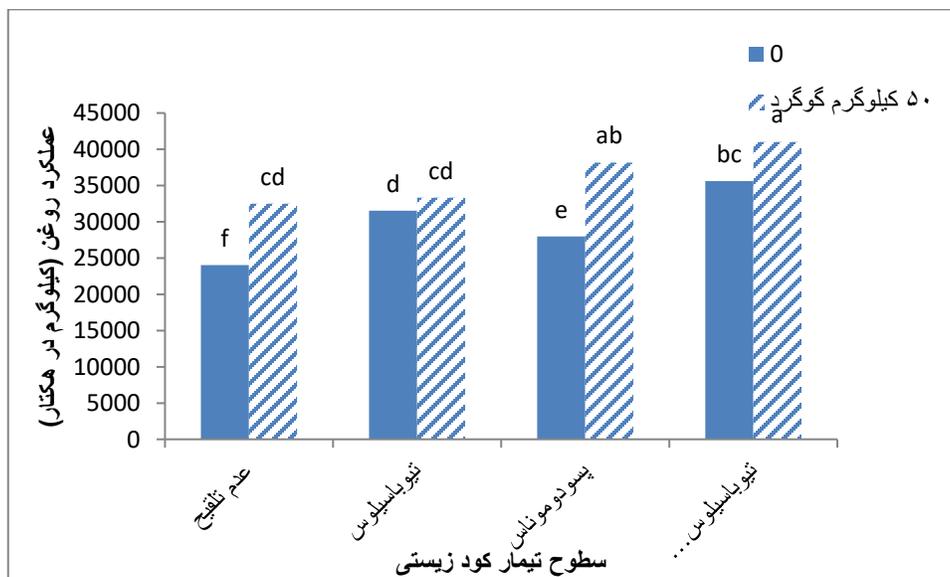
### عملکرد روغن

با توجه به جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کود زیستی، اثر متقابل آبیاری و کود زیستی، اثر متقابل آبیاری و گوگرد و اثر سه جانبه تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار، اثر ساده رژیم آبیاری و اثر متقابل کود زیستی و گوگرد در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد.

مقایسه میانگین رژیم آبیاری و گوگرد بر میانگین عملکرد اسانس نشان می‌دهد که با افزایش شدت تنش کم‌آبی عملکرد اسانس کاهش می‌یابد و کاربرد کود گوگرد باعث بهبود عملکرد اسانس در گیاه کاملینا گردید.



شکل ۳- اثر متقابل رژیم آبیاری و گوگرد بر میانگین عملکرد روغن



شکل ۴- اثر متقابل کود زیستی و گوگرد بر میانگین عملکرد روغن

گزارش پینگ و بلاند (۲۰۰۴) نشان می‌دهد که باکتری‌های ارتقادهنده رشد به‌عنوان محرک‌های زیستی در سنتز متابولیت‌های ثانویه بشمار می‌روند.

در تحقیق حاضر مشخص شد که افزایش سطوح آبیاری و اعمال تنش خشکی باعث افزایش پرولین و فعالیت آنتی اکسیدانی شد. تنش خشکی باعث افزایش قندهای محلول، محتوای پرولین، فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی شد. در این تحقیق استفاده از کودهای زیستی در شرایط تنش کم آبی توانست تا حد زیادی از بروز اثرات سوء تغذیه ای در گیاه دارویی کاملینا بکاهد. همچنین تجمع میزان پرولین، قندهای محلول و افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی در این گیاه، در مواجهه با تنش کم آبی از جمله مکانیسم های تحمل به خشکی در این گیاه محسوب می شود. کاربرد تلفیقی باکتری های تیوباسیلوس و سودوموناس نتایج بهتری از کاربرد این باکتری ها به تنهایی بود. بنابراین در صورتی که شدت تنش کم آبی در این گیاه زیاد نباشد، می توان با کاربرد کودهای زیستی از اثرات تنش کم آبی کاست.

### منابع

حشمتی، س. م. امینی دهقی، و ک. فتحی امیرخیر. ۱۳۹۵. بررسی اثر کود شیمیایی و زیستی فسفر بر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان و برخی صفات بیوشیمیایی گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius L.*) تحت تنش کمبود آب. تولید فرآوری محصولات زراعی و باغی. جلد ۶، شماره ۱۹: ۲۱۳-۲۰۳.

رهبری، ا. ح. فاطمی و ب. اسماعیل پور. ۱۳۹۹. تأثیر سویه های مختلف باکتری سودوموناس فلورسنس بر فاکتورهای مورفولوژیک، بیوشیمیایی و آنزیم های آنتیاکسیدان گیاه شوید (*Anethum graveolens L.*) تحت تنش سرب. نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. جلد ۳۶، شماره ۲: ۲۴۴-۲۲۷.

سید شریفی، ر. و سید شریفی، ر. ۱۳۹۸. اثر مصرف کودهای زیستی بر عملکرد، میزان روغن و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) در تیمارهای قطع آبیاری. فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۸، شماره ۲۹: ۱۰۷-۹۷.

- Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. Meth Enzymol. 121-126.
- Alscher, R.G. A.N.D. Erturk and L. S. Heath. 2002. Role of superoxide (SODs) in controlling oxidative stress in plants. JXB. 372:1331- 1341.
- Angelopoulou, F. E. Tsiplakouand, D. Bilalis. 2019. Impact of Compost Application on Fall-seeded Camelina Yield and Seed Quality. Bull. Univ. Agric. Sci. Vet. Med. Cluj-Napoca, Hortic. , 76(2): 151 153.
- Antoniou, C. G.Chatzimichail, R. Xenofontos, J.J. Pavlou, E.Panagiotou, A. Christou and V. Fotopoulos. 2017. Melatonin systemically ameliorates drought stress induced damage in Medicago sativa plants by modulating nitro oxidative homeostasis and proline metabolism. J Pineal Res. 62(4). 53-68.
- Apel, K. and H. Hirt. 2004. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Annual Review of Plant Biology 55: 373-399.
- Balanuca, B.R.Stan, A.Hanganu, A. Lungu and H. Iovu. 2015. Design of new camelina oilbased hydrophilic monomers for novel polymeric materials. JAOCS. 92(6): 881-891.

- Bates, L. S. S. P. Waldren and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water–stress studies. *Plant soil*. 39: 205-207.
- Belimove, A.A. I.V. Puhalsky, V.I. Safronova, A.I. Shaposhnikov, M.A. Vishnyakova and E.V. Semenova. 2015. Role of plant genotype and soil conditions in symbiotic plant-microbe interactions for adaptation of plants to cadmium polluted soils. *WASP*. 226(264): 1-15.
- Besharaty, H. K. Khavazi and N. Saleh-Rastin. 2001. Evaluation of some carriers for thiobacillus inoculants used along with sulphur to increase uptake of some nutrients by corn and improve its performance. *Plant Nutri*. 672-673.
- Bianco, C. and R. Defez. 2009. Medicago truncatula improves salt tolerance when nodulated by an indole3-acetic acidoverproducing Sinorhizobium meliloti strain. *JXB*. 60: 3097-3107.
- Chen, J. H. 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taiwan, R.O.C. 11 pp.
- Chghazrdi, H.R. G.H. Mohammadi and A. Beheshti Al Agha. 2013. Evaluation of the effect of sulfur and animal manure on the growth characteristics of maize plants (single cross 704) and soil acidity. *ISCPBS*. 1(11): 162-170.
- Crowe, J. H. F. A., Hoekstra and L. M. Crowe. 1992. Anhydrobiosis. *ARPB*. 54: 579- 599.
- Ezhilmathi, K. V.P. Singh, A. Arora and R.K. Sairam. 2007. Effect of 5-sulfosalicylic acid on antioxidant activity in relation to vase life of Gladiolus cut flowers. *Plant Growth Regul*. 51:99-108.
- Giannopolitis, C.N. and S.K. Ries. 1977. Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*. 59: 309-314.
- Gunes, A. N. Cicek, A. Inal, M. Alpaslan, F. Eraslan, E. Guneri and T. Guzelordu. 2006. Genotypic response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to drought stress implemented at pre-and post anthesis stages and its relations with nutrient uptake and efficiency. *Journal of Plant Soil Environment*. 52: 868-876.
- Gururani, M. A. C. P. Upadhyaya, V. Baskar, A. Nookaraju, J. Venkatesh and S.W. Park. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria enhance abiotic stress tolerance in Solanum tuberosum through inducing changes in the expression of ROSscavenging enzymes and improved photosynthetic performance. *Journal of Plant Growth Regulator*, 32: 245-258.
- Harish, S. M. Kavino, N. Kumar, D. Saravana Kumar, K. Soorianathasundaram and R. Samiyappan. 2008. Bio hardening with plant growth promoting rhizosphere and endophytic bacteria induces systemic resistance against banana bunchy top virus. *Applied Soil Ecology*. 39: 187-200.
- McVay, K.A. 2008. Camelina production in Montana. MSU extension. *Medicine Present Per*. 3: 33-42.
- Mittler, R. 2006. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*. 7: 405-410.
- Nayyar, H. and D.Gupta. 2006. Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *EEB*. 58: 106–113.
- Omokolo, N.D. N.G. Tsala and P.F. Djocgoue. 1996. Changes in carbohydrate, amino acid and phenol content in cocoa pods from three clones after infection with Phytophthora megakarya Bra and Grif. *Annual Botany*. 77:153-158.

- Pang, C. H. S. J. Zhang, Z. Z. Gong and B. S. Wang. 2005. NaCl treatment markedly enhances H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-scavenging system in leaves of halophyte *Suaeda salsa*. *Physiologia Plantarum*. 125:490-499.
- Rostami Ahmadvandi, H. A. Zeinodini, R.Ghobadi and M. Gore. 2021. Benefits of Adding Camelina to Rainfed Crop Rotation in Iran: A Crop with High Drought Tolerance. *Agrotech Ind Crops*. 1(2): 91-96.
- Saravankumar, A. A. Aslam and A. Shajahan. 2012. Developmant and optimaization of hairy root cultur systems in *Withania somnifera* (L.) Dunal for withaferin-A production. *A. J. B.* 11(89), 16412-16420.
- Sarvajeet, S.G. and T. Narendra. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in a biotic stress tolerance in crop plants. *P Phys and Bio*. 3: 1-22.
- Sarvari, M. R. Darvishzadeh, R. Najafzadeh and H. Hatami Maleki. 2017. Physio-biochemical and Enzymatic Responses of Sunflower to Drought Stress. *J. plant physiol. breed.* 7(1): 105-119.
- Toncea, I. D.Necseriu, T.Prisecaru, L.N. Balint, I. Ghilvacs and M. Popa. 2013. and oil composition of Camelia-first romanian cultivar of camelina (*Camelina sativa*, L. Crantz). *Romanian Biotechnol. Lett.* 18(5): 8594 8602.
- Turkan, I. M. Bor, F. Ozdemir and H. Koca. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Science*. 168(1): 223-231.
- Yang, Y. Q. Liu, C. Han, Y.Z. Qiao, X.Q. Yao and H.J. Yin. 2007. Influence of water stressand low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. *Photosyntetica*. 45: 613- 619.
- Yang, J. C. Caldwell, K.Corscadden, Q.S. He and J. Li. 2016. An evaluation of biodiesel production from *Camelina sativa* grown in Nova Scotia. *Industrial Crops and Products*. 81: 162-168.
- Zafari, S.V. Niknam, R. Musetti and S. N. Noorbakhsh. 2012. Effect of phytoplasma infection on metabolite content and antioxidant enzyme activity in lime (*Citrus aurantifolia*). *Acta Physiologiae Plantarum*, 34(2), 561-568.
- Zeid, I.M. and Z.A. Shedeed. 2006. Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. *Biol. Plantarum* 50 (4): 635-640.
- Zhang, K. M. H. J. Yu, K. Shi, Y. H. Zhou, J. Q. Yu and X. J. Xia. 2010. Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*. *Plant Science*. 179(3):202-208.

## **Evaluation of the effect of irrigation regime, biofertilizer and sulfur application on some biochemical characteristics, antioxidant activity level and Camelina oil percentage (*Camelina sativa* L.) in the climatic conditions of Khuzestan**

Mohammad Mahdi Matiei <sup>1\*</sup>

Received: 20 Oct. 2023    Accepted: 26 Dec. 2023

### **Abstract**

In order to evaluate the effect of biological fertilizers and sulfur application on reducing the effects of insufficient irrigation, an experiment was conducted in the form of split plots in the form of randomized complete block design with 3 replications at the agricultural station of Khuzestan Agricultural Research and Training Center and Natural Resources in the crop year of 2019-1400. . Irrigation regime as the main factor in three levels (100, 75 and 50% of water requirement according to FAO) and inoculation with biological fertilizer in four levels (inoculation with *Thiobacillus*, *Pseudomonas* and *Thiobacillus* + *Pseudomonas* and no inoculation as a control) and fertilizer levels Sulfur at two levels (0 and 50 kg/ha) were as secondary factors. The examined traits included the content of soluble sugars and proline, enzymes catalase and superoxide dismutase and peroxidase and malondialdehyde as well as oil percentage and oil yield. The highest amount of proline, catalase, peroxidase, superoxide dismutase and malondialdehyde enzymes was obtained at the level of 50% of water requirement along with the consumption of 50 kg of sulfur per hectare and the application of *Thiobacillus* + *Pseudomonas*. It seems that the use of growth-stimulating bacteria and the use of sulfur reduced the negative effects of drought stress in *Camelina*.

**Key words:** *Camelina*, catalase, proline, oilseed, peroxidase.

---

1. Faculty member of Payam Noor University of Khuzestan, Khuzestan, Iran.

Corresponding Author: motiei.mm.916@gmail.com