اثر کاربرد گوگرد تلقیح شده با باکتری تیوباسیلوس بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی لاین امیدبخش L17 کلزا (*Brassica napus* L.) تحت شرایط دیم مازندران

ثریا قاسم‌بیکی[۱]، پرستو مجیدیان[۲*]، ولی‌اله رامئه[۳]، مهیار گرامی[۴] و بهرام مسعودی[۵]

۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه کشاورزی، موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی سنا، ساری، ایران.

۲) استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.

۳) دانشیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.

۴) استادیار گروه کشاورزی، موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی سنا، ساری، ایران.

۵) استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

[*] **نویسنده مسئول: p.majidian@areeo.ac.ir**

این مقاله برگرفته از رساله کارشناسی ارشد می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۵**

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی اثر عنصر گوگرد بر صفات فیزیولوژیکی لاین امیدبخش L17 کلزا در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران ایستگاه تحقیقات کشاورزی بابع‌کلا در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا گردید. در این تحقیق، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای روغن، محتوای پروتئین، عملکرد روغن و عملکرد پروتئین اندازه‌گیری شدند. نتایج داده‌ها نشان داد که اثر تمام تیمارهای گوگرد بر روی صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. نتایج مقایسه میانگین صفات مورد بررسی بیانگر آن بود که مصرف مقدار ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار گوگرد بیش‌ترین اثر را بر روی صفات فوق‌الذکر نشان دادند. علاوه بر این، نتایج آزمون همبستگی داده‌ها نشان داد که عملکرد روغن هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار را به‌ترتیب با صفات عملکرد پروتئین (۰/۹۹۹)، میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۸۹۴)، کلروفیل a (۰/۸۶۱)، کلروفیل کل (۰/۸۴۹)، میزان روغن (۰/۸۴۱)، کلروفیل b (۰/۸۰۵)، میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (۰/۸۰۱) و کاروتنویید (۰/۷۵۹) نشان داد. بنابراین، با توجه به‌نتایج به‌نظر می‌رسد که می‌توان مصرف تلفیقی گوگرد به‌همراه تلقیح با باکتری تیوباسیلوس را به‌عنوان راهکاری جهت بهبود صفات کیفی لاین امیدبخش L17 کلزا مدنظر قرار داد.

واژه‌های کلیدی: صفات فیزیولوژیکی، کلزا و گوگرد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

مقدمه

کلزا یکی از گیاهان روغنی مهم در جهان به‌شمار می‌آید که دانه آن دارای بیش از ۴۰ درصد روغن و کنجاله آن سرشار از پروتئین می‌باشد. از مهم‌ترین کشورهای تولید کننده کلزا می‌توان به‌ترتیب به چین، کانادا، هندوستان، آلمان اشاره نمود که بیش از ۶۵ درصد کلزای جهان را تولید می‌کنند (Urton *et al*., 2018). در میان استان‌های مختلف، استان مازندران دومین استان تولید کننده کلزا در کشور محسوب می‌شود که کشت کلزا در مازندران به‌دلیل سازگاری مناسب این گیاه به شرایط آب و هوایی منطقه، داشتن جایگاه ویژه بین محصول‌های پاییزه گندم و جو به‌ویژه در سال‌های خشک‌سالی و داشتن پتانسیل کشت دوم بعد از برداشت برنج، باعث بالا بردن درآمد زارعین، اثرهای مثبت اجتماعی و اقتصادی در منطقه شده است (رامئه، ۱۳۹۴). بنابراین مهم‌ترین هدف اصلاح ارقام کلزا از نظر افزایش عملکرد دانه و میزان روغن می‌باشد که این صفات تحت اثر عوامل ژنتیکی، تغذیه مناسب ویژگی‌های فیزیولوژیک رشد و نمو و به‌زراعی قرار می‌گیرند (Khayat *et al*., 2018). استفاده از کودهای شیمیایی معدنی یکی از سریع‌ترین روش‌ها برای تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌باشد (رامئه، ۱۳۹۳). در میان عناصر غذایی مختلف، گوگرد یکی از عناصر غذایی پر مصرف و ضروری برای گیاه می‌باشد که کمبود آن نه تنها عملکرد را در نتیجه تغذیه نامناسب کاهش می‌دهد، بلکه ارزش کیفی محصول‌ها مانند درصد پروتئین و درصد روغن را نیز می‌کاهد. گوگرد جزء تشکیل‌دهنده ترکیبات مختلف از جمله اسیدهای آمینه نظیر سیستئین[۱]، متیونین[۲] و پروتئین‌های حاصل از آن‌ها می‌باشد (Dong *et al*., 2017). گوگرد در تشکیل کلروفیل، ترکیبات فعال کننده آنزیم‌ها، سنتز ویتامین بیوتین[۳] و فتوسنتز نقش دارد. گوگرد در فرم آلی احیا شده در آنتی‌اکسیدان‌های گلوتاتیون ردوکتاز[۴] و آسکوربات پراکسیداز[۵] وجود دارد که سبب کاهش سمیت رادیکال‌های اکسیژن[۶] و پراکسید هیدروژن[۷] می‌شود (Kim *et al*., 2020). گوگرد نقش به‌سزایی را در تولید دانه‌های روغنی از جمله کلزا ایفاء می‌کند (Besharati and Matlabifard, 2015). در مطالعه‌ای، اثر تیمارهای مختلف گوگرد بر عملکرد، میزان پروتئین و روغن کلزا بررسی شد. نتایج نشان داد که محتوای روغن دانه و هم‌چنین محتوای پروتئین در اثر تیمار ۳۰ گیلوگرم در هکتار گوگرد افزایش یافت (Asadi Rahmani *et al*., 2018). در پژوهشی اثر گوگرد بر محتوای کربوهیدرات، فعالیت آنزیمی و عملکرد دانه کلزا بیانگر این بود که افزایش تیمارهای گوگرد اثر مستقیم بر محتوای کربوهیدرات برگ دارد که به دنبال آن

1- Cysteine
2- Methionine
3- Biotin
4- Glutathione reductase
5- Ascorbate peroxidase
6- Oxygen radical
7- Hydrogen peroxide

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

اثر تسریع کننده در افزایش عملکرد را نیز نشان می‌دهد (Rameeh *et al*., 2019). در ارتباط با اثر گوگرد بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در پژوهشی اثر کاربرد گوگرد و کادمیوم بر ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، فیتوکلاتین[1] و رشد خردل هندی بررسی شد (Bashir *et al*., 2015). نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون ردوکتاز و کاتالاز[2] در گیاهان تیمار شده با کادمیوم[3] کاهش و در گیاهان تیمار شده با گوگرد افزایش می‌یابد. علاوه بر این محققان اظهار داشتند که مکانیسم‌های دفاعی بر پایه گوگرد و مسیر آنتی‌اکسیدانی که برای تحمل و رشد گیاه ضروری می‌باشند- در اثر کاهش گوگرد تخریب می‌شوند. به‌طور معمول استفاده از فاکتور تغذیه‌ای با کودهای بیولوژیکی یا تسریع کننده‌ها سبب پویایی بیشتر عناصر شیمیایی در خاک می‌شوند (همتی و همکاران، ۱۳۹۸). طیف وسیعی از میکروارگانیسم ها[4] نظیر باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد قادر به اکسیداسیون گوگرد می‌باشند که خود طیف وسیعی از گروه‌های مختلف باکتری‌ها را شامل می‌شوند (خیری‌استیار و همکاران، ۱۳۹۸). از مهم‌ترین باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد می‌توان به باکتری جنس تیوباسیلوس[5]، تیوسفرا[6]، سولفلوبوس[7] اشاره کرد (Ihara *et al*., 2017). علاوه بر این، به‌دلیل سرعت پایین اکسیداسیون گوگرد در خاک می‌توان از باکتری تیوباسیلوس جهت افزایش فرآیند اکسیداسیون و در نهایت افزایش عملکرد گیاه استفاده کرد. برای مثال در گزارشی مصرف گوگرد به‌همراه باکتری تیوباسیلوس سبب افزایش عملکرد کلزا و نیز حلالیت فسفر، آهن و روی در خاک‌های آهکی شد (Aziz *et al*., 2016). در مطالعه‌ای، کاهش اسیدیته محیط اطراف ریشه در اثر استفاده از گوگرد تلقیح‌شده با باکتری تیوباسیلوس گزارش شد (Huber *et al*., 2016). در پژوهش دیگر، اثر گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر صفات کمی و کیفی خردل بررسی شد که نتایج بیانگر بهبود رشد خردل با توجه به افزایش محتوای فاکتورهای روغن، پروتئین، کلروفیل، وزن هزار دانه، تعداد بذر در خورجین و تعداد خورجین در بوته بود (Chaudhary *et al*., 2018). در پژوهشی دیگر اثر ترکیب فسفات خاک همراه با میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفر بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن کلزا بررسی شد که نتایج بیانگر افزایش عملکرد دانه با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم فسفات بود (غنایی و چگنی، ۱۳۹۸). در این راستا، با توجه به اهمیت استفاده از عنصر گوگرد در افزایش عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاهان هدف از این پژوهش بررسی اثر مقادیر مختلف عنصر گوگرد تلقیح‌شده با باکتری تیوباسیلوس بر برخی ویژگی‌های کیفی لاین امیدبخش L17 گیاه کلزا در شرایط اقلیمی مازندران بود.

1-Phytochelatin
2-Catalase
3-Cadmium
4-Microorganisms
5-*Thiobacillus*
6 *Thiospharea*
7-*Sulfolobus*

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های فیزیولوژیکی لاین امیدبخش L17 کلزا تحت اثر مقادیر مصرف کود گوگرد، آزمایشی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار شامل فاکتور آزمایشی عنصر گوگرد با مقادیر مصرف صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار بر روی لاین امیدبخش L17 کلزا در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران ایستگاه تحقیقات کشاورزی بایع‌کلا واقع در عرض جغرافیایی ۴۳ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی انجام شد. قبل از کاشت نسبت به نمونه‌گیری مرکب خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متری اقدام و جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه به آزمایشگاه شیمی خاک منتقل و خواص فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شدند (جدول ۱).

جدول ۱: نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق خاک	بافت خاک	اسیدیته	هدایت الکتریکی	مواد خنثی‌شونده	کربن آلی	پتاسیم	منگنز	روی	مس	آهن	فسفر	نیتروژن
(سانتی‌متر)			(دسی‌زیمنس بر متر)	(درصد)		(میلی‌گرم در کیلوگرم)						
۰-۳۰	سیلتی - لومی	۷/۷۳	۰/۵۷	۱۵/۵۰	۰/۸۱	۴۲۶/۰۰	۸/۸۰	۲/۰۰	۱/۳۰	۱۲/۰۰	۶/۲۰	۰/۱۲

مصرف کود گوگرد به‌صورت دانه‌بندی‌شده (پاستیلی) با نسبت ۹۰ درصد گوگرد عنصری و ۱۰ درصد بنتونیت در هکتار به همراه باکتری اکسیدکننده به نسبت ۲ درصد وزنی گوگرد، بر اساس غلظت‌های تعیین شده قبل از کاشت استفاده شد. مایه تلقیح مورد استفاده شامل باکتری تیوباسیلوس با جمعیت 5×10^{8} سلول در گرم بود. عملیات تهیه بستر در اواخر شهریور با مصرف ۸ کیلوگرم بذر در هکتار (تراکم ۹۰ بوته در مترمربع) انجام شد. کاشت بذر با دست در هر کرت آزمایشی شامل ۶ ردیف ۵ متری با فاصله ۴۰ سانتی‌متر در بین ردیف‌ها انجام شد. تمامی کودهای مصرفی بر اساس ۵۰ کیلوگرم اوره و ۵۰ کیلوگرم کود پتاسه (سولفات یا کلراید)، ۵۰ کیلوگرم کود فسفاته (فسفات آمونیم یا سوپرفسفات تریپل) بر اساس آزمون خاک به مقدار لازم قبل از کاشت مصرف گردید. در مرحله ۴ برگی مقدار ۵۰ تا ۷۵ کیلوگرم کود اوره به همراه ۲۵ کیلوگرم کلرید پتاسیم، در مرحله قبل از خروج از رُزت[1] و شروع ساقه‌دهی ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره و ۵۰ کیلوگرم کلرید پتاسیم، در مرحله رُزت محلول‌پاشی با کودهای حاوی عناصر ریزمغذی و ۵۰ کیلوگرم کود اوره و در مرحله گل‌دهی ۵۰ کیلوگرم سولفات‌آمونیوم و ۵۰ کیلوگرم کود اوره مصرف شد. کشت کلزا به‌صورت دیم و آبیاری بر اساس نزولات جوی انجام شد. وضعیت هواشناسی محل انجام آزمایش نیز در جدول ۲ آورده شده است.

1-Rosette

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

جدول ۲: میزان بارندگی و میانگین حداقل و حداکثر دما در طول کاشت تا برداشت گیاه کلزا تحت شرایط دیم مازندران

تاریخ کاشت	تاریخ برداشت	طول دوره رشد (روز)	شاخص‌های هواشناسی	ماه‌های سال								مجموع
				آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	
۹۷/۸/۹	۹۸/۳/۱۵	۲۱۶	میزان بارندگی (میلی‌متر)	۷۰/۰	۵۹/۱	۷۰/۸	۱۴۱/۶	۱۵/۷	۹۶/۵	۴۴/۷	۶۱/۵	۵۵۹/۹
			میانگین دمای حداقل (سانتی‌گراد)	۱۰/۹	۲/۷	۳/۷	۲/۷	۵/۱	۱۰/۵	۱۶/۳	۱۹/۷	۷۱/۶
			میانگین دمای حداکثر (سانتی‌گراد)	۱۹/۰	۱۳/۳	۱۳/۵	۱۱/۰	۱۶/۳	۲۰/۲	۲۵/۹	۲۸/۶	۱۴۷/۸

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای کلروفیل و کاروتنویید، در مرحله ۷۰ درصد گل‌دهی بوته‌ها، از هر کرت تعداد ۴ بوته انتخاب شد و مقدار ۰/۲۵ گرم از مخلوط خرد شده برگ‌ها در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد کاملاً کوبیده، هموژنیزه و با کاغذ صافی واتمن شماره ۲ صاف شد. سپس محصول حاصل داخل کووت ریخته و جذب نوری محلول رویی در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر[1] مدل HACH-DR/4000U قرائت شد. مقدار کلروفیل a[2]، b[3]، کل[4] و کاروتنویید[5] به ترتیب طبق رابطه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ محاسبه شدند (Branisa *et al.*, 2019):

رابطه ۱: کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) = [(۱۲/۷ × OD ۶۶۳) – (۲/۶۹ × OD ۶۴۵)] ÷ [۱۰۰۰ × W]

رابطه ۲: کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) = [(۲۲/۹ × OD ۶۴۵) – (۴/۶۸ × OD ۶۶۳)] ÷ [۱۰۰۰ × W]

رابطه ۳: کاروتنویید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) = [(۲۲/۹ × OD ۶۴۵) – (۴/۶۸ × OD ۶۶۳)] ÷ [۱۰۰۰ × W]

رابطه ۴: کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) = a + b

که در رابطه‌های بالا W وزن نمونه تر، V حجم نهایی عصاره (۱۰ میلی‌لیتر) و OD مقدار جذب نور می‌باشند. برای تعیین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز[6] در هنگام ۷۰ درصد گل‌دهی بوته‌ها، برگ‌های بالایی چهار بوته انتخابی از هر کرت جدا و جهت انتقال به آزمایشگاه در نیتروژن مایع قراد داده شدند. جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز، مخلوط واکنشی که برای سنجش فعالیت ویژه این آنزیم استفاده شد شامل ۷۵۰ میکرولیتر پراکسیدهیدروژن ۷۰ میلی‌مولار محلول در فسفات‌پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار با اسیدیته برابر ۷، ۷۵۰ میکرولیتر بافر فسفات‌پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار با اسیدیته برابر ۷، ۷۵۰ میکرولیتر آب دوبار تقطیر استریل شده و ۷۵۰ میکرولیتر گلیکول[7] ۱۰ میلی‌مولار

1-Spectrophotometer
2-Chlorophyll a (Chla)
3-Chlorophyll b (Chlb)
4-Total chlorophyll
5-Carotenoid
6-Superoxide dismutase
7-Glycol

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

محلول در آب دو بار تقطیر استریل‌شده بود. در این روش مخلوط واکنش فوق به اضافه ۲۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی در یک کووت شیشه‌ای ۳ میلی‌لیتری ریخته شده و با قرار گرفتن در دستگاه اسپکتروفتومتر فعالیت آنزیم پراکسیداز در طول موج ۴۷۰ نانومتر و در مدت زمان واکنش ۱۸۰ ثانیه اندازه‌گیری شد. به‌منظور سنجش آنزیم سوپراکسیددیسموتاز، پس از تهیه بافرهای سنجش آنزیم سوپراکسیددیسموتاز با کمک بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار و بافر ریبوفلاوین[1] ۰/۱۲ میلی‌مولار، میزان جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر قرائت شد (Hosseini *et al*., 2015). یک واحد از آنزیم بافر ریبوفلاوین سوپراکسیددیسموتاز به مقدار آنزیمی گفته می‌شود که سبب ۵۰ درصد مهار نیتروبلوتترازولیوم[2] به فورمازان[3] شود. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار[4] (LSD) در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر عنصر گوگرد بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنویید، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای روغن، محتوای پروتئین، عملکرد روغن و عملکرد پروتئین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۳).

محتوای رنگیزه‌های فتونستزی

بر اساس نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین رنگیزه‌های فتوسنتزی، با افزایش تیمارهای گوگردی روند صعودی در محتوای این رنگیزه‌ها مشاهده شد. در تیمار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف گوگرد، بیش‌ترین میزان کلروفیل a (۰/۳۲۰ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ) نسبت به شاهد (۰/۱۷۳ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ) مشاهده شد. پس از شاهد، کم‌ترین میزان کلروفیل a ۰/۲۱۳ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ مشاهده شد. در تیمار ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار مصرف گوگرد، بیش‌ترین میزان کلروفیل b (۰/۹۵۷ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ) نسبت به شاهد (۰/۶۷۳ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ) حاصل شد. پس از شاهد، کم‌ترین میزان کلروفیل b (۰/۷۳۰میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ) در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار مصرف گوگرد به‌دست آمد. نتایج مقایسه میانگین بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای گوگردی مورد استفاده بر میزان کلروفیل کل در گیاه کلزا بود، به‌طوری‌که، بیش‌ترین میزان کلروفیل کل در تیمار ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار گوگرد به میزان ۱/۲۷۳ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ نسبت به تیمار شاهد (به میزان ۰/۸۴۶ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ) مشاهده شد. کم‌ترین میزان کلروفیل کل در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار گوگرد به میزان ۰/۹۴۳

1-Riboflavin
2- Nitro blue tetrazolium chloride
3-Formazan
4-Least significant difference (LSD)

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ بعد از تیمار شاهد حاصل شد. علاوه بر این نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین میزان کاروتنویید در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار مصرف گوگرد یعنی به میزان ۰/۰۸۰ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ و کم‌ترین میزان در تیمار شاهد مشاهده شد. بعد از شاهد، کم‌ترین میزان کاروتنویید در تیمار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف گوگرد یعنی به میزان ۰/۰۴۷ میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ به‌دست آمد و بین تیمارهای ۱۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار مصرف گوگرد اختلاف معنی‌داری از نظر میزان کاروتنویید مشاهده نشد (جدول ۴). در آزمایش مشابه، اثر کاربرد گوگرد و باکتری تیوباسیلوس بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه لوبیا در شرایط تنش قطع آبیاری سبب کمک به تداوم فعالیت رنگیزه‌های فتوسنتزی در مرحله پر شدن نیام شد (خیری استیار و همکاران، ۱۳۹۸). در مطالعه‌ای، اثر کاربرد کود گوگرد به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه آفتابگردان بیانگر افزایش ۳۹ درصدی میزان کلروفیل b نسبت به عدم مصرف کود بود که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت (حیدری و همکاران، ۱۳۹۴). در مطالعه دیگر Kumar و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کاربرد گوگرد منجر به افزایش سنتز انواع کروفیل‌ها نظیر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در گیاه سویا شد. این امر ممکن است به‌دلیل نقش گوگرد در ساختار آنزیم، جذب و متابولیسم نیتروژن و افزایش نیتروژن جذب شده توسط گره‌های ریشه باشد. بر اساس تحقیقات گذشته، کمبود گوگرد در گیاه سبب کاهش میزان گوگرد موجود در برگ و در نهایت منجر به کاهش نرخ فتوسنتز در واحد کلروفیل می‌گردد. در این راستا، استفاده از تیمارهای مختلف گوگرد می‌تواند سبب افزایش نرخ فتوسنتز و به دنبال آن عملکرد دانه، روغن و پروتئین افزایش از طریق سنتز پروتئین و کلروفیل جدید گردد (Skudra and Ruza, 2017).

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

بر اساس نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین‌ها، سطوح کودی ۳۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار مصرف گوگرد، بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز به ترتیب به میزان‌های ۳/۷۵۰ و ۳/۷۳۰ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین نسبت به شاهد (۲/۳۱۷ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) را نشان دادند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین اثر تیمار گوگردی بر فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در گیاه کلزا (۰/۱۵۶ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار مصرف گوگرد نسبت به تیمار شاهد به میزان ۰/۰۹۳ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بود. در بین تیمارهای ۱۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار مصرف گوگرد اختلاف معنی‌دار دیده نشد (جدول ۴). به‌طور کلی گیاهان مکانیسم موثری برای حفاظت در برابر گونه‌های اکسیژن فعال و واکنش‌های پراکسیداسیون[1] دارند. اغلب مسیرهای بیوشیمیایی مهار گونه‌های اکسیژن فعال در گیاهان شامل آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز واقع در ساختارهای سلولی و

1-Peroxidation

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

چرخه آبی در کلروپلاست‌ها[1] و آسکوربات‌پراکسیداز یافت شده در چرخه آسکوربیک اسید واقع در کلروپلاست‌ها، سیتوزول[2]، میتوکندری[3]، آپوپلاست[4] و پراکسیزوم‌ها[5] می‌باشند (Ihara *et al*., 2017). گوگرد جزء اصلی این آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌باشد که نقش دفاعی در برابر گونه‌های اکسیژن و نیتروژن فعال ایفاء می‌کنند (اخوان و همکاران، ۱۳۹۷). در واقع پیوندهای دی‌سولفیدی موجود در مولکول‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر گلوتاتیون[6]، تیوردوکسین[7] و گلوتاردوکسین[8] مسئول کاهش شرایط تنش اکسیداتیو[9] می‌باشند (Gorny *et al*., 2020). علاوه بر آنزیم‌ها، گوگرد نقش مهمی را در ساختار ترکیب‌های بیولوژیکی مختلف شامل ویتامین‌ها، کوفاکتورها، کوآنزیم‌آ[10] و بسیاری از ترکیب‌های ثانویه ایفاء می‌کند. در واقع فراوانی گوگرد در گیاهان تولید ترکیبات متابولیکی اولیه را افزایش می‌دهد که به‌دنبال آن منجر به افزایش در ترکیب‌های متابولیکی ثانویه نظیر منابع ویتامین‌های آنتی‌اکسیدانی می‌گردد (Shankar *et al*., 2015). در پژوهشی مشابه میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز و کاتالاز در اثر تیمارهای مختلف گوگردی در گیاه کلزا[11] بررسی شد (Rameeh *et al*., 2019). نتایج بیانگر اثر افزایشی گوگرد بر آنزیم پراکسیداز ریشه بود که میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز را بین ۰/۰۳۶ تا ۰/۰۵۷ میکرومول بر دقیقه نشان داد. علاوه بر این، میزان فعالیت کاتالاز برگ به‌طور معنی‌داری در اثر سطوح مختلف گوگرد با میانگین ۳/۸۷ تا ۵/۶۰ میکرومولار به‌دست آمد که نتایج این تحقیق با نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر هم‌راستا بود. در مطالعه دیگر، اثر گوگرد و کادمیوم بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و رشد خردل هندی ارزیابی شد که نتایج بیانگر کاهش فعالیت آسکوربات‌پراکسیداز، گلوتاتیون‌ردوکتاز و کاتالاز در اثر تیمار با کادمیوم و کمبود گوگرد در گیاه و افزایش فعالیت صفت‌های فوق‌الذکر در اثر حضور گوگرد بود که این نتایج می‌تواند نشان‌دهنده اثر گوگرد در سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و اثر کادمیوم در القاء تنش‌های اکسیداتیو در شرایط کمبود گوگرد باشد (Bashir *et al*., 2015). در پژوهش دیگر، اثر تیروزین و گوگرد بر رشد، عملکرد و ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی برگ‌ها و بذر گیاه منداب مورد بررسی قرار گرفت (Al-Mohammad and Al-Taey, 2019). نتایج نشان داد که گوگرد و تیروزین به‌تنهایی اثر معنی‌داری را با افزایش غلظت‌های هر کدام از تیمارها بر روی صفت‌های مورد مطالعه داشتند، اما برهم‌کنش تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تیروزین و ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار گوگرد بیشترین اثر را بر ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر

1-Chloroplasts
2-Cytosol
3-Mitochondria
4-Apoplast
5-Peroxisoms
6-Glutathione (GSH)
7-Thioredoxin
8-Glutaredoxin
9-Oxidative stress
10-Coenzyme A
11- *Brassica napus* L.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

اسیدآسکوربیک، توکوفرول[1]، بتا-کاروتن[2]، گلوکوزینولات[3] و گلوتاتیون به‌ترتیب به‌میزان ۸۵/۳۱، ۶/۲۸، ۷/۳۳، ۴۰/۲۲ و ۱۲/۰۶ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر برگ و ۶۶/۵۱، ۱۰/۱۰، ۴/۲۷، ۵۴/۵۶ و ۱/۰۵ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر در بذر نشان داد.

محتوای روغن و پروتئین

مقایسه میانگین‌های اثر گوگرد بر میزان روغن بیانگر آن بود که با افزایش تیمارهای گوگردی روند صعودی اندکی در این صفات مشاهده شد. بیش‌ترین محتوای درصد روغن برابر با ۴۷/۴۳ درصد با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد نسبت به شاهد برابر با ۴۲/۷۶ درصد پدیدار گردید. بین تیمارهای شاهد و تیمار ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد اختلاف معنی‌دار دیده نشد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین محتوای درصد پروتئین (۲۲/۶۰ درصد) با مصرف تیمار ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار گوگرد نسبت به تیمار شاهد (۲۱/۴۰ درصد) مشاهده شد. بعد از تیمار شاهد، کم‌ترین محتوای درصد پروتئین به میزان ۲۱/۸۰ درصد نسبت به تیمار شاهد به میزان ۲۱/۴۰ درصد به‌دست آمد. بین تیمارهای شاهد و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار گوگرد و هم‌چنین بین تیمارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار مصرف گوگرد اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۵). در مطالعه مشابه افزایش مصرف ترکیب گوگرد و تیوباسیلوس تا ۱۰۰۰ کیلوگرم گوگرد + ۲۰ کیلوگرم تیوباسیلوس در رقم RGS003 کلزا موجب افزایش تمام اجزای عملکرد به استثنای درصد روغن شد (صلاحی فرهی و سیدی، ۱۳۹۴) که هم‌راستا با نتایج تحقیق حاضر نبود. در تحقیقی دیگر، اثر گوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد روغن در کلزا بررسی شد (Varenyiova *et al*., 2017). نتایج نشان داد که میانگین میزان روغن ۴۵/۱، ۴۵/۵ و ۴۴/۰ درصد به ترتیب با استفاده از تیمارهای گوگردی ۱۵، ۴۰ و ۶۵ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد. در آزمایش مشابه دیگر، اثر عناصر روی، بُر و گوگرد بر عملکرد دانه و فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات اسید چرب کلزا بررسی شد. یافته‌ها بیانگر افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه، افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، سوپراکسیددیسموتاز و کیفیت روغن بود (Shoja *et al*., 2018).

عملکرد روغن و پروتئین

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین عملکرد روغن و پروتئین به‌ترتیب به میزان ۱۲۸۲۰۷ و ۶۰۷۶۰ کیلوگرم در هکتار با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار گوگرد نسبت به شاهد مشاهده شد. پس از تیمار شاهد، کم‌ترین عملکرد روغن و پروتئین به‌ترتیب به میزان ۹۷۲۳۲ و ۴۸۳۷۱ کیلوگرم بر هکتار نسبت به شاهد در اثر تیمار ۱۰۰ کیلوگرم

1- Tocopherol
2- Betacarotene
3- Glucosinolates

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

در هکتار گوگرد حاصل شد (جدول ۵). مطالعه‌های متعددی در زمینه اثر کاربرد گوگرد بر میزان عملکرد روغن و پروتئین کلزا انجام شده است. در آزمایشی، کاربرد عناصر ریزمغذی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی ارزیابی شد که نتایج حاکی از افزایش درصد و عملکرد روغن بود که می‌تواند دلالت بر کاهش اثرهای منفی تنش در اثر مواد ریزمغذی و ایجاد تعادل تغذیه‌ای در گیاه باشد (پاینده و همکاران، ۱۳۹۷). در واقع نتایج تحقیق حاضر بیانگر این واقعیت است که گوگرد جزء سازنده اسیدهای آمینه ضروری سیستئین، سیستین و متیونین می‌باشد که به‌دنبال آن نقش اساسی در سنتز پروتئین ایفاء نموده و حضور این عنصر می‌تواند باعث افزایش پروتئین دانه گردد. علاوه بر این، یکی دیگر از نقش‌های مهم گوگرد شرکت در ساختمان سولفولیپیدها است که در غشای سلول وجود دارند و در واقع روغن گیاه را تشکیل می‌دهند (Khan, 2017). آزمایش‌های مختلفی نشان دادند که کاربرد گوگرد کمیت عملکرد دانه و کیفیت روغن را بهبود می‌بخشد و کمبود گوگرد سبب کاهش عملکرد، پروتئین و سنتز آنزیم می‌شود که این امر می‌تواند به نقش مهم گوگرد در سنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و سایر پپتیدها و پروتئین‌ها و خاموشی مولکول‌های اکسیژن فعال[1] (ROS) نظیر گلوتاتیون (GSH) اشاره کند (Aziz *et al*., 2016).

هم‌بستگی صفات مورد مطالعه

ضریب هم‌بستگی یک پارامتر آماری مهم برای تعیین رابطه بین متغیرها می‌باشد و از این طریق می‌توان صفات مهم فیزیولوژیکی و زراعی را که دارای هم‌بستگی بالایی با عملکرد دانه، روغن و پروتئین گیاه کلزا می‌باشند، شناسایی کرد (فروغی و همکاران، ۱۳۹۵). در ارتباط با ضریب‌های هم‌بستگی محاسبه‌شده در مورد صفات مورد آزمایش، کلروفیل a هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری را با کلروفیل b (۰/۹۲۴)، کلروفیل کل (۰/۹۶۹)، کاروتنویید (۰/۵۶۴)، محتوای روغن (۰/۹۶۶)، عملکرد روغن (۰/۸۹۳)، محتوای پروتئین (۰/۸۵۸)، عملکرد پروتئین (۰/۸۷۵) و میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۸۵۱) در سطح احتمال یک درصد و با میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (۰/۶۱۹) در سطح احتمال پنج درصد نشان داد (جدول ۶). کلروفیل b هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری را با کلروفیل کل (۰/۹۹۰)، محتوای روغن (۰/۹۳۰)، عملکرد روغن (۰/۹۳۰)، محتوای پروتئین (۰/۷۵۵)، عملکرد پروتئین (۰/۸۱۲) و فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۷۹۲) در سطح احتمال یک درصد نشان داد. صفت کلروفیل کل با محتوای روغن (۰/۹۶۱)، عملکرد روغن (۰/۸۸۲)، محتوای پروتئین (۰/۸۰۶)، عملکرد پروتئین (۰/۸۵۸) و فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۸۳۵) هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. صفت کاروتنویید دارای هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد روغن (۰/۷۲۳)، محتوای پروتئین (۰/۷۶۰)، عملکرد پروتئین (۰/۷۶۸)، و میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (۰/۹۳۴) در سطح احتمال یک

1-Reactive oxygen species (ROS)

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

درصد و با میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۶۷۵) در سطح احتمال پنج درصد بود. صفت عملکرد روغن با صفات محتوای درصد پروتئین (۰/۸۱۲)، عملکرد پروتئین (۰/۹۹۷)، میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (۰/۷۶۸) و میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۹۰۲) در سطح احتمال یک درصد هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۶). محتوای پروتئین با عملکرد پروتئین (۰/۸۳۰)، میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (۰/۷۵۷) و میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۸۵۴) در سطح احتمال یک درصد هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۶). صفت عملکرد پروتئین با میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز (۰/۸۰۵) و میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۹۰۴) در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز با میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۰/۷۵۷) در سطح احتمال یک درصد هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد (جدول ۶). در ارتباط با هم‌بستگی صفات، Rameeh و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که افزایش سطح گوگرد اثر مستقیم بر محتوای کربوهیدرات برگ و به در پی آن افزایش وزن و عملکرد دانه کلزا داشت. به‌طوری‌که، هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار بسیار بالایی بین محتوای کربوهیدرات برگ کلزا و عملکرد دانه با ضریب هم‌بستگی (۰/۷۵) حاصل شد. در تحقیق مشابه دیگر، اثر عنصرهای گوگرد، نیتروژن و بُر بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا ارزیابی شد که نتایج حاکی از هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار با ضریب هم‌بستگی (۰/۹۹) عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در اثر کاربرد نیتروژن بود (Ma *et al*., 2015). در تحقیق دیگر، پاسخ گیاه کلزا به تنش‌های خشکی و گرما و اثرهای این تنش‌ها بر عملکرد بذر و ترکیبات روغن مورد بررسی قرار گرفت (Elferjani and Soolanayakanahally, 2018). نتایج نشان داد که محتوای روغن هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار با متغیرهای فیزیولوژیکی و اسیدچرب اُمگا-۳ با ضریب هم‌بستگی ۰/۶۳ و هم‌بستگی منفی با اسیدچرب اُمگا-۶ با ضریب هم‌بستگی (۰/۸۸) نشان داد. در مطالعه دیگر، هم‌بستگی و تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام بین صفات کمی و کیفی در ارقام مختلف کلزا در آرایش‌های مختلف کاشت انجام شد (حمزه‌پور و همکاران، ۱۳۹۶). یافته‌ها نشان داد که عملکرد دانه با صفات عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد روغن، عملکرد روغن، درصد پروتئین، عملکرد پروتئین و درصد نیتروژن دانه به‌ترتیب با ضریب هم‌بستگی ۰/۸۵، ۰/۴۴، ۰/۳۸، ۰/۸۴، ۰/۴۶، ۰/۸۹ و ۰/۴۷ هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار داشت. بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی با افزایش محتوای روغن و پروتئین می‌تواند بیانگر این نکته باشد که عنصر گوگرد با افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی به تولید نشاسته، لیپید و اسیدهای آمینه در برگ طی فرآیند فتوسنتز کمک شایانی می‌کند که پس از توزیع کربن جذب‌شده میان مسیرهای متابولیکی مختلف، بخشی از آن به دانه جهت ساخت پروتئین‌های ذخیره‌ای و لیپیدها انتقال می‌یابد (Xu and Shanklin, 2016).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر گوگرد بر صفات مورد بررسی در لاین امیدبخش L17 کلزا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		محتوای کلروفیل a	محتوای کلروفیل b	محتوای کروفیل کل	محتوای کاروتنویید	آنزیم سوپراکسید دیسموتاز	آنزیم پراکسیداز	محتوای روغن	محتوای پروتئین	عملکرد روغن	عملکرد پروتئین
		(میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ)				(واحد بر میلی‌گرم پروتئین)	(میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین)	(درصد)		(کیلوگرم در هکتار)	
تکرار	۲	۰/۰۰۰۸۳	۰/۰۰۱۰۰	۰/۰۰۳۱۷۵	۰/۰۰۲۰۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۱۴۰۰۵	۰/۲۲۷۵۰	۰/۱۱۵۸۳	۰/۲۲۷۵۰	۲۴۲۱۲/۶۷
گوگرد	۳	۰/۰۱۲۳۸**	۰/۰۴۵۱۶**	۰/۱۰۲۴۱**	۰/۰۰۰۰۵**	۰/۰۰۲۰۷**	۱/۳۰۶۶۶**	۱۲/۴۲۵۲۷**	۰/۹۶۰۰۰**	۱۲/۴۲۵۲۷**	۴۱۳۲۳۳۶/۷۳**
خطا	۶	۰/۰۰۰۴۱	۰/۰۰۰۷۳	۰/۰۰۰۹۵	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۱۰	۰/۰۲۲۹۹	۰/۳۴۸۶۱	۰/۰۶۵۸۳	۰/۳۴۸۶۱	۱۷۱۴۱۸/۶۲
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۳۰	۳/۴۱	۲/۹۸	۱۷/۲۴	۷/۷۴	۴/۸۹	۱/۳۱	۱/۱۶	۱/۳۱	۱۱/۷۵

**، * و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار بودن را نشان می‌دهد.

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر گوگرد بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در لاین امیدبخش L17 کلزا

تیمارهای گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	محتوای کلروفیل a	محتوای کلروفیل b	محتوای کلروفیل کل	محتوای کاروتنویید	آنزیم سوپراکسیددیسموتاز	آنزیم پراکسیداز
	(میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ)				(واحد بر میلی‌گرم پروتئین)	(میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین)
شاهد	۰/۱۷۳^{c}	۰/۶۷۳^{d}	۰/۸۴۶^{d}	۰/۰۱۷^{c}	۰/۰۹۳^{c}	۲/۳۱۷^{b}
۱۰۰	۰/۲۱۳^{c}	۰/۷۳۰^{c}	۰/۹۴۳^{c}	۰/۰۵۰^{b}	۰/۱۳۳^{b}	۲/۵۹۰^{b}
۲۰۰	۰/۲۷۰^{b}	۰/۸۰۳^{b}	۱/۰۷۶^{b}	۰/۰۸۰^{a}	۰/۱۵۶^{a}	۳/۷۳۰^{a}
۳۰۰	۰/۳۲۰^{a}	۰/۹۵۷^{a}	۱/۲۷۳^{a}	۰/۰۴۷^{b}	۰/۱۳۳^{b}	۳/۷۵۰^{a}

میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشابهی هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشند.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر گوگرد بر محتوای روغن، پروتئین، عملکرد روغن و پروتئین در لاین امیدبخش L17 کلزا

تیمارهای گوگرد	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد پروتئین (درصد)	محتوای روغن (درصد)	محتوای پروتئین (درصد)
شاهد	۷۸۳۰۱^{d}	۳۹۱۸۱^{c}	۴۲/۷۶۶^{c}	۲۱/۴۰^{b}
۱۰۰	۹۷۲۳۲^{c}	۴۸۳۷۱^{b}	۴۸/۸۳۳^{c}	۲۱/۸۰^{b}
۲۰۰	۱۱۲۹۷۰^{b}	۵۶۱۶۱^{a}	۴۵/۴۶۶^{b}	۲۲/۶۰^{a}
۳۰۰	۱۲۸۲۰۷^{a}	۶۰۷۶۰^{a}	۴۷/۴۳۳^{a}	۲۲/۴۶^{a}

میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشابهی هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشند.

جدول ۶: ضریب‌های هم‌بستگی صفات مورد مطالعه در لاین امیدبخش L17 کلزا تحت اثر مقادیر مختلف گوگرد

		محتوای کلروفیل a	محتوای کلروفیل b	محتوای کلروفیل کل	محتوای کاروتنویید	محتوای روغن	محتوای پروتئین	عملکرد روغن	عملکرد پروتئین	آنزیم سوپراکسید دیسموتاز	آنزیم پراکسیداز
		(میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ)				(درصد)		(کیلوگرم در هکتار)		(واحد بر میلی‌گرم پروتئین)	(میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین)
محتوای کلروفیل a		۱									
محتوای کلروفیل b	(میلی‌گرم در هر گرم وزن تر برگ)	۰/۹۲۴**	۱								
محتوای کلروفیل کل		۰/۹۶۹**	۰/۹۹۰**	۱							
محتوای کاروتنویید		۰/۵۶۴**	۰/۳۹۰	۰/۴۶۷	۱						
محتوای روغن	(درصد)	۰/۹۶۶**	۰/۹۳۰**	۰/۹۶۱**	۰/۴۶۴	۱					
محتوای پروتئین		۰/۸۵۸**	۰/۸۵۸**	۰/۸۰۶**	۰/۷۶۰**	۰/۷۹۹**	۱				
عملکرد روغن	(کیلوگرم در هکتار)	۰/۸۹۳**	۰/۹۳۰**	۰/۸۸۲**	۰/۷۲۳**	۰/۸۸۱**	۰/۸۱۲**	۱			
عملکرد پروتئین		۰/۸۷۵**	۰/۸۱۲**	۰/۸۵۸**	۰/۷۶۸*	۰/۸۵۱**	۰/۸۳۰**	۰/۹۹۷**	۱		
آنزیم سوپراکسید دیسموتاز	(واحد بر میلی‌گرم پروتئین)	۰/۶۱۹**	۰/۴۹۰	۰/۵۵۳	۰/۹۳۴**	۰/۵۱۹	۰/۷۵۷**	۰/۷۶۸**	۰/۸۰۵**	۱	
آنزیم پراکسیداز	(میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین)	۰/۸۵۱**	۰/۷۹۲**	۰/۸۳۵**	۰/۶۷۵*	۰/۸۳۱**	۰/۸۵۴**	۰/۹۰۲**	۰/۹۰۴**	۰/۷۵۷**	۱

**، * و ^{ns} به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار بودن را نشان می‌دهد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های به‌دست آمده از این تحقیق، اثر تیمارهای مختلف گوگردی بر صفات فیزیولوژیکی در لاین امیدبخش L17 کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها بیانگر این نکته بود که تیمارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار مصرف گوگرد بیش‌ترین اثر را بر صفات مختلفی نظیر عملکرد پروتئین، عملکرد روغن، میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان دادند. به علاوه، عملکرد روغن با محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کل)، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز)، محتوای روغن و عملکرد پروتئین هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار را نشان دادند. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان کاربرد تیمارهای گوگردی ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار مصرف گوگرد را جهت افزایش میزان صفات ذکر شده در این تحقیق بر روی لاین امیدبخش L17 کلزا پیشنهاد کرد تا از این یافته‌ها در برنامه‌های تحقیقاتی اصلاحی آینده استفاده گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از کلیه همکاران محترم در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران و موسسه آموزش عالی و غیرانتفاعی سنا ساری که در اجرای این پروژه مساعدت نمودند، قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

اخوان‌هزاوه، ط.، پوراکبر، ل.، رحمانی، ف. و علی‌پور، ه. ۱۳۹۷. اثر تنش شوری و محلول‌پاشی نانواکسید روی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) و کاملینا (*Camelina sativa* L.). نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۰ (۴۰): ۱۲۷-۱۱۱.

پاینده، خ.، مجدم، م. و دروگر، ن. ۱۳۹۷. کاربرد عناصر ریزمغذی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی. نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۰ (۳۸): ۳۷-۲۳.

حمزه‌پور، غ.، تویه، ا. و شیخ‌زاده، پ. ۱۳۹۶. مطالعه هم‌بستگی و تجزیه رگرسیون بین صفات کمی و کیفی در ارقام مختلف کلزا (*Brassica napus* L.) در آرایش‌های مختلف کاشت. نشریه علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی. ۹ (۳۱): ۱۷۱-۱۵۷.

حیدری، غ.، حسن‌زاده، ب.، سی‌وسه‌مرده، ع.، سهرابی، ی.، امام، ی. و مجیدی، م. ۱۳۹۴. اثر سطوح تنش خشکی، کود گوگرد و محلول‌پاشی منگنز بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.). نشریه زراعت دیم ایران. ۴ (۱): ۴۴-۲۹.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

خیری‌استیار، ح.، فرح‌وش، ف.، میرشکاری، ب.، خلیل‌وندبهروزیار، ا. و تاری‌نژاد، ع. ۱۳۹۸. اثر کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی لوبیا در شرایط تنش قطع آبیاری. نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۱ (۴۲): ۳۳-۱۷.

رامئه، و. ۱۳۹۳. بررسی اثر تاریخ کاشت بر رشد، فنولوژی و عملکرد ارقام بهاره کلزا. نشریه تولید گیاهان روغنی. ۱ (۱): ۸۹-۷۹.

رامئه، و. ۱۳۹۴. بررسی واکنش لاین‌های پیشرفته کلزا در شرایط زارع مازندران. نشریه یافته‌های تحقیقاتی در بهبود تولیدات گیاهان زراعی. ۱ (۲): ۲۲-۱۳.

صلاحی‌فراهی، م. و سیدی، ف. ۱۳۹۴. تأثیر ترکیب کود گوگرد همراه با تیوباسیلوس و روی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن کلزا رقم RGS003 در منطقه گنبد. نشریه تولید گیاهان روغنی. ۲ (۲): ۴۶-۳۵.

غنایی، ص. و چگنی، ه. ۱۳۹۸. اثر ترکیب خاک فسفات همراه با میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفر بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن کلزا. نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۱ (۴۴): ۹۱-۷۷.

فروغی، ع.، بیابانی، ع.، راحمی کاریزکی، ع. و رسام ق.ع. ۱۳۹۵. ارتباط فنولوژی و صفات فیزیولوژیک با عملکرد دانه کلزا در خراسان شمالی. نشریه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۰ (۴): ۱۰۰۷-۱۰۲۴.

همتی، م.، دلخوش، ب.، شیرانی‌راد، ا. و نورمحمدی، ق. ۱۳۹۸. اثر محلول‌پاشی سلنات سدیم بر محتوای سلنیوم دانه و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های کلزا (*Brassica napus* L.). نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۱ (۴۳): ۸۴-۶۹.

Al-Mohammad, M.H. and Al-Taey, D.K. 2019. Effect of tyrosine and sulfur on growth, yield and antioxidant compounds in arugula leaves and seeds. Research on Crops. 20(1): 116-120.

Asadi Rahmani, H., Khavazi, K., Jahandideh Mahjen Abadi, V. A., Ramezanpour, M.R., Mirzapour, M.H. and Mirzashahi, K. 2018. Effect of Thiobacillus, sulfur, and phosphorus on the yield and nutrient uptake of canola and the chemical properties of calcareous soils in Iran. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 49(14): 1671-1683.

Aziz, M., Nadipalli, R.K., Xie, X., Sun, Y., Surowiec, K., Zhang, J.L. and Paré, P.W. 2016. Augmenting sulfur metabolism and herbivore defense in Arabidopsis by bacterial volatile signaling. Frontiers in Plant Science. 7: 1-14.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

Bashir, H., Ibrahim, M.M., Bagheri, R., Ahmad, J., Arif, I.A., Baig, M.A. and Qureshi, M.I. 2015. Influence of sulfur and cadmium on antioxidants, phytochelatins and growth in Indian mustard. AoB Plants. 7(1): 1-13.

Besharati, H. and Matlabifard, R. 2015. Evaluation of the effect of sulfur application and *Thiobacillus* on some soil chemical characteristics and yield of canola in wheat-canola rotation system. Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology). 29: 1688-1698.

Branisa, J., Jenisova, Z., Porubska, M., Jomova, K. and Valko, M. 2019. Spectrophotometric determination of chlorophylls and carotenoids. An effect of sonication and sample processing. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 3(special issue 2): 61-64.

Chaudhary, S., Tanvi, N.V. and Goyal, S. 2018. Response of sulphur oxidizing bacterial inoculation on growth and yield parameters of mustard (*Brassica juncea* L.). International Journal of Chemical Studies. 6(6): 2452-2457.

Dong, Y., Silbermann, M., Speiser, A., Forieri, I., Linster, E., Poschet, G., Allnoje Samami, A., Wanatabe, M., Sticht, C., Teleman, A.A., Deragon, J.J., Saito, K., Hell, R. and Wirtz, M. 2017. Sulfur availability regulates plant growth via glucose-TOR signaling. Nature Communications. 8(1): 1-10.

Elferjani, R. and Soolanayakanahally, R. 2018. Canola responses to drought, heat, and combined stress: shared and specific effects on carbon assimilation, seed yield, and oil composition. Frontiers in Plant Science. 9: 1-17.

Gorny, M., Bilska-Wilkosz, A., Iciek, M., Hereta, M., Kamińska, K., Kamińska, A. and Lorenc-Koci, E. 2020. Alterations in the antioxidant enzyme activities in the neurodevelopmental rat model of schizophrenia induced by glutathione deficiency during early postnatal life. Antioxidants. 9: 1-24.

Hosseini, S.M., Hasanloo, T. and Mohammadi, S. 2015. Physiological characteristics, antioxidant enzyme activities, and gene expression in 2 spring canola (*Brassica napus* L.) cultivars under drought stress conditions. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 39(3): 413-420.

Huber, B., Herzog, B., Drewes, J.E., Koch, K. and Müller, E. 2016. Characterization of sulfur oxidizing bacteria related to biogenic sulfuric acid corrosion in sludge digesters. BMC Microbiology. 16(1): 1-11.

Ihara, H., Hori, T., Aoyagi, T., Takasaki, M. and Katayama, Y. 2017. Sulfur-oxidizing bacteria mediate microbial community succession and element cycling in launched marine sediment. Frontiers in Microbiology. 8: 1-11.

Khan, A.A. 2017. Canola yield and quality enhanced with sulphur fertilization. Russian Agricultural Sciences. 43(2): 113-119.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

Khayat, M., Rahnama, A., Lorzadeh, S. and Lack, S. 2018. Physiological indices, phenological characteristics and trait evaluation of canola genotypes response to different planting dates. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences. 88(1): 153-163.

Kim, J. H., Jang, H.J., Cho, W.Y., Yeon, S.J. and Lee, C.H. 2020. In vitro antioxidant actions of sulfur-containing amino acids. Arabian Journal of Chemistry. 13(1): 1678-1684.

Kumar, S., Wani, J.A., Lone, B.A., Fayaz, A., Singh, P., Qayoom, S., Dar and, Z.A. and Liu, X., Wang, Q., Hu, C., Zhao, X., Duan, B. and Zhao, Z. 2016. Regulatory effects of sulfur on oilseed rape (*Brassica napus* L.) response to selenite. Soil Science and Plant Nutrition. 62(3): 247-253.

Ma, B.L., Biswas, D.K., Herath, A.W., Whalen, J.K., Ruan, S.Q., Caldwell, C., Hugh, E., Vanasse, A., Scott, P. and Smith, D.L. 2015. Growth, yield, and yield components of canola as affected by nitrogen, sulfur, and boron application. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 178(4): 658-670.

Rameeh, V., Niakan, M. and Mohammadi, M.H. 2019. Sulfur effects on sugar content, enzyme activity and seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). Agronomía Colombiana. 37(3): 311-316.

Shankar, A., Agrawal, N., Sharma, M., Pandey, A. and Pandey, K.G. 2015. Role of protein tyrosine phosphatases in plants. Current Genomics. 16: 224-36.

Shoja, T., Majidian, M. and Rabiee, M. 2018. Effects of zinc, boron and sulfur on grain yield, activity of some antioxidant enzymes and fatty acid composition of rapeseed (*Brassica napus* L.). Acta agriculturae Slovenica. 111(1): 73-84.

Skudra, I. and Ruza, A. 2017. Effect of nitrogen and sulphur fertilization on chlorophyll content in winter wheat. Rural Sustainability Research. 37(332): 29-37.

Urton, R., Hangs, R.D., Schoenau, J.J. and Grant, C.A. 2018. The response of a high-yielding canola hybrid to sulfur fertilization in three contrasting Saskatchewan soils. Journal of Plant Nutrition. 41(15): 1957-1969.

Varenyiova, M., Ducsay, L. and Ryant, P. 2017. Sulphur nutrition and its effect on yield and oil content of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 65(2): 555-562.

Xu, C. and Shanklin, J. 2016. Triacylglycerol metabolism, function, and accumulation in plant vegetative tissues. Annual Review of Plant Biology. 67: 179-206.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]

Effect of Sulfur Application Inoculated with Thiobacillus Bacteria on some Physiological Characteristics of Promising Line of L17 Canola (*Brassica napus* L.) under Rainfed Conditions of Mazandaran

S. Ghasem Beiki[1], P. Majidian[2*], V. Rameeh[3], M. Gerami[4] and B. Masoudi[5]

1) M.Sc. of Department of Agriculture, Sana Institute of Higher Education, Sari, Iran.
2) Assistant Professor of Department of Crop and Horticultural Science Research, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Sari, Iran.
3) Associate Professor of Department of Crop and Horticultural Science Research, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Sari, Iran.
4) Assistant Professor of Department of Agriculture, Sana Institute of Higher Education, Sari, Iran.
5) Assistant Professor of Seed and Plant Improvement Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
***Corresponding author: p.majidian@areeo.ac.ir**

This article is extracted from M.Sc. thesis.

Received date: 21.06.2020 **Accepted date: 26.09.2020**

Abstract

The present research was conducted to investigate the effect of sulfur on physiological traits of promising line of L17 canola at Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center-Baye Kola Agricultural Research Station on the basis of randomized complete blocks design with three replications in 2018-2019 cropping year. In this research, photosynthetic pigments content, activity pf some antioxidant enzymes, oil content, protein content, oil yield and protein yield were measured. The data results showed that the effect of all sulfur treatments on the investigated traits were significant at one percent probability level. The results of mean comparisons of the investigated traits exhibited that using the amounts of 200 and 300 kilogram per hectare sulfur had the highest effect on the above-mentioned traits. In addition, the correlation test results indicated that oil yield showed the significant and positive correlation coefficients with the traits of protein yield (0.999), peroxidase enzyme activity (0.894), chlorophyll a (0.861), total chlorophyll (0.849), oil content (0.841), chlorophyll b (0.805), superoxide dismutase enzyme activity rate (0.801) and carotenoid (0.759), respectively. Thus, according to the results, it seems that the combination use of sulfur accompanied by inoculation with Thiobacillus bacteria could be considered as a method for improving the qualitative traits of promising line of L17 canola.

Keywords: Physiological traits, Canola and Sulfur.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.48.7.3]