به‌زراعی کشاورزی
دوره ۱۶ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۳
صفحه‌های ۸۴-۶۹

تأثیر عناصر بُر، روی و گوگرد بر عملکرد دانه و ترکیب اسیدهای چرب روغن کلزا (*Brassica napus* L.)

مریم حبیبی[۱]، مجید مجیدیان*[۲]، محمد ربیعی[۳]

۱. دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدهٔ علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدهٔ علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۳. پژوهشگر، بخش اصلاح بذر، مؤسسهٔ تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۰۲/۰۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۲۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثر مصرف عناصر بُر، روی و گوگرد بر عملکرد و ترکیب اسیدهای چرب روغن کلزا رقم هایولا ۴۰۱، آزمایشی به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۰-۹۱ انجام گرفت. بیشترین عملکرد دانه و روغن به‌ترتیب به‌مقدار ۴۱۵۷/۶ و ۱۷۷۰/۲ کیلوگرم در هکتار در تیمار ترکیب بُر + روی + گوگرد، و بیشترین و کمترین مقدار روغن دانه در تیمارهای بُر + روی + گوگرد (۴۲/۵۸ درصد) و شاهد (۳۸/۳۷ درصد) به‌دست آمد. تیمار بُر + روی + گوگرد دارای بیشترین مقدار اسید اولئیک (۲۳۴/۸ میلی‌گرم بر گرم) و اسید لینولنیک (۲۶/۶۸ میلی‌گرم بر گرم) بود. بیشترین مقدار اسید لینولئیک (۵۵/۹۸ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار بُر + روی به‌دست آمد. تیمار شاهد و ترکیب گوگرد + روی، بیشترین مقدار اسید استئاریک و پالمیتیک به‌ترتیب به‌مقدار ۶/۵ و ۱۵/۵۳ میلی‌گرم بر گرم را داشتند. با توجه به نتایج، ترکیب اسیدهای چرب کلزا تحت تأثیر عناصر غذایی قرار می‌گیرد و ازآنجا که کیفیت روغن‌های خوراکی به مقدار اسیدهای چرب غیراشباع، به‌ویژه اسیدهای لینولئیک و لینولنیک بستگی دارد و این اسیدها جزو اسیدهای چرب ضروری برای بدن انسان هستند که باید از طریق رژیم غذایی تأمین شوند، این پژوهش توانسته است ضمن افزایش عملکرد روغن، با افزایش این اسیدهای چرب کیفیت روغن را بهبود بخشد.

کلیدواژه‌ها: اسید اولئیک، اسید لینولئیک، روغن دانه، عملکرد دانه، عناصر کم‌مصرف.

* نویسنده مسئول Email: ma_majidian@guilan.ac.ir

۱. مقدمه

نتایج مطالعات و بررسی‌های انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور حاکی از آن است که ۲۱ درصد از انرژی روزانهٔ مردم کشور از مصرف روغن تأمین می‌شود. از طرف دیگر، تولید دانه‌های روغنی در کشور به حداقل رسیده، به‌طوری‌که سالانه بیش از سه میلیون تن دانهٔ روغنی، روغن خام و کنجاله وارد و بیش از ۲/۵ میلیارد دلار ارز از کشور خارج می‌شود [۷].

کلزا گیاهی از خانوادهٔ چلیپاییان، با سابقهٔ چندهزارساله است که پس از موفقیت‌های چشمگیر در جهان، مدت کوتاهی است که در کشور ما به‌عنوان یکی از امیدهای قطع وابستگی به واردات روغن با توجه بسیار روبه‌رو شده است [۱]. روغن کلزا حاوی یک پروفیل مطلوب از اسیدهای چرب اشباع‌شده (هفت درصد)، سطح بالای اسیدهای چرب غیراشباع تک‌باندی (حدود ۶۱ درصد) و سطح متوسط اسیدهای چرب غیراشباع چندباندی (حدود ۳۲ درصد) است [۴]. اسیدهای چرب لینولئیک و لینولنیک از اسیدهای چرب غیراشباع چندباندی به‌شمار می‌آیند و پیوندهای دوگانهٔ بعدی آنها نسبت به اولین پیوند دوگانهٔ ایجادشده به‌سمت گروه متیل است و انسان به‌عنوان مصرف‌کننده قادر به سنتز آنها نیست و از طرف دیگر، کیفیت روغن به مقدار این اسیدهای چرب بستگی دارد که می‌تواند از طریق رژیم غذایی تأمین شود [۸].

گوگرد چهارمین عنصر ضروری بعد از نیتروژن، فسفر و پتاسیم است و کار اصلی آن در گیاهان، کمک به ساخت اسیدهای آمینهٔ گوگرددار (نظیر متیونین و سیستئین)، تشکیل کلروفیل، فعال کردن آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ پروتئین، شرکت در ساختار ویتامین‌های بیوتین و فعالیت ATP سولفوریلاز است [۱۰ ، ۲۸]. گوگرد همچنین از مواد تشکیل‌دهندهٔ کوآنزیم آ است که زمانی که با اسید استیک ترکیب می‌شود، استیل کوآنزیم آ به‌وجود می‌آید که در متابولیسم چربی‌ها اهمیت دارد [۴۳]. کاربرد توأم گوگرد و نیتروژن سبب افزایش معنادار تعداد شاخهٔ جانبی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد روغن در کلزا در مقایسه با شاهد شد [۱۴]. مصرف گوگرد [در مسیر گلیکولیز، جدا شدن گروه کربوکسیل از پیروات تشکیل استیل کوآ به‌وسیلهٔ یک دستگاه چندآنزیمی کاتالیز می‌شود، که در آن سه کوآنزیم گوگردی دخالت دارند که عبارتند از تیامین پیروفسفات، دستگاه ریداکس سولفیدریل دی‌سولفید اسید لیپوئیک و گروه سولفیدریل کوآنزیم آ، پس گروه استیل، مربوط به کوآنزیم آ به چرخهٔ اسید سه کربوکسیل (چرخهٔ کربس) یا به مسیر ساختن اسید چرب جابه‌جا می‌شود. چسبیدن واحدهای دوکربنی به یکدیگر برای ساختن اسیدهای چرب، زنجیرهٔ بلند به مصرف موقت گروه کربوکسیل نیاز دارد که به‌وسیلهٔ بیوتین انجام می‌گیرد که یک کوآنزیم آن دارای گوگرد است] مقدار اسید اولئیک در دانهٔ کلزا را افزایش می‌دهد که دلیل آن فراهمی گوگرد در زمان پر شدن دانه است که از تبدیل اسید اولئیک به اسید اروسیک و کاهش آن جلوگیری می‌کند [۲۹ ، ۳۲]. با کاربرد ۳۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار عملکرد دانه، مقدار روغن و پروتئین دانه در ارقام و گونه‌های مختلف براسیکا بیشترین مقدار را داشت [۳۱].

بُر در گیاه متحرک نیست، ازاین‌رو علائم کمبود آن ابتدا در برگ‌های جوان‌تر یا نقاط در حال رشد ظاهر می‌شود [۲۷]. این عنصر در سنتز و ساختمان دیوارهٔ سلولی، احتمالاً در پایداری غشای سلولی [۳۰]، جوانه زدن دانهٔ گرده، رشد لولهٔ گرده، تشکیل بذر، انتقال عناصر غذایی از غشاهای سلولی، شکل‌گیری پروتئین و ساخت اسیدهای نوکلئیک تأثیر دارد [۲۰]. بُر در میان عناصر کم‌مصرف، نقش مهمی در عملکرد مطلوب کلزا دارد و این گیاه به کمبود این عنصر بسیار حساس است [۵]، از نظر فیزیولوژی، بُر عنصر مهمی برای

رشد بافت‌ها محسوب می‌شود و در نبود این عنصر، بافت‌ها به‌طور غیرطبیعی تشکیل می‌شوند و رشد خوبی نخواهند داشت که کاهش عملکرد دانه و محتوای روغن دانه را در پی خواهد داشت [۳۲]. گزارش کرده‌اند که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بُر و روی تأثیر معناداری بر عملکرد دانه، مقدار روغن بذور، تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در بوته داشت [۱۱]. همچنین افزایش ۴۶/۱ درصدی عملکرد کلزا در مقایسه با شاهد با کاربرد بُر گزارش شده است [۴۴].

عنصر روی به‌عنوان کوفاکتور آنزیم‌هایی همچون کربنیک آنهیدراز، دهیدروژنازها، آلدولازها، کربوکسی پپتیداز، سوپراکسید دیسموتاز، آرانای پلی‌مراز، ریبولوزبیس‌فسفات کربوکسیلاز و فسفولیپازها عمل می‌کند [۴۲]. این عنصر برای بیوسنتز تعداد بسیار زیادی از پروتئین‌ها نیز نیاز است. پیوند روی – پروتئین در حدود ۱۰ درصد از پروتئوم‌ها (مجموعهٔ پروتئین‌ها) در سلول‌های یوکاریوت را می‌سازند و ۳۶ درصد از پیوند روی – پروتئین در بیان ژن دخالت دارد [۱۷]. عنصر روی برای سنتز تریپتوفان، پیش‌مادهٔ سنتز ملاتونین، اسید نیکوتنیک و اکسین، ضروری است [۳۶]. با افزایش مقادیر مصرف سولفات روی در ارقام کلزا، درصد روغن، عملکرد دانه و عملکرد روغن به‌صورت معناداری افزایش می‌یابد [۱۲]. کاربرد عنصر روی بر ترکیب اسیدهای چرب در پنبه مؤثر بود و سبب کاهش اسیدهای چرب اشباع (کاپریک، میرسیتیک، پالمیتیک و استئاریک) و افزایش اسیدهای چرب غیراشباع (اولئیک و لینولئیک) شد (۴۵). اثر سه عنصر گوگرد، روی و آهن بر رشد و عملکرد گیاه گلرنگ نشان داد که کاربرد توأم گوگرد با عناصر روی و آهن سبب افزایش معنادار رشد، عملکرد و مقدار روغن دانه شد [۳۷].

هدف از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر عناصر گوگرد، روی و بُر بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه، روغن و ترکیب اسیدهای چرب روغن کلزا بوده است.

۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثر عناصر بُر، روی و گوگرد بر عملکرد و ترکیب اسیدهای چرب کلزا، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۰–۹۱ در مزرعهٔ تحقیقاتی مؤسسهٔ تحقیقات برنج کشور واقع در شهر رشت با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقهٔ شمالی و طول ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقهٔ شرقی و با ارتفاع منفی ۷ متر از سطح دریای آزاد با آب‌وهوای مدیترانه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ۱. شاهد (بدون مصرف گوگرد و عناصر کم‌مصرف)، ۲. عنصر روی (کلات روی به‌مقدار ۱/۵ کیلوگرم در هکتار)، ۳. عنصر بُر (براکس به‌مقدار ۱/۵ کیلوگرم در هکتار)، ۴. عنصر گوگرد (گل گوگرد به‌مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، ۵. ترکیب روی + گوگرد (کلات روی به‌مقدار ۱/۵ کیلوگرم در هکتار + گل گوگرد به‌مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، ۶. ترکیب روی + بُر (کلات روی به‌مقدار ۱/۵ کیلوگرم در هکتار + براکس به‌مقدار ۱/۵ کیلوگرم در هکتار)، ۷. ترکیب بُر + گوگرد (براکس به‌مقدار ۱/۵ کیلوگرم در هکتار + گل گوگرد به‌مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، ۸ . ترکیب گوگرد + بُر + روی (گل گوگرد به‌مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار+ براکس به مقدار ۱/۵ کیلوگرم در هکتار + کلات روی به‌مقدار ۱/۵ کیلوگرم در هکتار) بود. عملیات آماده‌سازی بستر بذر شامل مراحل شخم، دیسک و تسطیح در اوایل آبان ۱۳۹۰ انجام گرفت و قبل از کاشت، نمونهٔ مرکبی از خاک مزرعه از عمق ۳۰ سانتی‌متری تهیه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن با هدف تعیین بهترین مقدار کودی (باتوجه به آزمون خاک و نیاز گیاه کلزا) تعیین شد (جدول ۱).

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک محل آزمایش

اسیدیتهٔ خاک	هدایت الکتریکی (dS/m)	کربن آلی (٪)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	بُر قابل جذب (mg/kg)	سولفات محلول (meq/li)	روی قابل جذب (mg/kg)	نیتروژن کل (٪)	بافت خاک
۶/۳۳	۰/۰۲۵۵	۱/۴	۱۴/۹۷	۲۰۲/۱۵	۰/۰۲	۰/۶۴	۰/۹۴	۰/۱۲	سیلتی‌رسی
۶/۵–۷	< ۱/۵	> ۲	=۱۵	> ۲۵۰	۰/۵	>۱	۲	> ۰/۲	بهینه

هر کرت به‌مساحت ۱۳/۷۵ مترمربع و هشت خط کاشت به‌فاصلهٔ چهار سانتی‌متر روی ردیف و ۲۵ سانتی‌متر بین ردیف ایجاد شدند. بذر در تاریخ ۲۴ آبان ۱۳۹۰ کاشته شد و رقم استفاده‌شده هایولا ۴۰۱ بود. کشت به‌صورت دستی و به‌مقدار ۱۰ کیلوگرم در هکتار صورت گرفت. کلیهٔ عناصر ضروری برای گیاه (نیتروژن ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار «از منبع اوره»، فسفر ۷۵ کیلوگرم در هکتار «از منبع سوپرفسفات تریپل» و پتاسیم ۵۰ کیلوگرم در هکتار «از منبع کلرید پتاسیم» به جز سه عنصر ذکرشده به همهٔ کرت‌ها به‌صورت یکسان اضافه شد. تیمارهای گوگرد، بُر و روی به‌صورت خاک مصرف به کرت‌های مربوط اضافه شد. برای تنظیم تراکم بوته در سطح مزرعه، گیاهچه‌های کلزا در مرحلهٔ سه تا چهاربرگی تنک شده و علف‌های هرز سبزشده در مزرعه در کل زمان آزمایش با دست حذف شد. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک گیاه، ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و صفات شامل تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی کامل گیاه به‌منظور تعیین عملکرد دانه پس از حذف اثر حاشیه، بوته‌ها از وسط کرت که فضای عملکرد (دو متر مربع) در نظر گرفته شده بود برداشت شدند و مقدار روغن دانه به‌روش سوکسله (Soxtec system HT 1043)، و ترکیب اسیدهای چرب و مقدار آنها با استفاده از کروماتوگرافی گازی (مدل Unicam 4600) تعیین شد [۴۴]. تجزیهٔ واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.9 و مقایسهٔ میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

۳. نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که تیمارهای کودی اعمال‌شده سبب معنادار شدن تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، مقدار روغن، اسید استئاریک، اسید پالمیتیک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک، اسید لینولنیک و اسید اروسیک در سطح احتمال ۱ درصد شد.

مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین تعداد خورجین در بوته با میانگین ۱۹۵/۹ عدد متعلق به تیمار بُر + روی + گوگرد بود که در مقایسه با شاهد ۲۰۱/۲ درصد افزایش داشت (جدول ۳). یکی از اجزای مهم عملکرد در کلزا، تعداد خورجین‌های بارور در بوته است که با افزایش آن عملکرد دانه نیز بیشتر خواهد شد. تعداد خورجین با نوع رقم، تراکم کاشت و عوامل محیطی تغییر می‌کند [۲]. کاربرد بُر موجب کاهش گلچه‌های عقیم و بهبود توسعهٔ خورجین‌ها در گیاهان تیرهٔ براسیکا می‌شود [۳۵]. تغذیهٔ گیاه کلزا با عنصر روی سبب افزایش ذخیرهٔ هیدرات کربن دانهٔ گرده و افزایش عمر دانهٔ گرده و تعداد دانهٔ گرده و در نتیجه، تشکیل خورجین بیشتر می‌شود [۴۰]. از طرف دیگر، به‌کارگیری مقدار متعادل گوگرد و نیتروژن سبب تولید تعداد مطلوبی خورجین در بوته می‌شود که به‌دلیل فراهمی بیشتر شیره‌پرورده است [۱۳].

جدول ۲. تجزیهٔ واریانس صفت‌های گیاه کلزا رقم هایولا ۴۰۱ در تیمارهای کودی متفاوت

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات									
		تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	مقدار روغن دانه	اسید استئاریک	اسید پالمیتیک	اسید اولئیک	اسید لینولئیک	اسید لینولنیک	اسید اروسیک
بلوک	۲	۱۹۹۰/۹**	۱/۲ns	۰/۰۰۳ns	۳۸۰۰/۶ns	۰/۵۸ns	۰/۸۵ns	۰/۲۲ns	۵۱/۶۹ns	۱/۳۴ns	۰/۰۷ns	۰/۰۰۷ns
تیمار	۷	۳۹۶۹/۳**	۲۸/۹۶**	۰/۰۷**	۶۴۹۲۷۲/۲**	۵/۰۱**	۳/۳**	۳/۴۶**	۱۲۲۲/۱۴**	۴۱/۱۶**	۱۶/۳۴**	۰/۰۹۶**
اشتباه آزمایشی	۱۴	۱۰۱/۹	۱/۳	۰/۰۰۱	۵۲۱۱/۷	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۱۲	۱۹/۳۷	۱/۱۴	۱/۵۷	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات	(٪)	۶/۹	۳/۷	۸/۰۲	۱۲/۰۵	۷/۹۷	۱۰/۴	۲/۵۲	۱۲/۲	۲/۲	۵/۳	۸/۹

* و ** به ترتیب غیرمعنادار و معنادار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۳. مقایسهٔ میانگین عناصر بُر، روی و گوگرد و برهمکنش آنها از نظر صفت‌های گیاهی کلزا (هیبرید هایولا ۴۰۱)

تیمار	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	مقدار روغن (٪)	اسید امتئاریک (میلی‌گرم بر گرم)	اسید پالمیتیک (میلی‌گرم بر گرم)	اسید اولئیک (میلی‌گرم بر گرم)	اسید لینولئیک (میلی‌گرم بر گرم)	اسید لینولنیک (میلی‌گرم بر گرم)	اسید اروسیک (میلی‌گرم بر گرم)
شاهد	۸۳/۴۲^{e}	۲۳/۹۳^{c}	۳/۲۲^{f}	۲۷۹۵/۳^{f}	۳۸/۳۷^{e}	۶/۵^{a}	۱۲/۶۹^{c}	۱۷۲/۱۱۵^{f}	۴۳/۵۱^{e}	۱۹/۷۵^{d}	۱/۰۱^{a}
بُر	۱۲۱/۴۲^{d}	۳۰/۱^{b}	۳/۳۸^{e}	۳۲۲۹/۸^{ab}	۴۰/۶^{dc}	۳/۴۸^{c}	۱۲/۷۷^{c}	۱۹۵/۷^{de}	۴۸/۳۵^{bcd}	۲۳/۳۲^{bcd}	۰/۷۶^{bc}
روی	۱۲۹/۵^{d}	۲۹/۷۸^{b}	۳/۴۹^{d}	۳۰۹۸/۵^{e}	۴۰/۴^{d}	۶/۴۹^{a}	۱۳/۱^{c}	۱۸۷/۹۵^{e}	۴۵/۷۵^{de}	۲۱/۶^{dc}	۰/۷۷^{bc}
گوگرد	۱۳۵/۱۷^{cd}	۳۰/۹۶^{b}	۳/۵۳^{cd}	۳۴۰۳/۰۳^{cd}	۴۱/۱۳^{bcd}	۴/۷^{bc}	۱۲/۸۹^{c}	۱۹۵/۲۵^{de}	۴۷/۹^{cd}	۲۳/۰۵^{bcd}	۰/۸۲^{ab}
بُر + گوگرد	۱۴۴/۸۳^{cd}	۳۲/۷^{ab}	۳/۶۱^{abc}	۳۹۵۱/۶^{ab}	۴۱/۹۲^{ab}	۴/۷۱^{bc}	۱۳/۶۵^{bc}	۲۱۲/۰۵^{bc}	۵۱/۱۵^{b}	۲۴/۲۸^{abc}	۰/۵۸^{de}
بُر + روی	۱۶۰/۰۸^{bc}	۳۲/۲^{ab}	۳/۵۸^{bcd}	۳۶۵۶/۴^{c}	۴۱/۶۹^{abc}	۶^{ab}	۱۴/۵۵^{ab}	۲۲۴/۵۵^{ab}	۵۵/۹۸^{a}	۲۶/۲۵^{ab}	۰/۴۱^{e}
گوگرد + روی	۱۸۶/۹^{ab}	۳۱/۸^{ab}	۳/۶۴^{ab}	۳۸۴۰/۹^{bc}	۴۱/۷۱^{abc}	۴/۸۷^{bc}	۱۵/۵۳^{a}	۲۰۲/۶۵^{cd}	۴۸/۶۷^{bcd}	۲۳/۸۵^{abc}	۰/۶۹^{bcd}
بُر + گوگرد + روی	۱۹۵/۹۲^{a}	۳۴/۳۱^{a}	۳/۷^{a}	۴۱۵۷/۶^{a}	۴۲/۵۸^{a}	۴/۸^{bc}	۱۴/۷۷^{a}	۲۳۴/۸۱^{a}	۴۹/۷^{bc}	۲۶/۹۸^{a}	۰/۶۱^{cd}

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهندهٔ عدم تفاوت معنادار در سطح ۱ درصد براساس آزمون توکی در سطوح تیماری است.

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین صفت‌های تحت مطالعهٔ کلزا (هیبرید هایولا ۴۰۱)

صفات	اسید اروسیک	اسید لینولئیک	اسید لینولنیک	اسید اولئیک	اسید پالمیتیک	اسید استئاریک	مقدار روغن دانه	عملکرد دانه	وزن هزاردانه	تعداد دانه در خورجین
تعداد خورجین در بوته	-۰/۶۳**	۰/۶۶**	۰/۴۰*	۰/۶۷**	۰/۷۲**	-۰/۲۴ns	۰/۸۱**	۰/۸۳**	۰/۸**	۰/۸**
تعداد دانه در خورجین	-۰/۷۳**	۰/۷۲**	۰/۶۲**	۰/۸۰**	۰/۵۱**	-۰/۲۹ns	۰/۹۴**	۰/۸۵**	۰/۹**	
وزن هزاردانه	-۰/۶۸**	۰/۷۴**	۰/۵۹**	۰/۸۰**	۰/۶۴**	-۰/۱۶ns	۰/۹۲**	۰/۹**		
عملکرد دانه	-۰/۶۷**	۰/۸۱**	۰/۶۴**	۰/۸۸**	۰/۵۸**	-۰/۲۶ns	۰/۸۹**			
مقدار روغن دانه	-۰/۷۴**	۰/۸۱**	۰/۶۷**	۰/۸۴**	۰/۵۶**	-۰/۲۴ns				
اسید استئاریک	-۰/۰۹ns	-۰/۱۲ns	۰/۰۳ns	-۰/۰۹ns	۰/۰۱ns					
اسید پالمیتیک	-۰/۴۷*	۰/۵۷**	۰/۳۶ns	۰/۵۱*						
اسید اولئیک	-۰/۷۷**	۰/۹۳**	۰/۸۰**							
اسید لینولئیک	-۰/۸۳**	۰/۸۰**								
اسید لینولنیک	-۰/۶۸**									

ns و ** - به‌ترتیب غیرمعنادار و معنادار در سطح احتمال ۱ درصد.

در یک ارزیابی، تأثیرات اصلی و متقابل دو عنصر بُر و روی سبب افزایش تعداد خورجین در بوتهٔ کلزا شد که دلیل آن، تأثیر عنصر بُر در تولید بیشتر کلروفیل و ایندول استیک اسید و در نتیجه تأخیر در پیری گیاه و طولانی شدن دورهٔ فتوسنتز است. در نتیجه رقابت بین خورجین‌های در حال شکل‌گیری برای دسترسی به مواد غذایی کاهش می‌یابد، زیرا تنش آب یا کمبود عناصر غذایی علاوه بر اینکه سبب اختلال در گلدهی می‌شود، احتمال تبدیل گل به خورجین را نیز کاهش می‌دهد. از دیگرسو، یکی دیگر از دلایلی که موجب از دست رفتن خورجین‌های بالقوه در گیاه می‌شود، گرده‌افشانی ضعیف است. براساس نتایج تحقیقات، شکل‌گیری اندام‌های جنسی نر و ماده و فرایند گرده‌افشانی بر اثر کمبود روی، مختل می‌شوند که علت آن، کاهش تولید ایندول استیک اسید است [۶]. بررسی همبستگی تعداد خورجین در بوته با دیگر پارامترهای اندازه‌گیری نشان داد که تعداد خورجین در بوته با تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، مقدار روغن دانه، اسید پالمیتیک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک و اسید لینولنیک همبستگی مثبت و معنادار و با اسید اروسیک همبستگی منفی و معناداری نشان داد (جدول ۴). در کلزا تعداد خورجین در بوته از صفات بسیار مهمی است که عملکرد دانه به‌شدت به آن وابسته است، هرچه تعداد خورجین در بوته بیشتر باشد، عملکرد دانه افزایش می‌یابد که همبستگی زیاد تعداد خورجین در بوته با عملکرد دانه این موضوع را اثبات می‌کند.

۱.۳. تعداد دانه در خورجین

آزمون مقایسهٔ میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که بیشترین میانگین تعداد دانه در خورجین (۳۴/۳۱ عدد) متعلق به تیمار بُر + روی + گوگرد، و کمترین میانگین تعداد دانه در خورجین (۲۳/۹۳) متعلق به تیمار شاهد بود (جدول ۳). اثر همهٔ تیمارهای کودی اعمال‌شده سبب افزایش معنادار تعداد دانه در خورجین شده‌اند. تأثیرات مثبت گوگرد بر فتوسنتز و متابولیسم گیاه و تقویت گیاه در مرحلهٔ زایشی تشکیل دانه را تحریک می‌کند و در نتیجه تعداد دانه در خورجین افزایش می‌یابد. مقدار بُر برای تولید دانه و بذر، به‌طور معمول بیشتر از زمانی است که تنها برای رشد رویشی لازم است. بُر دارای تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم بر باروری است. تأثیرات غیرمستقیم آن، احتمالاً به تغییرات مربوط به مقدار و ترکیب قند شهد ارتباط دارد، به‌گونه‌ای که سبب جلب بیشتر حشرات در زمان گرده‌افشانی می‌شود؛ تأثیرات مستقیم آن در پیوند نزدیک میان مقدار مصرف بُر و ظرفیت تولید دانهٔ گرده به‌وسیلهٔ پرچم‌ها و نیز در تولید دانهٔ گردهٔ قابل رشد بازتاب دارد [۳۲]. عنصر روی در سنتز پروتئین لولهٔ گرده به‌هنگام گرده‌افشانی شرکت می‌کند که این موضوع به افزایش عمل گرده‌افشانی و تشکیل بیشتر دانه می‌انجامد [۳۲]. در بررسی دیگر محققان مشاهده شده که مصرف گوگرد و روی سبب افزایش معنادار تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین می‌شود [۱۶ ، ۳۹]. در مطالعه‌ای دیگر، مصرف سه عنصر بُر، روی و مولیبدن به‌صورت انفرادی، دوگانه و سه‌گانه سبب افزایش معنادار عملکرد و اجزای عملکرد در کلزا شد. بیشترین تعداد دانه در خورجین در اثر سه‌گانهٔ عناصر بُر + روی + مولیبدن به‌دست آمد [۴۴]. بررسی همبستگی تعداد دانه در خورجین با میزان خورجین در بوته، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، مقدار روغن دانه، اسید پالمیتیک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک و اسید لینولنیک همبستگی مثبت و معنادار، و با اسید اروسیک همبستگی منفی و معناداری نشان داد (جدول ۴). تعداد دانه در خورجین یکی از اجزای عملکرد دانهٔ کلزا است که با افزایش آن عملکرد گیاه افزایش می‌یابد که با نتایج پژوهش‌های محققان همخوانی دارد [۹ ، ۱۱].

۲.۳. وزن هزاردانه

مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین وزن هزاردانه به تیمارهای بُر+ روی+ گوگرد و شاهد به‌ترتیب با میانگین ۳/۷ و ۳/۲۲ گرم تعلق داشت (جدول ۳). در یک مطالعه، افزایش وزن هزاردانه در اثر مصرف روی و آهن به نقش عنصر روی برای افزایش تولید تنظیم-کننده‌های رشد مثل ایندول استیک اسید و کربوهیدرات‌ها و متابولیسم نیتروژن که سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می‌شود و همچنین فراهم بودن عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در مراحل بعدی رشد که سبب افزایش تجمع آسیمیلات در دانه و سنگین‌تر شدن دانه می‌شود، نسبت داده شده است [۲۶]. در آزمایش دیگری، مصرف عنصر بُر سبب افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزاردانه در سویا شد، که علت آن نقش بُر در تقسیم و رشد سلولی و انتقال مواد فتوسنتزی و تنظیم‌کننده‌های رشد از منبع به مخزن است [۲۴]. همچنین گزارش شده که کمبود گوگرد عملکرد دانهٔ سویا را از طریق تأثیر بر رشد گیاه در دورهٔ پر شدن دانه کاهش می‌دهد [۱۹].

۳.۳. عملکرد دانه

در بررسی مقایسهٔ میانگین مشاهده شد که تیمار بُر + روی + گوگرد و شاهد با میانگین ۴۱۵۷/۶ و ۲۷۹۵/۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین و کمترین عملکرد دانه را دارا بودند (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار بُر + روی + گوگرد با تیمار گوگرد + بُر با میانگین ۳۹۵۱/۶ کیلوگرم تفاوت معناداری نداشت، اما با تیمارهای گوگرد + روی با میانگین ۳۸۴۰/۹ کیلوگرم، بُر + روی با میانگین ۳۶۵۶/۴ کیلوگرم، گوگرد با میانگین ۳۴۰۳/۰۳ کیلوگرم، بُر با میانگین ۳۲۲۹/۸ کیلوگرم، روی با میانگین ۳۰۹۸/۵ کیلوگرم و شاهد با میانگین ۲۷۹۹/۳ کیلوگرم در هکتار برتری معنادار داشت. همهٔ تیمارهای کودی از نظر صفت عملکرد دانه، برتری معناداری بر شاهد داشتند. نتایج نشان داد که مصرف تنهای عناصر بُر، روی و گوگرد بر افزایش عملکرد دانه تأثیر داشته است، ولی مصرف ترکیبی دو عنصر، افزایش بیشتری را در عملکرد دانه در مقایسه با مصرف تنهای عناصر سبب شد و بیشترین عملکرد دانه در ترکیب دو عنصر در تیمار بُر + گوگرد مشاهده شد. همچنین بیشترین عملکرد دانه ۴۱۵۷/۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیماری بود که هر سه کود را دریافت کرده بودند که نشان‌دهندهٔ تأثیرات مفید توأم این سه عنصر بر عملکرد دانهٔ کلزا است. در آزمایشی، تأثیرات اصلی کاربرد سولفات روی و اسید بُریک بر عملکرد دانهٔ کلزا معنادار شد، ولی تأثیرات متقابل کاربرد این دو عنصر بر عملکرد معنادار نشد، با این‌حال بیشترین مقدار عملکرد دانه در اثر متقابل به‌دست آمد. یک توضیح محتمل در این زمینه، بهبود اجزای عملکرد در اثر کاربرد روی است. روی اثر مطلوبی بر فعالیت فتوسنتزی برگ‌ها دارد و سبب انتقال بهتر مواد فتوسنتزی می‌شود. از طرف دیگر، شکل‌گیری اندام‌های جنسی نر و ماده و فرایند گرده‌افشانی بر اثر کمبود روی، مختل شد و به کاهش عملکرد در اثر کاهش تولید ایندول استیک اسید انجامید [۴۴]. مصرف عنصر بر موجب افزایش محتوای کلروفیل و شدت فتوسنتز در برگ‌ها، افزایش تجمع مادهٔ خشک در گیاه و بهبود انتقال مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی به زایشی می‌شود (۶). متابولیسم نیتروژن و کربوهیدرات‌ها در کمبود گوگرد دچار اختلال می‌شود [۲۵]. نتایج آزمایشی نشان داد که با کاربرد سطوح مختلف گوگرد، عملکرد دانه در همهٔ ارقام و گونه‌های براسیکا در سطح ۳۰ کیلوگرم گوگرد خالص در هکتار حداکثر بود و مقدار روغن و پروتئین دانه در ارقام و گونه‌های مختلف براسیکا در اثر کاربرد گوگرد افزایش یافت و همهٔ ارقام و گونه‌های براسیکا برای دستیابی به عملکرد مطلوب دانه واکنش مشابهی به گوگرد نشان دادند [۳۱].

بررسی همبستگی عملکرد دانه و وزن هزاردانه با تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین، مقدار روغن دانه، اسید پالمیتیک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک و اسید لینولنیک همبستگی مثبت و معنادار، و با اسید اروسیک همبستگی منفی و معناداری نشان داد (جدول ۴). محققان [۱۱،۹] بیان کردند که وزن هزاردانه، تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته و ارتفاع بوته به‌ترتیب بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه داشتند و از مهم‌ترین صفات برای بهبود عملکرد دانه در کلزا هستند. همبستگی عملکرد دانه با وزن هزاردانه نشان‌دهندهٔ نقش وزن هزاردانه بر عملکرد دانه است که از مهم‌ترین اجزای عملکرد به‌شمار می‌رود. ازآنجا که عملکرد دانه با تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین همبستگی مثبت معنا-داری دارد، هرچه تعداد دانه در خورجین بیشتر باشد، مخزن بزرگ‌تری برای مواد متابولیکی تولید می‌شود و هر عاملی که سبب افزایش این پارامتر شود، به افزایش عملکرد دانه منجر خواهد شد. نتایج آزمایش حاضر و همبستگی عملکرد دانه با دیگر پارامترها با گزارش‌های [۲]، [۶] و [۱۱] همخوانی دارد.

۴.۳. مقدار روغن دانه

درصد روغن از مهم‌ترین خواص کمّی دانه‌های کلزا است، زیرا دانه‌های این گیاه حاوی درصد زیادی روغن فاقد کلسترول هستند و عناصر معدنی در مسیرهای متابولیسمی گیاه نقش‌های فیزیولوژیک مهمی دارند. کمبود هر یک از عناصر معدنی می‌تواند مقدار روغن دانه را همانند گیاه تحت تأثیر قرار دهد. ازاین‌رو توجه به تغذیهٔ گیاه و تأمین نیازهای آن به‌منظور افزایش درصد روغن دانه‌ها الزامی است. نتایج مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار بُر + روی + گوگرد با میانگین ۴۲/۵۸ درصد بیشترین، و تیمار شاهد با میانگین ۳۸/۳۷ درصد کمترین مقدار روغن را داشتند (جدول ۳). این آزمایش با نتایج به‌دست‌آمده توسط [۶] مبنی بر تأثیر دو عنصر بُر و روی بر افزایش روغن در کلزا و [۹] مبنی بر تأثیر گوگرد بر افزایش روغن در کلزا مطابقت دارد. گزارش‌ها علت افزایش روغن در بادام زمینی در پی مصرف عنصر بُر را به نقش این عنصر در واکنش-های متابولیکی اساسی در گیاه و همچنین در تعدادی از مسیرهای متابولیکی مثل انتقال قند، تعرق، متابولیسم کربوهیدرات‌ها، ایندول استیک اسید، آران‌ای و فنول نسبت داده‌اند [۳۴]. گوگرد به شکل گروه تیول در ساختار کوآنزیم آ شرکت می‌کند که این کوآنزیم در تشکیل استیل کوآنزیم آ به‌عنوان شروع‌کنندهٔ مسیر بیوسنتزی اسیدهای چرب اهمیت ویژه‌ای دارد [۳۸]. کمبود گوگرد ممکن است سبب کاهش فعالیت آنزیم استیل کوآنزیم آ کربوکسیلاز و در نتیجه کاهش بیوسنتز روغن شود [۱۸]. گوگرد در ساختار کوآنزیم آ، ویتامین‌های ب ۱ (تیامین) و ب ۷ (بیوتین) شرکت دارد [۳]. فرم کوآنزیمی این ویتامین‌ها ابتدا سبب دکربوکسیلاسیون، و سپس کربوکسیلاسیون در سلول‌ها می‌شود. با توجه به اینکه محصول فتوسنتز قند است و باید بتواند در دانه به روغن تبدیل شود، باید متابولیت سه‌کربنهٔ پیروات (محصول نهایی گلیکولیز) به استیل کوآ (متابولیت دوکربنه) مادهٔ اولیهٔ سازندهٔ اسید چرب تبدیل شود. از طرف دیگر، استیل کوآ با فعالیت آنزیم استیل کوآ کربوکسیلاز به مانونیل کوآ (متابولیت سه‌کربنه) تبدیل می‌شود که بیوتین در آن نقش دارد. ازاین‌رو اگر گوگرد کم باشد، تولید مادهٔ اولیهٔ بیوسنتز اسید چرب و مسیر بیوسنتزی آن با کاهش عملکرد مواجه می‌شود که ممکن است سبب افت درصد روغن شود [۳۲]. بیشترین همبستگی روغن دانه با تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه و عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۴). به‌طورکلی، نتایج آزمایش حاضر نشان‌دهندهٔ آن است که استفاده از سه عنصر گوگرد، روی و بُر، بر مقدار

روغن دانه اثر مثبت داشته است و این موضوع می‌تواند توجیهی برای مصرف خاکی این سه عنصر در افزایش عملکرد دانه و به‌تبع آن افزایش مقدار روغن دانه باشد.

۵.۳. ترکیب اسیدهای چرب

مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار شاهد با میانگین ۶/۵ میلی‌گرم بر گرم بیشترین، و تیمار بُر با میانگین ۳/۴۸ میلی‌گرم بر گرم کمترین مقدار اسید استئاریک و تیمار روی + گوگرد با میانگین ۱۵/۵۳ میلی‌گرم بر گرم بیشترین، و تیمار شاهد با میانگین ۱۲/۶۹ میلی‌گرم بر گرم کمترین مقدار اسید پالمیتیک در روغن را داشتند (جدول ۳). روغن کلزا شامل انواع مختلف اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع است. اسید پالمیتیک و اسید استئاریک از اسیدهای مهم اشباع و اسید اولئیک، اسید لینولئیک و اسید لینولنیک از اسیدهای مهم غیراشباع هستند. تأثیر تیمارهای کودی بر مقدار اسید استئاریک روندی کاهشی داشت. اثر دو عنصر روی و منگنز سبب افزایش اسید اولئیک و لینولئیک و کاهش اسید استئاریک در گلرنگ شد [۳۳]. در یک بررسی در انستیتو تحقیقاتی گیاهان زراعی مناطق نیمه‌خشک حاره‌ای در هند اثر دو عنصر نیتروژن و گوگرد بر ترکیب اسیدهای چرب خردل هندی نشان داد که کاربرد توأم ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن و ۲۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار سبب افزایش معنادار اسید پالمیتیک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک و اسید لینولنیک، و کاهش اسید استئاریک و اسید اروسیک و گلوکوزینولات دانه شد [۴۱]. در این تحقیق، تأثیر مصرف عناصر گوگرد، روی و بُر بر مقدار اسید پالمیتیک افزایشی بوده و اثر تیمارهای روی‌دار بر مقدار افزایش، مؤثرتر از دو عنصر دیگر بود. در تحقیقی دربارهٔ اثر روش‌های مصرف گوگرد بر ترکیب اسیدهای چرب در شلغم روغنی گزارش شد که مقدار اسید پالمیتیک با مصرف گوگرد روندی افزایشی داشت و بیشترین افزایش در تیمار مصرف ۲۰ کیلوگرم گوگرد در زمان کاشت و ۱۰ کیلوگرم قبل از گلدهی و ۱۰ کیلوگرم بعد از گلدهی به‌دست آمد [۱۵]. در آزمایش دیگری دربارهٔ گیاه کلزا، کاربرد دو عنصر روی و آهن به‌صورت برگ‌پاش سبب افزایش معنادار اسید پالمیتیک نسبت به شاهد شد [۲۱].

مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار اسید اروسیک در تیمار شاهد با میانگین ۱/۰۱ میلی‌گرم بر گرم و تیمار بُر+ روی با میانگین ۰/۴۱ میلی‌گرم بر گرم به‌دست آمد (جدول ۳). در این تحقیق مصرف هر یک از عناصر گوگرد، روی و بُر سبب کاهش اسید اروسیک شد، اما مصرف ترکیبی عناصر سبب کاهش بیشتر اسید اروسیک در مقایسه با مصرف آنها به‌صورت جداگانه شد، ازاین‌رو نتیجه گرفته می‌شود که عناصر غذایی با اثر بر ترکیب اسیدهای چرب و کاهش اسید اروسیک سبب بهبود روغن کلزا می‌شوند. تحت تأثیر سه عنصر روی، بُر و مولیبدن بر عملکرد کمی و کیفی کلزا مشاهده شد که در بین تیمارهای تأثیرات اصلی و اثر متقابل سه عنصر بر مقدار اسید اروسیک در روغن، تنها تیمار بُر سبب کاهش معنادار اسید اروسیک در روغن شد [۴۴]. کاهش اسید اروسیک در هیبرید PGSH-51 در اثر مصرف گوگرد به‌دلیل تأثیر گوگرد بر طول زنجیرهٔ آنزیمی در سیستم آنزیمی است و به این وسیله موجب کاهش اسید اروسیک می‌شود.

مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد (جدول ۳) که تیمار بُر + روی + گوگرد با میانگین ۲۳۴/۸۱ میلی‌گرم بر گرم اسید اولئیک در روغن اختلاف معناداری را در صفت مقدار اسید اولئیک در مقایسه با دیگر تیمارها نشان داد. کمترین مقدار اسید اولئیک در روغن در تیمار شاهد با میانگین ۱۱۲/۱۱۵ میلی‌گرم بر گرم به‌دست آمد. مصرف عنصر روی اثر معناداری بر اسید اولئیک و اسیدهای چرب غیراشباع نهایی (اولئیک و لینولئیک) و نسبت بین اسیدهای

چرب غیراشباع به اسیدهای چرب اشباع در پنبه داشت که دلیل آن اثر مطلوب عنصر روی بر واکنش‌های متابولیکی بنیادی در بافت‌های گیاهی است. همچنین تعداد بسیار زیادی از آنزیم‌های گیاهی، پیوند بین آنزیم و سوبسترات یا هر دوِ آنها به‌وسیلهٔ روی فعال می‌شوند [۴۵]. در ارزیابی اثر گوگرد بر ترکیب اسیدهای چرب و عملکرد کلزا مشاهده شد که اثر مقادیر مختلف گوگرد و برهمکنش رقم × گوگرد بر عملکرد دانه و ترکیب اسیدهای چرب معنادار شد. تیمار ۴۰ کیلوگرم گوگرد خالص در هکتار و رقم مودنا از لحاظ مقدار اسید اولئیک بر تیمارهای دیگر برتری داشت [۹]. محلول‌پاشی ۱۰۰ پی‌پی‌ام بُر + ۲ درصد کلسیم در سه رقم زیتون سبب افزایش اسید اولئیک از ۵۸/۵ درصد، ۶۲/۷ درصد و ۶۴/۴ درصد به‌ترتیب به ۶۷/۷، ۷۱ و ۷۰/۶ درصد در سه تیمار تحت بررسی شد [۲۳].

مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار بُر + روی با میانگین ۵۵/۹۸ میلی‌گرم بر گرم بیشترین اسید لینولئیک، و تیمار شاهد با میانگین ۴۳/۵۱ میلی‌گرم بر گرم کمترین اسید لینولئیک در روغن را داشتند (جدول ۳). در این آزمایش، مصرف عناصر گوگرد، روی و بُر، هم به‌صورت جداگانه و هم به‌صورت ترکیب توأم، سبب افزایش اسید لینولئیک در مقایسه با شاهد شد. در تحقیقی دربارهٔ تأثیر دو منبع گوگرد (سولفات پتاسیم و ژیپس) و زمان مصرف آنها بر دو رقم شلغم روغنی، مشخص شد که اثر هر دو منبع گوگرد سبب افزایش اسیدهای چرب غیراشباع اولئیک، لینولئیک و لینولنیک در هر دو رقم شد [۲۲]. زمانی که مصرف سولفات روی در پنبه از صفر به ۶۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت، مقدار اسید لینولئیک از ۵۳/۴ به ۵۴/۵۵ درصد بهبود یافت [۴۵]. در آزمایشی دیگر، دربارهٔ اثر شش تیمار کودی شامل T_1 RDF (۴۰-۴۰-۱۲۰)، T_2 ۱۰ تن در هکتار کود دامی + T_1، T_3 ۴۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد + T_2، T_4 ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی + T_3، T_5 ۱ کیلوگرم در هکتار اسید بُریک + T_4 و T_6 RDF + بقایای گیاهان زراعی بر ترکیب اسیدهای چرب خردل هندی، بیشترین مقدار اسید لینولئیک در تیمار T_5 (شامل یک کیلوگرم اسید بوریک + T_4) و کمترین مقدار آن در T_1 به‌دست آمد [۴۱]. مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد (جدول ۳) که تیمار بُر + روی + گوگرد با میانگین ۲۶/۹۷ میلی‌گرم بر گرم اسید لینولنیک در روغن اختلاف معناداری در صفت مقدار اسید لینولنیک در مقایسه با شاهد نشان داد. کمترین مقدار اسید لینولنیک در روغن در تیمار شاهد با میانگین ۱۹/۷۵ میلی‌گرم بر گرم به‌دست آمد. در آزمایشی به‌منظور بررسی روش‌های مختلف مصرف دو عنصر روی و آهن بر ترکیب اسیدهای چرب آفتابگردان، مشخص شد که مصرف خاک‌پاش دو عنصر روی و آهن سبب افزایش معنادار اسید لینولنیک در مقایسه با شاهد شد [۲۶]. در پژوهشی دیگر، برگ‌پاشی ۱۰۰ پی‌پی‌ام بُر + دو درصد کلسیم در سه رقم زیتون، سبب افزایش اسید لینولنیک در دو رقم شد، اما در یک رقم مقدار اسید لینولنیک تغییری نکرد [۲۳]. در تحقیقی نشان داده شد که با افزایش سطوح گوگرد، مقدار اسید لینولنیک در کلزا افزایش یافت و بیشترین مقدار اسید لینولنیک در اثر متقابل رقم × گوگرد در تیمار لیکورد + ۴۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به‌دست آمد [۹] در این آزمایش، اسید لینولنیک، اسید لینولئیک و اسید اولئیک با عملکرد دانه و مقدار روغن دانه همبستگی مثبت و معنادار؛ اسید استئاریک با همهٔ صفات همبستگی منفی و غیرمعنادار و اسید اروسیک با یکایک صفات همبستگی منفی و معناداری نشان دادند (جدول ۴). نتایج همبستگی حاضر بیانگر آن است که استفاده از سه عنصر گوگرد، روی و بُر، اثر مثبت بر مقدار اسیدهای چرب غیراشباع داشته است و

این موضوع می‌تواند توجیهی برای مصرف این سه عنصر در افزایش روغن دانه و به‌تبع آن افزایش مقدار اسیدهای چرب غیراشباع مفید و کاهش اسید اروسیک باشد.

نتایج این بررسی نشان داد که ترکیب اسیدهای چرب کلزا تحت تأثیر عناصر غذایی قرار می‌گیرد و با توجه به اینکه کیفیت روغن‌های خوراکی به مقدار اسیدهای چرب غیراشباع، به‌ویژه اسیدهای لینولئیک و لینولنیک بستگی دارد و این اسیدها جزو اسیدهای چرب ضروری برای بدن انسان هستند که باید از طریق رژیم غذایی تأمین شوند، این پژوهش توانسته است با افزایش اسیدهای چرب غیراشباع، کاهش اسید اروسیک و افزایش عملکرد روغن، کمیت و کیفیت روغن کلزا را بهبود بخشد.

منابع

۱. اسدی م ا و فرجی ا (۱۳۸۸) مبانی کاربردی زراعت دانه‌های روغنی سویا، پنبه، کلزا و آفتابگردان. نشر علم کشاورزی ایران، تهران. ۸۴ ص.

۲. خیاوی م، خورشیدی‌بنام م ب اسماعیلی‌آفتابدری م آذرآبادی س فرامرزی ع و عمارت‌پرداز ج (۱۳۸۹) تأثیر محلول‌پاشی سولفات روی و بور بر عملکرد و برخی صفات کیفی دانه دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.). دانش آب و خاک. ۱(۳): ۳۲-۴۵.

۳. سالاردینی ع ا و مجتهدی م (۱۳۶۷) اصول تغذیه گیاه (جلد دوم). مولف منگل ک. و کرکبی ا. انتشارات مرکز نشر دانشگاهی. ۳۱۵ ص.

٤. شریعتی ش و قاضی شهنی‌زاده پ (۱۳۷۹) کلزا. نشر آموزش کشاورزی، تهران. ۸۱ ص.

۵. فتحی ق، مرادی تلاوت م ر و نادری عارفی ع (۱۳۸۹) فیزیولوژی کلزا. دانشگاه شهید چمران، اهواز. ۲۴۸ ص.

٦. عزیزی، خ، نوروزیان ع حیدری س و یعقوبی م (۱۳۹۰) بررسی تأثیر محلول‌پاشی عناصر روی و بُر بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد، برخی شاخص‌های رشد، میزان روغن و پروتئین بذر کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط اقلیمی خرم‌آباد. دانش زراعت. ۴(۵): ۱-۱۶.

۷. محسن‌نیا ا و جلیلیان ج (۱۳۹۰) اثر تنش خشکی و منابع کودی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). بوم‌شناسی کشاورزی. ۴(۳): ۲۳۵-۲۴۵..

۸. محمدی ر (۱۳۸۸) بیوشیمی. مولف برگ، ج م تیموزکو ج. و استرایر ل. انتشارات آییژ. ۱۱۰۳ ص.

۹. مصطفوی‌راد م، طهماسبی سروستانی ز مدرس ثانوی س ع م و قلاوند ا (۱۳۹۰) ارزیابی عملکرد، ترکیب اسیدهای چرب و میزان عناصر ریزمغذی در ارقام پرمحصول کلزا تحت تأثیر مقادیر مختلف گوگرد. تولید گیاهان زراعی. ۴(۱): ۴۳-۶۰.

۱۰. ملکوتی م ج و رضایی ح (۱۳۸۰) نقش گوگرد، کلسیم و منیزیم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی. نشر آموزش کشاورزی، تهران. ۱۸۱ ص.

۱۱. نوروزیان ع، پیری خ حیدری س. و یعقوبی م (۱۳۸۹) مطالعه تأثیر محلول پاشی عناصر ریزمغذی روی و بُر بر میزان روغن دانه، عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در شرایط اقلیمی خرم‌آباد. یازدهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران: ۲۹۸۴-۲۹۸۷.

۱۲. هوشمندفر ع ر، مراقبی ف ارادتمند اصلی د افدیده ف حیدری ف و مراقبی ف (۱۳۸۹) بررسی اثر مقادیر مختلف محلول‌پاشی روی بر عملکرد روغن در ارقام کلزا. گیاه و زیست‌بوم. ۶(۲۴): ۵۷-۶۵.

13. Abdul Sattar MAC, Wahid MA, Saleem MF and Hassan M (2011) Interactive effect of sulphur and nitrogen on growth, yield and quality of Canola. Crop and Environment. 2(1): 32-37.

14. Ahmad G, Jan A, Arif M, Tariq Jan M and Shad H (2012) Effect of nitrogen and sulfur fertilization on yield components, seed and oil yields of Canola. Plant Nutrition. 34(14): 2069-2089.

15. Ahmad A and Abdin MZ (2000) Effect of sulphur application on lipid, RNA and fatty acid content in developing seed of rapeseed (*Brassica napus* L.). Plant Science. Pp. 71-76.

16. Ahmadi M (2010) Effect of zinc and nitrogen fertilizer rates on yield and yield components of oilseed Rape (*Brassica napus* L.). American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Science. 7(3): 259-264.

17. Alloway BJ (2008) Zinc in soils and crop nutrition. Second edition. Published by IZA and IFA, Brussels, Belgium and Paris, France. 139 p.

18. Altaf A, Khanand V and Abdin MZ (2000) Effect of sulphur fertilization on oil accumulation, acetyl-Co A concentration and acetyl-Co A carboxylase activity in the developing seeds of rapeseed (*Brassica napus* L.). Australian Journal Agriculture. 51: 1023-1029.

19. Boem FHG, Prystupa P and Ferraris G (2007) Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. Plant Nutrition. 30: 93-104.

20. Brown PH and Hu H (1997) Does boron play only a structural role in the growing tissues of higher plants?. Plant and Soil. 196: 211- 215.

21. Bybordi A and Mamedov G (2010) Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for Canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae. 2(1): 94 -103.

22. Che B, Hrastar R, Tajnsek A and Kosir IJ (2008) Impact of source and application time of sulphur on the yield, oil content and protein content in winter oilseed rape. Acta Agriculturae Slovenica. 91(1): 5-14.

23. Desouky IM, Haggag LF, Abd El-Migeed MMM, Kishk YFM and El-Hady ES (2009) Effect of boron and calcium nutrients sprays on fruit set, oil content and oil quality of some olive cultivars. Agricultural Sciences. 5(2): 180-185.

24. Devi KN, Singh LNK, Singh MS, Singh SB and Singh KK (2012) Influence of sulphur and boron fertilization on yield, quality, nutrient uptake and economics of soybean (*Glycine max*) under upland conditions. Agriculture Science. 12: 421-431.

25. Du Randt ML (2011) The influence of nutrient solutions on growth, seed production and seed quality of Broccli (*Brassica napus* L. var. italic plenck). University of Stellenbosch, ph. D. Dissertation.

26. Ebrahimian E, Bybordi A and Pasban Eslam B (2010) Efficiency of zinc and iron application methods on sunflower. Food, Agriculture & Environment. 8(3): 783-789.

27. Fageria NK and Baligar VC (2005). Encyclopedia of soils in the environment. *In*: Hillel D (Ed.), Nutrient Availability. San Diego, CA: Esevier. 63- 71

28. Jamal A, Moon YS and Abdin MZ (2010)

Sulphur –A general overview and interaction with nitrogen. Crop Science. 4: 523-529.

29. Jan A, Khan N, Khan IA and Khattak B (2002) Chemical composition of canola as affected by nitrogen and sulphur. Plant Science. 1: 519- 521.

30. Iwai H, Hokura A, Oishi M, Chida H, Ishii T, Sakai S and Satoh S (2006) The gene responsible for borate cross-linking of pectin rhamnogalacturonan-II is required for plant reproductive tissue development and fertilization. P. Natl. Acad. Sci. USA. 103:16592–16 597.

31. Malhi SS, Gan Y and Raney JP (2007) Yield, seed quality, and sulfur uptake of *Brassica* oilseed crops in response to sulfur fertilization. Agronomy. 99(2):570-577.

32. Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. New York.

33. Movahhedy- Dehnavy M, Modarres- Sanavy SAM and Mokhtassi- Bidgoli A (2009) Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. Industrial Crop and Products. 30: 82-92.

34. Nasef MA, Badran NM and Abd El- Hamide AF (2006) Response of peanut to foliar spray with boron and/or rhizobium inoculation. Applied Sciences Research. 2(12): 1330-1337.

35. Nuttal WF, Ukrainetz H, Stewart JWG and Spur DT (1987) The effect of nitrogen, sulphur and boron on yield and quality of rapeseed. Soil Science. 67: 545-559.

36. Pedler JF, Parker DR and Crowley DE (2000) Zinc deficiency- induced phytosiderophore release by the Triticaceae is not consistently expressed in solution culture. Planta. 211: 120- 126.

37. Ravi S, Channal HT, Hebsur NS, Patil BN and Dharmatti PR (2008) Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Karantaka Journa of Agriculture Science. 21(3): 382-385.

38. Salwa AI, Eisa MM, Abass M, and Behary SS (2010) Amelioration productivity of sandy soil by using Amino acids, sulphur and micronutrients for sesame production. American Science. 6(11): 250-257.

39. Sharifi SR (2012) Study of yield, yield attribute and dry matter accumulation of canola (*Brassica napus* L.) cultivars in relation to sulfur fertilizer. Agriculture and Crop Sciences. 4(7): 409-4150

40. Sharma PN, Cattejee C, Agarwala SC, and Sharma CP (1990) Zinc deficiency and pollen fertility in maize (*Zea mays)*. Plant and Soil. 124: 221- 225.

41. Shekhawat K, Rathore SS, Premi OP, Kandpal BK and Chauhan JS (2012) Advances in Agronomic management of Indian Mustard (*Brassica juncea* L. Czernj. Cosson). Agronomy. 10: 1-14.

42. Srivastava PC and Gupta UC (1996) Trace elements in crop production. Science Publishers, Lebanon, NH. 356 PP.

43. Walter Heldt H and Piechulla B (2011) Plant biochemistry. 4 ed. Academic Press is an imprint of Elseveir. 622 P.

44. Yang M, Shi L, Xu FS, Lu JW and Wang YH (2009**)** Effects of B, Mo, Zn and their interactions on seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.*).* Pedosphere. 19(1): 53-59.

45. Zakaria MS, Hafez SA, Basyony AE and Alkassas AER (2006) Cottonseed, protein, oil yields and oil properties as affected by nitrogen fertilization and foliar application of potassium and a plant growth retardant. Agricultural Sciences. 2(1): 56-65.