

Evaluation of yield and yield components and quality of camelina grain oil under fertilizer application

Hadi Rostami¹, Nusratullah Abbasi^{*2}, Somayeh Hajinia³

1, 2, 3. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

(Received: October 6, 2021- Accepted: April 20, 2022)

ABSTRACT

Oilseeds are one of the most important food reserves in the world and oil production from oilseeds is very important. In order to investigate the effects of sulfur fertilizer (without fertilizer (control), sulfur chemical fertilizer, sulfur-fertile biofertilizer containing thiobacillus and their combined application) on yield, yield components and seed oil of three camelina masses (Kermanshah, Sabzevar and Shahrekord), an experiment was performed as a factorial design based on randomized complete block design with three replications in the research farm of Ilam University in 2020-2021. The results of analysis of variance showed that the combined effects of sulfur + biosulfur on the number of capsules per plant and the number of seeds per capsule were significant at the level of 1% probability. Also, the weight of 1000 camelina seeds was affected by the interactions of sulfur and the type of mass. Application of sulfur fertilizers increased the amount of photosynthetic pigments in camelina leaves. The highest plant height, number of stem per plant and stem diameter were obtained by using sulfur+biosulfur fertilizers. The results also showed that the highest grain yield (2394 kg/ha) of camelina was obtained by using sulfur+biosulfur; which was 8.32% more than not consuming sulfur. The highest oil yield (5.916 kg/ha) was observed with the combined application of sulfur+biosulfur fertilizers and sulfur and biosulfur fertilizers alone were in the second place in terms of grain yield. Non-application of sulfur fertilizer (4.576 kg/ha) had the lowest grain yield, which indicates the effect of sulfur fertilizers on yield indices and camelina oil.

Keywords: Camelina, oil, sulfur, yield, yield components.

بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت روغن دانه کاملینا تحت کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی گوگرد

هادی رستمی^۱، نصرت‌اله عباسی^{*۲}، سمیه حاجی‌نیا^۳

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و مدرس، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۴ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۳۱)

چکیده

گیاهان دانه روغنی از ذخایر مهم غذایی جهان می‌باشند و تولید روغن از گیاهان دانه روغنی از اهمیت زیادی برخوردار است. به منظور بررسی اثرات کود گوگرد (بدون کود (شاهد)، کود شیمیایی گوگرد، کود زیستی سولفو بارور حاوی تیوباسیلوس و کاربرد توأم آنها) بر عملکرد، اجزای عملکرد و روغن دانه سه توده کاملینا (کرمانشاه، سبزواری و شهرکرد)، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به صورت فاکتوریل در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات توأم گوگرد+بیوسولفور بر تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین وزن هزار دانه کاملینا تحت تأثیر اثرات متقابل گوگرد و نوع توده قرار گرفت. کاربرد کودهای گوگرد باعث افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ کاملینا شد. بیشترین ارتفاع بوته کاملینا، تعداد ساقه فرعی در بوته و قطر ساقه با کاربرد توأم کودهای گوگرد+بیوسولفور به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد بیشترین عملکرد دانه (۲۳۹۴ کیلوگرم در هکتار) کاملینا با کاربرد توأم گوگرد+بیوسولفور به دست آمد که در مقایسه با عدم مصرف گوگرد ۳۲/۸ درصد بیشتر بود. بیشترین عملکرد روغن (۹۱۶/۵ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد توأم کودهای گوگرد+بیوسولفور مشاهده شد و کودهای گوگرد و بیوسولفور به تنهایی در رتبه دوم از نظر عملکرد دانه قرار داشتند. عدم مصرف کود گوگرد (۵۷۶/۴ کیلوگرم در هکتار) کمترین مقدار عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که نشان‌دهنده تأثیر کودهای گوگرد بر شاخص‌های عملکرد و روغن کاملینا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، روغن، عملکرد، کاملینا، گوگرد.

مقدمه

بعد از غلات، دانه‌های روغنی منبع مهم تأمین انرژی و از ذخایر مهم غذایی جهان مورد نیاز انسان به حساب می‌آیند. تولید روغن ارگانیک از گیاهان دانه روغنی از اهمیت زیادی برخوردار است. کاملینا با نام علمی *Camelina sativa L. Crantz* گیاهی کمتر شناخته شده و متعلق به خانواده شببو (*Brassicaceae*) است (Righini *et al.*, 2019) که در آسیا و اروپا رایج می‌باشد (Belayneh *et al.*, 2015). کاملینا گیاهی روغنی یک‌ساله است. چرخه زندگی این گیاه کوتاه (۸۵ تا ۱۰۰ روز) با سامانه ریشه‌ای کم‌عمق است. با مناطق نیمه‌خشک سازگار بوده، اما با شروع فصل گرما و افزایش دما در تابستان عملکرد دانه می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد (Obour *et al.*, 2015). کاملینا قادر است در اقلیم‌ها و خاک‌های مختلف رشد کرده و در مقایسه با سایر گیاهان دانه روغنی نیاز کمی به آب، کود و آفت‌کش دارد (Moser, 2010). این گیاه یک منبع غنی از روغن (۲۸ تا ۴۱ درصد) و اسیدهای چرب امگا ۳ است (Abramovic *et al.*, 2007). دارا بودن بیش از ۳۰ درصد امگا ۳، داشتن خواص دارویی زیاد، استفاده در صنایع، داشتن مقدار زیادی از آنتی‌اکسیدان‌ها به‌خصوص ویتامین E و داشتن خواص ضد سرطانی از دیگر مزایای کاملینا می‌باشند (Kahrizi *et al.*, 2020). اسیدهای چرب موجود در روغن کاملینا در درجه اول اشباع نشده‌اند و تنها حدود ۱۲ درصد آن‌ها اشباع شده‌اند. به دلیل چربی اشباع کم، روغن کاملینا را می‌توان روغن خوراکی با کیفیت بالا دانست. وجود آنتی‌اکسیدان‌ها مانند توکوفرول‌ها باعث می‌شود روغن کاملینا نسبت به روغن کتان ماندگاری بیشتری داشته باشد. دانه کاملینا به‌طور متوسط عملکرد روغن ۳۵ تا ۴۵ درصد دارد. این روغن مایع، رنگ زرد

طلایی با عطر و بوی ناخوشایند شبیه خردل دارد که پس از تصفیه، عطر و طعم آن کمی ملایم‌تر می‌شود (Zubr, 2003). روغن دانه کاملینا حاوی ۴۵ درصد پروتئین خام، ۵ درصد مواد معدنی، ۱۳ درصد فیبر و ترکیبات جزئی دیگر مانند گلوکوزینولات است که توسط اکسپلر مکانیکی استخراج می‌شود (Moser, 2010). دانه کاملینا به‌طور کلی شامل خاکستر، سلولز، پروتئین، چربی‌ها، ویتامین E و همچنین مواد معدنی حاوی کلسیم، فسفر، مس، منگنز، آهن و روی است. بین ۳۲ و ۴۲ درصد وزنی از ترکیب اسیدهای چرب روغن کاملینا را اسید لینولنیک تشکیل می‌دهد. دیگر اسیدهای چرب در مقادیر بالاتر از ۱۰ درصد وزنی شامل لینولنیک، اولئیک و اسیدهای Eicosenoic است (Toncea *et al.*, 2013). یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر رشد، عملکرد و کیفیت محصول در گیاهان دانه روغنی، گوگرد می‌باشد (Altaf *et al.*, 2000). گوگرد، به‌طور کلی در ساخت پروتئین، روغن گیاه و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی نقش دارد و به‌همین علت عنصر مهمی برای دانه‌های روغنی است (Rezaei *et al.*, 2013). گوگرد از عناصر پرمصرف می‌باشد و نیاز اغلب گیاهان به آن حتی گاهی از میزان فسفر نیز بیشتر است. کمبود گوگرد، منجر به غیر فعال شدن فرآیندهای بیولوژیکی گیاهان می‌شود؛ تعادل مواد غذایی محیط خاک را به هم می‌زند و روی رشد گیاهان اثر معکوس دارد (Malakouti, 1999). اگرچه مصرف بهینه گوگرد در خاک‌های آهکی، فسفر قابل جذب در خاک را افزایش داده و سبب جذب آن توسط گیاه می‌شود ولی مصرف زیاد از حد گوگرد با تبدیل مقدار زیادی از کربنات کلسیم خاک به گچ، شوری خاک را افزایش داده و باعث غلظت بالای یون کلسیم در محلول خاک می‌شود. به‌همین دلیل تعیین دقیق مقدار گوگرد

گوگرد در شرایط آب و هوایی شهر ایلام، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ایلام در سال زراعی ۹۹-۱۴۰۰ طراحی و اجرا شد. در طول دوره رشد، مقدار بارش ۳۶۹ میلی‌متر بود. حداقل و حداکثر دما در طول دوره رشد به ترتیب ۵/۵- و ۳۱/۸ درجه سانتی‌گراد بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. اولین فاکتور شامل کودهای زیستی و شیمیایی در چهار سطح (بدون کود (شاهد)، کود شیمیایی گوگرد، کود زیستی سولفو بارور حاوی تیوباسیلوس و کاربرد توأم آن‌ها) و فاکتور دوم سه توده کاملینا (سبزوار، کرمانشاه و شهرکرد) بود. قبل از کاشت مقدار سولفات خاک با نمونه‌گیری خاک از عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد. میزان سولفات خاک ۱۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. کاشت در هشت آبان‌ماه ۱۳۹۹ با تراکم ۸۰ بوته در متر مربع کشت شد. هر کرت آزمایشی شامل هشت ردیف کاشت با فواصل ۳۰ سانتی-متر به طول دو متر بود. مطابق نقشه، طرح تیمارهای کودی در کرت‌های مورد نظر اعمال و با خاک بلافاصله مخلوط شدند. کود زیستی بیوسولفور که حاوی باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد است به مقدار شش کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت به صورت جاگذاری در زیر و کنار بذور مورد استفاده قرار گرفت. کود گوگرد قبل از کاشت به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار از گوگرد بنتونیت‌دار مطابق تیمارها با خاک مخلوط شد. برای تیمار توأم (گوگرد+ بیوسولفور) ابتدا شش کیلوگرم در هکتار کود زیستی با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بنتونیت‌دار مخلوط شده و سپس در هنگام کشت در کنار بذرها استفاده شد. در تیمار شاهد سه توده کاملینا بدون کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی گوگرد کشت شدند. جهت عدم تداخل بین شاهد و تیمارهای کودی در هنگام آبیاری

مورد نیاز به منظور جلوگیری از به هم خوردن تعادل عناصر غذایی در خاک امری لازم و ضروری می‌باشد (Siami, 2007). مفیدبودن استفاده از گوگرد در خاک‌های زیر کشت، افزایش عملکرد محصول، کاهش pH خاک‌های آهکی و نیز افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی، در تحقیقات انجام شده به اثبات رسیده است (Akhavan & Fallah Nusratabad, 2013).

در بررسی برخی صفات رشدی و عملکردی گیاه کاملینا تحت تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی نشان داده شد که مصرف کود زیستی بر صفات ارتفاع بوته و تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت معنی‌دار بوده ولی تعداد شاخه فرعی، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نبود (Hasnibliani *et al.*, 2020). استفاده همزمان گوگرد و باکتری تیوباسیلوس در خاک فسفاته نتایج مثبتی مبنی بر افزایش عملکرد دانه در سوریه نشان داد. باتوجه به اینکه واکنش‌های مرتبط با اکسایش کند بوده و باکتری تیوباسیلوس مهمترین اکسیدکننده گوگرد در خاک است لذا تلقیح کردن خاک با این باکتری سرعت اکسیداسیون گوگرد را افزایش می‌دهد. با توجه به آزمایش‌های انجام شده، افزودن باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد باعث افزایش سریع در رشد و توسعه ریشه‌ها و همچنین سبب می‌شود عملکرد دانه و پروتئین افزایش داشته باشد (Shinde *et al.*, 2004). بر همین اساس این پژوهش به منظور بررسی تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی گوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد و کیفیت روغن دانه کاملینا در خاک منطقه ایلام انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی عملکرد و اجزای عملکرد و کیفیت روغن دانه کاملینا تحت کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی

از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد و رسم نمودارها با استفاده از Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کود گوگرد بر صفات ماده خشک کل اندام‌های هوایی، کلروفیل، ارتفاع بوته، تعداد ساقه فرعی و قطر ساقه در سطح احتمال یک درصد و بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۱). با کاربرد کودهای گوگرد به‌تنهایی و توأم با بیوسولفور شاخص سطح برگ کاملینا به‌ترتیب ۱۴/۴۷ و ۱۲/۰۲ درصد افزایش یافت (جدول ۲). کود گوگرد باعث افزایش ماده خشک کاملینا شد به‌طوری‌که با کاربرد کودهای گوگرد به‌تنهایی و توأم با بیوسولفور، شاخص سطح برگ کاملینا به‌ترتیب ۱۲/۵۶ و ۲۰/۰۵ درصد افزایش یافت (جدول ۲). با کاربرد کود گوگرد شاخص سطح برگ کاملینا افزایش یافت که با نتایج Mostafavi *et al.* (2018) مبنی بر افزایش سطح برگ کنجد (*Sesamum indicum*) با کاربرد کودهای گوگردی مطابقت دارد. چنین اظهار شده است که کاهش موضعی pH خاک حاصل از مصرف گوگرد شرایط را برای افزایش رشد رویشی و شاخص سطح برگ فراهم می‌کند (Fallah *et al.*, 2014). همچنین، با توجه به افزایش محتوای کلروفیل تحت کاربرد گوگرد، افزایش شاخص سطح برگ کاملینا در گیاهان تغذیه‌شده با کودهای زیستی و آلی، می‌توان به کاهش پیری برگ به‌واسطه افزایش تولید کلروفیل یا کاهش تخریب آن ناشی از بهبود وضعیت آب گیاه تحت تأثیر ریزجانداران سودمند موجود در کود زیستی و آلی نسبت داد. به‌نظر می‌رسد با افزایش شاخص سطح برگ، توان فتوسنتزی گیاه افزایش یافته و

رعایت فاصله مناسب (۳۰ سانتی‌متر) و مهار آب صورت پذیرفت. اولین مرحله آبیاری مزرعه بلافاصله پس از کاشت انجام شد. در مراحل رشد گیاه، علف‌های هرز به‌صورت دستی وجین شدند. با توجه به اینکه در مراحل رشد کاملینا آفتی مشاهده نشد، از آفت‌کش و علف‌کش استفاده نشد. در پایان با زرد شدن کامل خوشه‌ها، در اواسط اردیبهشت‌ماه، عملیات برداشت بوته‌ها انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در مرحله گلدهی اقدام به نمونه‌گیری از برگ‌ها شد و مطابق روش Arnon (۱۹۷۵) از استون ۸۰ درصد استفاده شد. در مرحله تشکیل کپسول، ماده خشک کل اندام‌های هوایی و شاخص سطح برگ توسط دستگاه Leaf meter اندازه‌گیری شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک تعداد ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی برداشت و ارتفاع بوته با استفاده از خط‌کش، تعداد ساقه فرعی در بوته، قطر ساقه توسط کولیس دیجیتالی، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول شمارش شدند. همچنین بعد از برداشت نهایی وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک و دانه، پس از کف‌برکردن بوته‌های هر کرت آزمایشی، با در نظر گرفتن حاشیه دو متر مربع برداشت و عملکرد محاسبه شد. درصد روغن با استفاده از دستگاه اتو آنالیزر NIR در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه خرم‌آباد اندازه‌گیری شد. عملکرد روغن با استفاده از رابطه (عملکرد دانه × درصد روغن = عملکرد روغن) محاسبه شد. برای آنالیز آماری داده‌ها، قبل از انجام تجزیه واریانس داده‌ها ابتدا نرمال بودن داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS (ver. 9.4) محاسبه شد. تجزیه واریانس، همبستگی و مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار SAS (ver. 9.4) محاسبه شدند. جهت مقایسه میانگین تیمارها

در نتیجه تولید ماده خشک و عملکرد گیاه افزایش می‌یابد. تشکیل کلروفیل و افزایش در فتوسنتز نسبت داده‌اند محققین افزایش تولید ماده خشک با مصرف گوگرد در گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) را به افزایش رشد ریشه، (Ferreira & Teixeira, 2005).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات کودهای شیمیایی و زیستی گوگرد و نوع توده کاملینا بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی کاملینا

Table 1. Analysis of variance (mean squares) of the effects of chemical and biological fertilizers of sulfur and the type of camelina mass on the morpho-physiological characteristics of camelina

| S.O.V. | df | Dry matter | Leaf area index | Chlorophyll | Plant height | Number of stems | Stem diameter |
|-----------------------------|----|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Block | 2 | 1308 ^{ns} | 0.1886 ^{ns} | 0.3039* | 1.475 ^{ns} | 0.4107 ^{ns} | 0.0549 ^{ns} |
| Masses of camelina | 2 | 5583 ^{ns} | 0.1064 ^{ns} | 0.0206 ^{ns} | 6.667 ^{ns} | 0.2627 ^{ns} | 0.0481 ^{ns} |
| Sulfur | 3 | 24650** | 0.4412* | 0.3722** | 1545.449** | 7.2707** | 6.809** |
| Masses of camelina × Sulfur | 6 | 937 ^{ns} | 0.0483 ^{ns} | 0.0467 ^{ns} | 80.630 ^{ns} | 0.4222 ^{ns} | 0.4547 ^{ns} |
| Error | 22 | 1985 | 0.1158 | 0.0686 | 18.832 | 0.3048 | 0.2558 |
| CV (%) | - | 7.65 | 11.33 | 13.02 | 5.93 | 8.40 | 12.87 |

ns, * and ** are not significant, significant at five and one percent probability levels, respectively.

جدول ۲- تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی گوگرد بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی کاملینا

Table 2. The effect of chemical and biological fertilizers of sulfur on the morpho-physiological characteristics of camelina

| Sulfur | Leaf area index | Dry matter (g m ⁻²) | Stem diameter (mm) | Number of stems | Plant height (cm) |
|------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| No fertilizer | 2.819 ^b | 537.9 ^b | 63.0 ^c | 5.54 ^c | 2.84 ^c |
| Sulfur | 3.227 ^a | 605.5 ^a | 80.3 ^b | 6.47 ^b | 3.83 ^b |
| Biosulfur | 2.804 ^b | 541.3 ^b | 61.1 ^c | 6.55 ^b | 4.24 ^b |
| Sulfur+Biosulfur | 3.158 ^a | 645.8 ^a | 87.9 ^a | 7.74 ^a | 4.80 ^a |

Means with common letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test at 5% probability level.

است که در سنتز کلروفیل نقش مهمی ایفا می‌کنند (Kacar & Katkat, 2007). استفاده از گوگرد به‌علت تأثیر بر فعال کردن برخی آنزیم‌ها و کمک به تولید بعضی از ترکیبات که در تولیدات فتوسنتزی نقش دارند قابلیت افزایش کلروفیل‌ها را دارند (Kopriva et al., 2015). مطالعه Kumar et al. (2017) نشان داد که کاربرد گوگرد منجر به افزایش سنتز انواع کلروفیل‌ها نظیر کلروفیل a, b و کلروفیل کل در گیاه کلزا شد. این امر ممکن است به‌دلیل نقش گوگرد در ساختار آنزیم، جذب و متابولیسم

کاربرد کودهای گوگرد باعث افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ کاملینا شد. بین سطوح مختلف کود گوگرد تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. کاربرد گوگرد، بیوسولفور و توأم (گوگرد+بیوسولفور) باعث افزایش مقدار کلروفیل کل به‌ترتیب ۱۶/۳، ۲۸ و ۱۹/۴ درصد در مقایسه با عدم مصرف گوگرد شد (جدول ۲). نتایج این پژوهش نشان داد که با مصرف گوگرد، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ کاملینا افزایش یافت. گوگرد جزیی از آمینواسیدهای سیستئین و متیونین و بخشی از پروتئین‌ها

می‌توانند در افزایش ارتفاع بوته مؤثر باشند (Anandham & Sridar, 2004).

Rasool *et al.* (2013) گزارش کردند که گوگرد به‌عنوان جزئی از سوکسینیل‌کوآنزیم A در بیوسنتز کلروفیل در برگ‌ها دخیل بوده و فعالیت آن در سطح سلولی از طریق افزایش فتوسنتز دخیل است که سبب افزایش رشد رویشی و افزایش شاخص سطح برگ و ارتفاع گیاه می‌شود. در تحقیق دیگری پژوهشگران افزایش ارتفاع بوته سویا (*Glycine max*) را با کاربرد گوگرد نشان داده و دلیل آن را با نقش گوگرد در متابولیسم نیتروژن و متعاقب آن بهبود رشد رویشی سویا مرتبط دانستند (Akter *et al.*, 2013). یکی از اهداف اصلاحی کاملینا، افزایش ارتفاع جهت سهولت برداشت مکانیزه می‌باشد. بنابراین اصلاحگران می‌کوشند با استفاده از تکنیک‌های ژنتیکی و استفاده از ارقامی با ارتفاع بلندتر، این هدف را تأمین کنند. ارتفاع بالای بوته اگر همراه با عملکرد دانه مناسب باشد، صفت مطلوبی خواهد بود. Devi *et al.* (2012) گزارش کردند به علت نقش عنصر گوگرد در فرآیندهای رشد و نمو گیاه و ساختمان اسیدهای آمینه و فرآیند تفکیک بافت از سلول‌های مولد مریستمی، افزایش تقسیم سلولی و انتقال مواد فتوسنتزی و تنظیم‌کننده‌های رشد از منبع به مخزن، با مصرف گوگرد تعداد شاخه جانبی در سویا افزایش می‌یابد.

همچنین کاربرد گوگرد با بهبود رشد اندام‌های هوایی گیاه، به‌عنوان یک بخش فتوسنتزکننده بزرگ و منبع قوی باعث افزایش قدرت مقدار جذب ریشه که به نوبه خود باعث جذب هر چه بیشتر عناصر و رشد بالای گیاه می‌شود. کود زیستی با فراهم کردن عناصر غذایی مورد نیاز کاملینا بر رشد گیاه تأثیر مثبتی داشته و باعث افزایش قطر ساقه گیاه می‌شود. این امر می‌تواند به دلیل ترشح

نیتروژن و افزایش نیتروژن جذب‌شده توسط گره‌های ریشه باشد.

بیشترین ارتفاع بوته کاملینا (۸۷/۸۵ سانتی‌متر) با کاربرد توأم کودهای گوگرد+ بیوسولفور به دست آمد؛ که در مقایسه با عدم مصرف گوگرد ۳۹/۵۱ درصد بیشتر بود. با کاربرد کود شیمیایی گوگرد ارتفاع بوته کاملینا ۲۷/۵۰ درصد در مقایسه با عدم مصرف کود بیشتر بود. کود زیستی گوگرد به‌تنهایی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته کاملینا نداشت (جدول ۲). بیشترین و کمترین تعداد ساقه فرعی در بوته کاملینا (به ترتیب ۷/۷۴ و ۵/۵۴ ساقه در بوته) به ترتیب به کاربرد توأم گوگرد+بیوسولفور و عدم مصرف کود گوگرد اختصاص یافت. با کاربرد توأم گوگرد+بیوسولفور تعداد ساقه فرعی در بوته کاملینا در مقایسه با عدم مصرف کود ۳۹/۵۴ درصد افزایش یافت. با کاربرد کودهای گوگرد به‌صورت شیمیایی و زیستی تعداد ساقه فرعی در مقایسه با عدم مصرف کود گوگرد به ترتیب ۱۶/۶۷ و ۱۶/۱۸ درصد بیشتر بود (جدول ۲). با کاربرد کودهای گوگرد قطر ساقه افزایش یافت؛ میزان افزایش قطر ساقه با کاربرد توأم گوگرد+بیوسولفور در مقایسه با عدم مصرف کود ۶۹/۱۰ درصد بود. این میزان افزایش برای کودهای گوگرد و بیوسولفور به‌تنهایی ۳۴/۶۳ و ۴۹/۳۹ درصد بود (جدول ۲).

نتایج این تحقیق با نتایج Bose *et al.* (2009) مطابقت دارد؛ این محققان مشاهده کردند که کمبود گوگرد باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته کلزا می‌شود. گوگرد به‌عنوان ماده اسیدزا می‌تواند با کاهش pH خاک در اطراف ریشه‌ها و افزایش جذب عناصر غذایی نظیر فسفر و روی باعث بهبود رشد و ارتفاع بوته شود. یون‌های فلزی همچون آهن، روی، مس، منیزیم و منگنز به‌عنوان کوفاکتور در ساختمان بسیاری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مشارکت داشته و

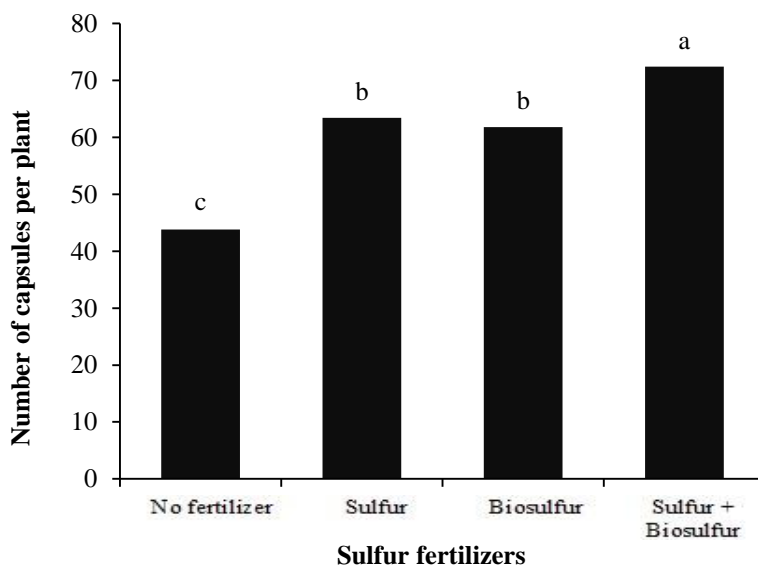
تیمار کود شیمیایی در افزایش قطر ساقه در این آزمایش باشد و با نتایج Asghar *et al.* (2004) مطابقت دارد.

ترکیبات تحریک کننده رشد و هورمون های رشدی باشد که در خاک تولید و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می دهند (Rahimzadeh *et al.*, 2011) که می تواند دلیلی بر برتری

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات کودهای شیمیایی و زیستی گوگرد و نوع توده کاملینا بر اجزای عملکرد دانه
Table 3. Analysis of variance (mean squares) of effects of chemical and biofertilizers of sulfur and camelina mass type on grain yield components

| S.O.V. | df | Number of capsules per plant | Number of seeds per capsule | weight of 1000 seeds |
|-----------------------------|----|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Block | 2 | 49.435 ^{ns} | 0.0303 ^{ns} | 0.00460 ^{ns} |
| Masses of camelina | 2 | 72.575 ^{ns} | 0.2003 ^{ns} | 0.00850 ^{ns} |
| Sulfur | 3 | 1293.071 ^{**} | 7.75903 ^{**} | 0.00526 ^{ns} |
| Masses of camelina × Sulfur | 6 | 5.028 ^{ns} | 0.5651 ^{ns} | 0.1286 ^{**} |
| Error | 22 | 23.924 | 0.6684 | 0.00302 |
| CV (%) | - | 8.10 | 10.50 | 5.29 |

ns, * and ** are not significant, significant at five and one percent probability levels, respectively.



شکل ۱- تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی گوگرد بر تعداد کپسول در بوته کاملینا

Figure 1. The effect of chemical and biological sulfur fertilizers on the number of capsules per camelina plant
اجزای عملکرد دانه کاملینا

کاملینا تحت تأثیر اثرات متقابل گوگرد و نوع توده قرار

گرفت (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد اثرات گوگرد بر تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. همچنین وزن هزار دانه

تعداد کپسول در بوته

بیشترین تعداد کپسول در بوته (۷۲ کپسول در بوته) با کاربرد توأم گوگرد+بیوسولفور مشاهده شد که در مقایسه

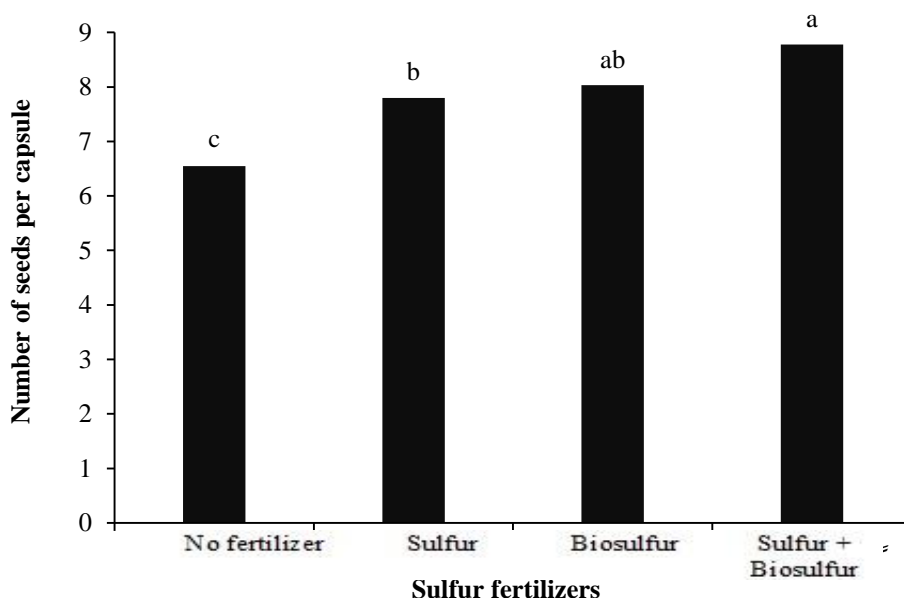
می‌توان یکی از علل افزایش عملکرد دانه کاملینا را به افزایش تعداد کپسول در بوته نسبت داد. احتمالاً کاربرد گوگرد به همراه بیوسولفور، توانسته است از طریق کاهش pH خاک و حلالیت عناصر به افزایش رشد و نمو گیاه کاملینا کمک کند (Anandham *et al.*, 2007).

تعداد دانه در کپسول

کاربرد توأم گوگرد+بیوسولفور، گوگرد و بیوسولفور تعداد دانه در کپسول کاملینا را در مقایسه با عدم مصرف کاربرد آن به ترتیب به میزان ۳۴/۱، ۱۹/۲ و ۸۲۲ درصد افزایش دادند (شکل ۲).

با عدم مصرف کود گوگرد ۶۵/۳ درصد بیشتر بود. با کاربرد کودهای گوگرد و بیوسولفور تعداد کپسول در بوته کاملینا ۴۴/۸ و ۴۱/۱ درصد افزایش یافت (شکل ۱).

تفاوت در تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول ارتباط مستقیم با میزان نفوذ نور به داخل کانوپی گیاهی دارد. به دلیل نقش گوگرد در ساخت آمینواسیدهای سیستئین، متیونین و سنتز اسیدهای چرب، دانه‌های روغنی به مقادیر متوسط سولفور واکنش نشان می‌دهند (Havlin *et al.*, 1999). باتوجه به اثر مستقیم تعداد کپسول به عنوان جزء مؤثر در تعیین عملکرد کاملینا



شکل ۲- تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی گوگرد بر تعداد دانه در کپسول کاملینا

Figure 2. The effect of chemical and bio-sulfur fertilizers on the number of grains in camelina capsules

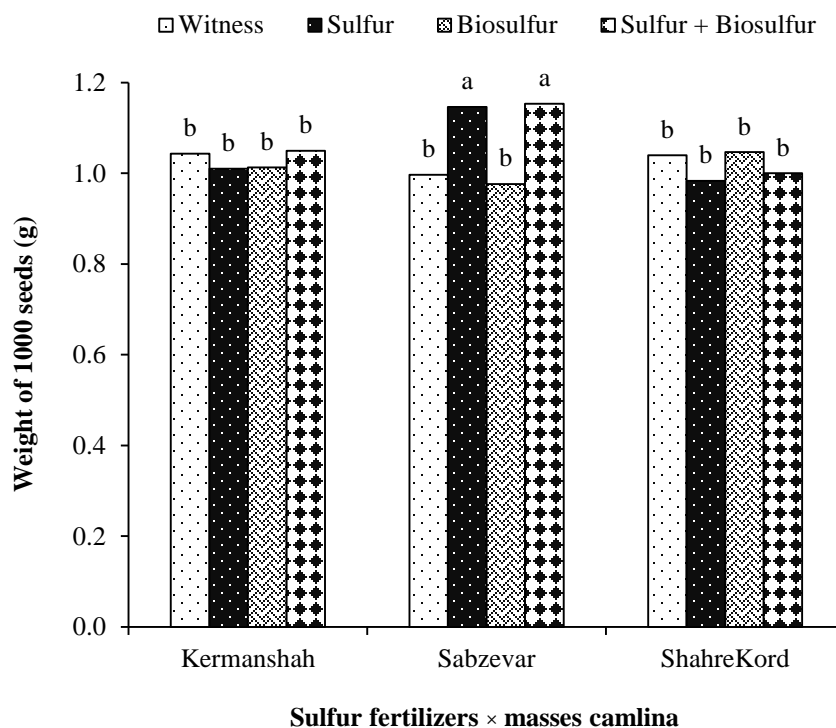
فتوستنتز گیاه شده که به نوبه خود در انتقال مواد فتوستنتزی و پرشدن دانه تأثیر مثبتی دارد. با در نظر گرفتن حضور باکتری‌های تیوباسیلوس در کود زیستی بیوسولفور و توانایی آن‌ها در کاهش pH خاک و تولید هورمون‌های این دو استیک‌اسید و سیتوکنین می‌توان احتمال داد که این باکتری‌ها از طریق افزایش رشد ریشه‌های جانبی،

ظرفیت مخزن‌های گیاه توسط تعداد دانه در کپسول مشخص می‌شود؛ هر چه تعداد دانه‌ها بیشتر باشند گیاه دارای تعداد مخزن‌های بیشتری برای مواد پرورده تولید شده است و هر عاملی که این جزء را افزایش دهد باعث افزایش عملکرد نیز خواهد شد. بنابراین کاربرد کودهای گوگرد، سطح سبز را افزایش داده و در ادامه باعث افزایش

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه کاملینا در توده‌های کرمانشاه و شهرکرد تحت تأثیر کودهای گوگرد قرار نگرفت. در توده سبزوار کاربرد توأم گوگرد+بیوسولفور و کاربرد کود شیمیایی گوگرد به صورت جداگانه باعث افزایش وزن هزار دانه کاملینا در مقایسه با عدم شاهد به میزان ۱۵٪ و ۱۵/۷ درصد شد (شکل ۳).

سطح برگ و ریشه سبب افزایش مواد فتوسنتزی شده که به نوبه خود باعث بهبود رشد رویشی و در ادامه افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در کپسول شده است. همچنین کمبود عنصر گوگرد از طریق کاهش تعداد دانه در کپسول باعث افت عملکرد دانه کاملینا می‌شود (Poonia, 2000).



شکل ۳- تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی گوگرد بر وزن هزار دانه کاملینا

Figure 3. The effect of chemical and biological sulfur fertilizers on the 1000-grain weight of camelina

وزن هزاردانه کاملینا با استفاده از کود شیمیایی افزایش یافت. علت عدم تأثیر کودهای گوگرد بر وزن هزاردانه کاملینا احتمالاً باتوجه به اینکه وزن دانه آخرین جزء عملکرد است که در طول نمو گیاه شکل می‌یابد و وزن دانه نسبت به اجزای دیگر عملکرد به شرایط محیطی وابستگی کمتری دارد و مطابق با یافته‌های Diepenbrock (2000) است. بالابودن وزن هزاردانه در

گوگرد پس از اکسیدشدن در خاک علاوه بر نقش تغذیه‌ای مستقیم می‌تواند باعث کاهش موضعی pH خاک شود که این به دلیل تولید اسیدسولفوریک می‌باشد. از این رو به طور غیر مستقیم نیز بر افزایش جذب فسفر و دیگر عناصر غذایی کم مصرف مؤثر واقع شد و در نهایت افزایش وزن هزاردانه را فراهم ساخته‌اند (Hassanibiani et al., 2020).

اندام‌های هوایی می‌تواند میزان جذب خالص مواد فتوسنتزی را افزایش داده و بر مقدار تولید زیست‌توده بیفزاید که این افزایش زیست‌توده در کاملینا با افزایش شاخه‌زایی و ارتفاع بوته همراه است (Ansouri et al., 2013). گوگرد تأثیر زیادی بر افزایش میزان کلروفیل و سطح برگ گیاه دارند؛ از این رو می‌توان انتظار داشت که با افزایش مقادیر آن‌ها بر عملکرد زیست-توده بوته‌های کاملینا نیز افزوده شود.

عملکرد دانه

بیشترین عملکرد دانه (۲۰۸۴ کیلوگرم در هکتار) کاملینا با کاربرد گوگرد به دست آمد که در مقایسه با عدم مصرف گوگرد، ۱۴ درصد بیشتر بود. در مرحله بعدی کودهای گوگرد و بیوسولفور به صورت جداگانه بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند و باعث افزایش عملکرد دانه کاملینا به ترتیب به میزان ۱۵/۶ و ۱۵/۳ درصد در مقایسه با شاهد شدند. کمترین عملکرد دانه (۱۸۰۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار عدم مصرف گوگرد مشاهده شد (شکل ۵).

توده سبزواری می‌توان به دلیل پتانسیل ژنتیکی آن دانست.

عملکرد کاملینا

عملکرد بیولوژیکی، دانه در سطح احتمال یک درصد و شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر کود گوگرد قرار گرفتند (جدول ۴).

عملکرد بیولوژیکی

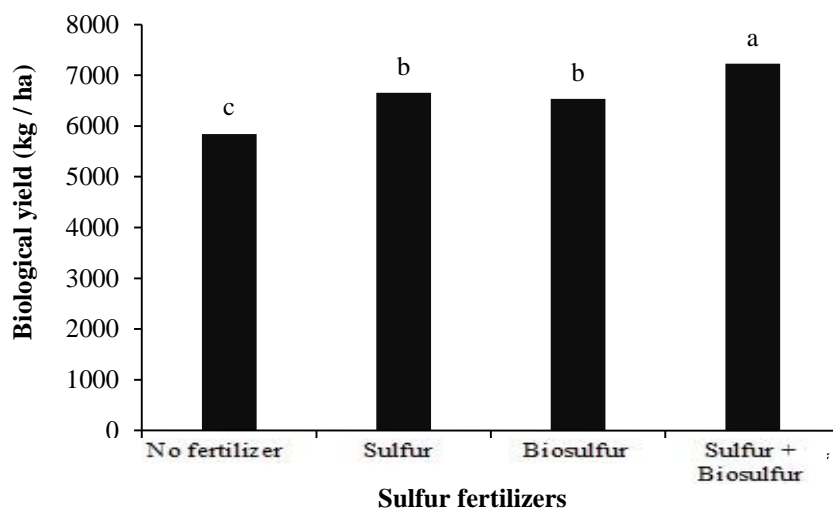
بیشترین عملکرد بیولوژیکی کاملینا (۷۲۲۹ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد توأم گوگرد+بیوسولفور به دست آمد که در مقایسه با عدم مصرف گوگرد ۲۳/۷۴ درصد بیشتر بود. در مرحله بعدی کودهای گوگرد و بیوسولفور به صورت جداگانه بیشترین عملکرد بیولوژیکی را به خود اختصاص دادند و باعث افزایش عملکرد بیولوژیکی کاملینا به ترتیب به میزان ۱۳/۹۴ و ۱۱/۹ درصد در مقایسه با شاهد شدند. کمترین عملکرد بیولوژیکی (۵۸۴۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار عدم مصرف گوگرد مشاهده شد (شکل ۴). میزان عملکرد بیولوژیکی به میزان رشد اندام‌های هوایی بستگی دارد؛ بنابراین کود گوگرد با تأثیر بر میزان رشد

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات کودهای شیمیایی و زیستی گوگرد و نوع توده کاملینا بر عملکرد

Table 4. Analysis of variance (mean squares) of the effects of chemical and biofertilizers of sulfur and camelina mass type on yield

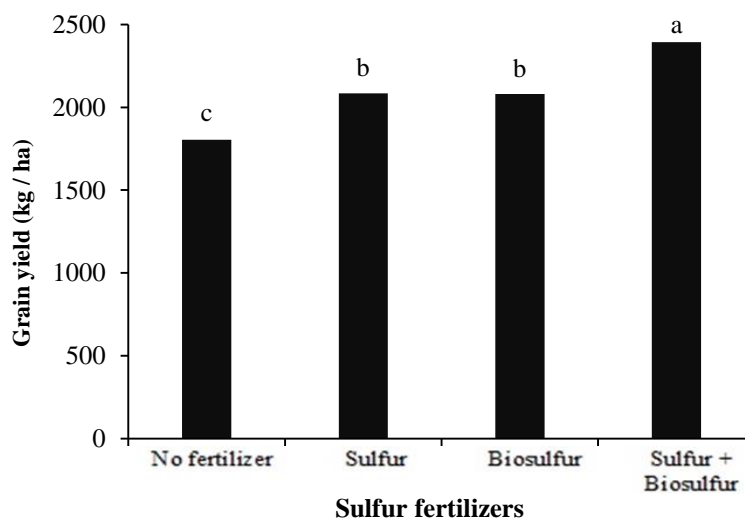
| S.O.V. | df | Biological function | Grain performance | Harvest index |
|-----------------------------|----|----------------------|---------------------|---------------------|
| Block | 2 | 1827950** | 66645 ^{ns} | 1.900 ^{ns} |
| Masses of camelina | 2 | 123424 ^{ns} | 36720 ^{ns} | 8.389 ^{ns} |
| Sulfur | 3 | 2920210** | 525232** | 8.741* |
| Masses of camelina × Sulfur | 6 | 47174 ^{ns} | 4013 ^{ns} | 3.372 ^{ns} |
| Error | 22 | 30801 | 25454 | 2.170 |
| CV (%) | - | 8.45 | 7.63 | 4.62 |

ns, * and ** are not significant, significant at five and one percent probability levels, respectively.



شکل ۴- تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی گوگرد بر عملکرد بیولوژیکی کاملینا

Figure 4. The effect of chemical and biological sulfur fertilizers on the biological yield of camelina



شکل ۵- تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی گوگرد بر عملکرد دانه کاملینا

Figure 5. The effect of chemical and biological sulfur fertilizers on camelina grain yield

گوگرد افزایش یافت. به عبارت دیگر گیاه گوگرد را برای تولید تعداد کپسول بیشتر و دانه‌های بیشتر مصرف کرده؛ لذا می‌توان گفت علت افزایش عملکرد کاملینا بر اثر مصرف گوگرد، افزایش تعداد دانه در کپسول می‌باشد. به-هرحال، روند تغییرات اجزای عملکرد و عملکرد دانه در توده‌های کاملینا مورد مطالعه در اثر افزایش میزان گوگرد،

در توجیه این رابطه می‌توان بیان داشت که سطح برگ بیشتر و ماده خشک بیشتر قبل از گرده‌افشانی منجر به ذخیره بیشتر مواد فتوسنتزی در ساقه و برگ‌ها می‌شود که در نهایت این عمل منجر به انتقال آسیمیلات‌ها به دانه و در نهایت افزایش عملکرد در واحد سطح خواهد شد. همچنین مشاهده شد که تعداد دانه در کپسول با افزایش

مشابه و همسان بود که بیانگر واکنش مشابه عملکرد و اجزای عملکرد دانه کاملینا نسبت به تغییرات میزان گوگرد در خاک می‌باشد. عدم تفاوت معنی‌دار بین عملکرد توده‌ها حاکی از آن است که این سه توده می‌توانند در منطقه کشت شوند و عملکرد مناسبی تولید کنند.

شاخص برداشت

مشابه برداشت فقط با کاربرد توأم کودهای گوگرد و کاملینا افزایش یافت و مصرف این کودها به صورت جداگانه تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت کاملینا نداشتند (شکل ۶).

برتری شاخص برداشت با کاربرد توأم گوگرد و بیوسولفور نسبت به شاهد را می‌توان به بهبود رشد و افزایش عملکرد دانه در مقایسه با عملکرد بیولوژیکی، در نتیجه تأمین مناسب و متعادل عناصر غذایی در طول فصل رشد نسبت داد. افزایش شاخص برداشت کودی مذکور بیانگر این مطلب است که علی‌رغم افزایش عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک، سهم افزایش عملکرد دانه بیشتر از عملکرد بیولوژیک بوده است.

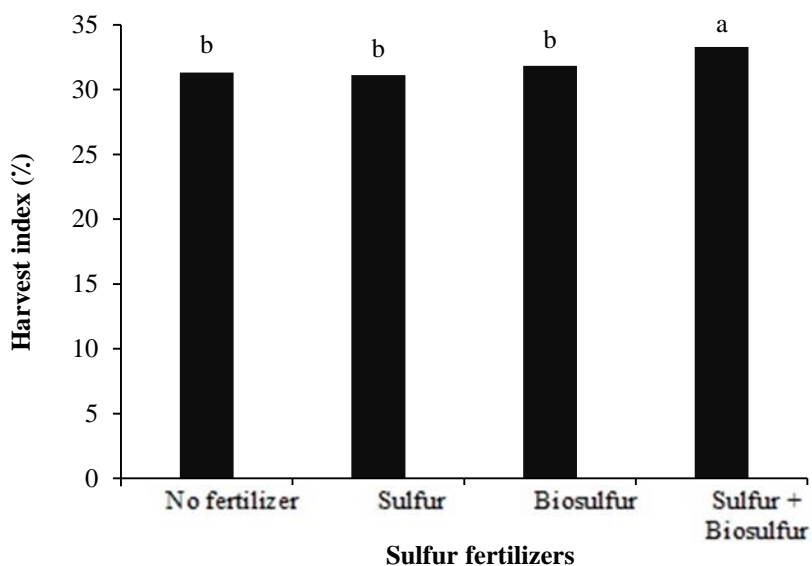
روغن دانه

کاربرد توأم کودهای گوگرد+بیوسولفور موجب افزایش مقدار روغن در توده‌های مختلف کاملینا شد. مقدار روغن با کاربرد توأم گوگرد+بیوسولفور باعث افزایش درصد روغن توده‌های کرمانشاه، سبزواری و شهرکرد به ترتیب به مقدار ۱۸/۱، ۱۷ و ۲۳/۵ درصد در مقایسه با عدم مصرف کود گوگرد شد. همچنین کود گوگرد باعث افزایش درصد روغن توده‌های کرمانشاه، سبزواری و شهرکرد به ترتیب به مقدار ۱۷/۵، ۲۰/۵ و ۱۱/۴ درصد در مقایسه با عدم مصرف کود گوگرد شد. مقدار روغن با کاربرد بیوسولفور در توده‌های کرمانشاه، سبزواری و شهرکرد به ترتیب به مقدار

۸/۴، ۱۶/۷ و ۱۲/۹ درصد در مقایسه با عدم مصرف کود گوگرد بیشتر بود (شکل ۷).
بیشترین تأثیر در افزایش درصد روغن، در نتیجه کاربرد توأم کودهای گوگرد و بیوسولفور مشاهده شد. به طور کلی، تیمارهای دارای کود زیستی بیوسولفور به همراه گوگرد آلی بنتونیت‌دار کارآیی بیشتری در بهبود محتوای روغن دانه داشتند. با توجه به نقش ساختاری گوگرد در سنتز روغن می‌توان نتیجه‌گیری کرد که باکتری‌های تیوباسیلوس به همراه گوگرد بنتونیت‌دار، توانسته‌اند از طریق اکسایش گوگرد در تأمین این عنصر نقش مثبتی ایفا کرده و منجر به افزایش روغن دانه در تیمارهای مذکور شوند. عنصر گوگرد با دخالت در تشکیل گلوکوزیدها و گلیکوزینولات‌ها و فعال‌سازی آنزیم‌ها باعث افزایش درصد روغن می‌شود (Ravi et al., 2008).

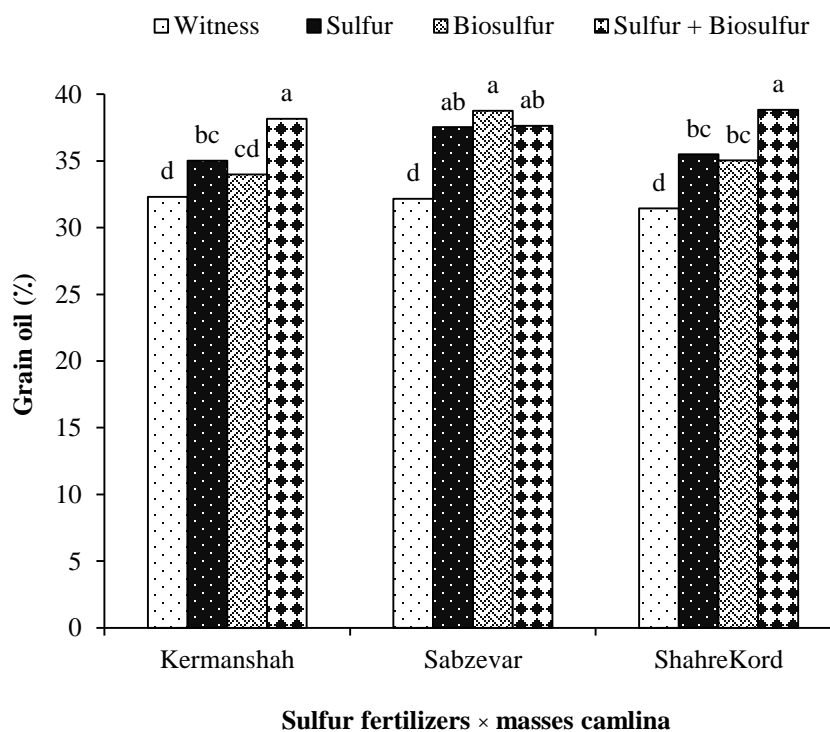
عملکرد روغن دانه

عملکرد روغن با کاربرد کود گوگرد به میزان ۷۵۰/۳ کیلوگرم در هکتار و با عدم مصرف کود گوگرد به میزان ۵۷۶/۴ کیلوگرم در هکتار (کمترین مقدار) بود (جدول ۵). عملکرد روغن گیاهان روغنی از مهمترین مؤلفه‌ها بوده و خود تابعی از عملکرد و درصد روغن دانه است که بر اساس نتایج افزایش عملکرد دانه در تیمارهای کود شیمیایی و زیستی گوگرد می‌تواند علت افزایش عملکرد روغن باشد. عملکرد دانه نسبت به درصد روغن بر افزایش عملکرد روغن در واکنش به تیمارهای کوددهی اثر بیشتری داشت. در تیمارهای شاهد عملکرد روغن روند کاهشی را نشان داد که علت آن می‌تواند کاهش عملکرد دانه باشد. بین توده‌های کاملینا تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.



شکل ۶- تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی گوگرد بر شاخص برداشت کاملینا

Figure 6. The effect of chemical and biological sulfur fertilizers on camelina harvest index



شکل ۷- تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی گوگرد بر روغن دانه سه توده کاملینا

Figure 7. The effect of chemical and bio-sulfur fertilizers on the oil of three camelina grain

جدول ۵- تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی گوگرد و نوع توده بر مقدار اسیدهای چرب مختلف دانه کاملینا

Table 5. The effect of chemical and biological fertilizers of sulfur and the type of mass on the amount of different fatty acids of camelina seeds

| Sulfur | Oil yield (Kg ha ⁻¹) | Oleic acid (Percentage) | Linoleic acid (Percentage) | Palmitic acid (Percentage) | Stearic acid (Percentage) | Eicosanoic acid (Percentage) |
|--------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| No fertilizer | 576.4 ^c | 53.61 ^b | 25.87 ^b | 3.80 ^a | 0.202 ^b | 2.327 ^a |
| Sulfur | 750.3 ^b | 70.25 ^a | 29.47 ^a | 4.13 ^a | 0.819 ^a | 3.439 ^a |
| Biosulfur | 745.7 ^b | 71.94 ^a | 29.71 ^a | 4.11 ^a | 0.813 ^a | 3.640 ^a |
| Sulfur + Biosulfur | 916.5 ^a | 75.31 ^a | 29.90 ^a | 4.14 ^a | 0.933 ^a | 3.613 ^a |
| Masses of camelina | | | | | | |
| Kermanshah | 728.0 ^a | 74.02 ^a | 29.83 ^a | 4.01 ^a | 1.056 ^a | 4.553 ^a |
| Sabzevar | 749.9 ^a | 60.95 ^b | 27.83 ^b | 4.15 ^a | 0.301 ^c | 1.955 ^b |
| Shahrekord | 763.4 ^a | 68.38 ^a | 28.53 ^b | 3.98 ^a | 0.718 ^b | 3.257 ^a |

Means with common letters in each column are not significantly different based on Duncan's multiple range test at 5% probability level.

نتیجه گیری کلی

۲۳/۵ درصد در مقایسه با عدم مصرف کود گوگرد شد. با کاربرد توأم گوگرد+ بیوسولفور عملکرد دانه کاملینا ۳۲/۸ درصد افزایش یافت. مقدار اسید چرب اروسیک و لینولنیک با کاربرد کودهای گوگرد و بیوسولفور کاهش یافت. تفاوت معنی داری در بین توده‌های تهیه شده کاملینا از شهرکرد، کرمانشاه و سبزواری جهت خصوصیات رشد و عملکرد دانه وجود نداشت و هر سه توده از نظر عملکرد دانه پتانسیل یکسانی دارند و برای منطقه ایلام قابل توصیه هستند.

کاربرد کود شیمیایی گوگرد و کود زیستی بیوسولفور بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، روغن دانه و اسیدهای چرب اولئیک، لینولنیک، اسیداستئاریک و اسیدهای چرب اشباع تأثیر معنی داری داشت و همه صفات مورد بررسی همزمان با کاربرد مصرف گوگرد و بیوسولفور افزایش یافتند. مقدار روغن با کاربرد توأم گوگرد+بیوسولفور باعث افزایش درصد روغن توده‌های کرمانشاه، سبزواری و شهرکرد به ترتیب به مقدار ۱۸/۱، ۱۷ و

REFERENCES

1. Abramovic, H., Butinar, B. & Nikolic, V. (2007). Changes occurring in phenolic content and oxidative stability of *Camelina sativa* oil during storage. *Food Chemistry*, 104, 903-909.
2. Akhavan, Z. & Falah Nusrat Abad, A. (2013). Effect of sulfur and thiobacillus inoculum on soil pH, dry weight and phosphorus uptake in canola. *Electronic Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 3(1), 1-13. (In Farsi)
3. Akter, F., Islam, N., Shamsuddoha, A.T.M., Bhuiyan, M.S.I. & Shilpi, S. (2013). Effect of phosphorus and sulphur on growth and yield of soybean (*Glycine max* L.). *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 4(4), 555-560.
4. Altaf, A., Khan, V. & Abdin, M.Z. (2000). Effect of sulfur fertilization on oil accumulation, acetyl-CoA concentration, and acetyl-CoA carboxylase activity in the developing seeds of rapeseed (*Brassica campestris* L.). *Australian Journal Agriculture*, 51, 1023-1029.
5. Anandham, R., Sridar, R., Nalayini, P., Poonguzhali, S. & Madhaiyan, M. (2007). Potential for plant growth promotion in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cv. ALR-2 by co-inoculation of sulfur-oxidizing bacteria and *Rhizobium*. *Microbiological Research*, 162(2), 139-153.
6. Anandham, R. & Sridar, R. (2004). Use of sulphur bacteria for increased yield and oil content of groundnut. *Biofertilizers Technology*, 365-371.

7. Ansouri, A., Gholami, A., ChaiChi, M.R., Shahgholi, H. & Asadi, P. (2013). Interaction of sulfur and *Thiobacillus* bacteria on colonization of two species of mycorrhizal fungi and maize growth under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Crop Science*, 33(4), 495-505. (In Farsi)
8. Arnon, D.I. (1975). Copper enzymes increased isolated chloroplast polyphenoxidase increased *Beta vulgaris* L. *Plant Physiology*, 45, 1-15.
9. Asghar, H.N., Zahir, Z.A. & Arshad, M. (2004). Screening rhizobacteria for improving the growth, yield, and oil content of canola (*Brassica napus* L.). *Australian Journal of Agricultural Research*, 55(2), 187-194.
10. Balloei, F., Ardakani, M.R., Rejali, F., Ramzanpoor, M.R., Alizade, G.R. & Mohebbati, F. (2009). Effect of *Thiobacillus* and Mycorrhiza fungi under different levels of sulfur on yield and yield components of soybean. In: Proceedings of *International Symposium on Root Research and Applications*, 2-4 Sept., Vienna, Austria.,
11. Belayneh, H.D., Wehling, R.L., Cahoon, E. Ciftci, O.N. (2015). Extraction of omega- 3-rich oil from *Camelina sativa* seed using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 104, 153-159.
12. Bose, N., Naik, S.K., & Das, D.K. (2009). Evaluation of nitrosulf and elemental sulphur on growth and yield of rapeseed (*Brassica campestris* L.) in India. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 55(1), 79-90.
13. Chaturvedi, S., Bhattacharya, A., Khare, S.K., & Kaushik, G. (2018). *Camelina sativa*: An emerging biofuel crop. pp. 1-38. In: Hussain, C. (eds). *Handbook of Environmental Materials Management*. Springer, Cham.
14. Crowley, J.G. & Frohlich, A. (1998). *Factors affecting the composition and use of camelina*. Teagasc
15. Devi, K.N., Singh, L.N.K., Singh, M.S., Singh, S.B., & Singh, K.K. (2012). Influence of sulphur and boron fertilization on yield, quality, nutrient uptake and economics of soybean (*Glycine max*) under upland conditions. *Journal of Agricultural Science*, 4(4), 421-431.
16. Egesel, C.O., Gul, M.K., & Kahrman, F. (2009). Changes in yield and seed quality traits in rapeseed genotypes by sulphur fertilization. *European Food Research and Technology*, 229(3), 505-513.
17. Fallah, A., Momeni, S. & Shariati, S. (2014). Effect of PGPR biofertilizers on the qualitative and quantitative yield parameters of wheat (*Triticum aestivum*). *Applied Soil Research*, 2(1), 103-114. (In Farsi)
18. Ferreira, R.M. & Teixeira, A. R. (1992). Sulfur starvation in *Lemna* leads to degradation of ribulose-bisphosphate carboxylase without plant death. *Journal of Biological Chemistry*, 267(11), 7253-7257.
19. Hasnibliani, M., Tadayon, M.R. & Fadaei Tehrani, A.A. (2020). Investigation of some growth and functional traits of camelina plant under the influence of bio-chemical fertilizers. *Journal of Production and Processing of Crops and Horticulture*, 10(1), 39-52. (In Farsi)
20. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. & Nelson, W.L. (1999). Soil fertility and fertilizers prentice hall. *New Jersey*, 345-355.
21. Kacar, B. & Katkat, A.V. (2007). *Plant Nutrition*. 3th Edn. Nobel Press; Ankara, Turkey.
22. Khan, N., Jan, A., Khan, I.A. & Khan, N. (2002). Response of canola to nitrogen and sulphur nutrition. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(1), 516-518.
23. Kim, J.H., Jang, H.J., Cho, W.Y., Yeon, S.J. & Lee, C.H. (2020). In vitro antioxidant actions of sulfur-containing amino acids. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 1678-1684.
24. Kopriva, S., Calderwood, A., Weckopp, S.C. & Koprivova, A. (2015). Plant sulfur and big data. *Plant Science*, 241, 1-10.
25. Kumar, S., Wani, J.A., Lone, B.A., Fayaz, A., Singh, P., Qayoom, S., Dar, Z.A., Liu, X., Wang, Q., Hu, C., Zhao, X., Duan, B. & Zhao, Z. (2017). Regulatory effects of sulfur on oilseed rape (*Brassica napus* L.) response to selenite. *Soil Science and Plant Nutrition*, 62(3), 247-253.
26. Lu, C. & Kang, J. (2008). Generation of transgenic plants of a potential oil seed crop *Camelina sativa* by *Agrobacterium*-mediated transformation. *Plant Cell Reports*, 27, 273-278.
27. Malakouti, M. (1999). *Comprehensive method of diagnosis and the necessity of optimal use of chemical fertilizers*, Tarbiat Modares University Press., pp. 502. (In Farsi)
28. Mohammadi Aria, M., Lakzian, A. & Haqnia, A. (2010). The effect of inoculum containing *Thiobacillus* bacteria and *Aspergillus* fungus on corn growth. *Iranian Journal of Crop Research*. 8(1), 82-89. (In Farsi)
29. Moser, B.R. (2010). Camelina (*Camelina sativa* L.) oil as a biofuels feedstock: Golden opportunity or false hope? *Lipid Technology*, 22, 270-273.
30. Mostafavi, M.J., Nassiri, M.M. & Koocheki, A. (2018). Growth and phenology analysis of sesame (*Sesamum indicum* L.) under biological and chemical nutritional sources. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(1), 34-15. (In Farsi)

31. Mostafavirad, M., Tahmasebi Sarvestani, Z., Secondary Teacher, S.A.M. & Qalavand, A. (2012). Evaluation of some agronomic traits of rapeseed under the influence of different amounts of sulfur. *Iranian Journal of Crop Research*, 10(3), 495-502. (In Farsi)
32. Mousavi, M., Sadeghi Bakhtouri, E.R, B. Pasban Eslam, B., Sameh Andabjadid, S. & Mohammadi, H. (2015). Effects of foliar application of sulfur, nitrogen and phosphorus on yield and yield components of castor oil under water scarcity. *Journal of Crop Ecophysiology*, 34(2), 323-336. (In Farsi)
33. Obour, K.A., Sintim, Y.H., Obeng, E. & Jeliakov, D.V. (2015). Oilseed camelina (*Camelina sativa* L. Crantz): Production systems, prospects and challenges in the USA great plains. *Advances in Plants and Agriculture Research*, 2(2), 1-10.
34. Poonia, K.L. (2000). Effect of planting geometry, nitrogen and sulfur on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Eco-Physiology*, 3(1), 59-71.
35. Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidari, G.H. & Pirzad, A. (2011). Effect of biofertilizers application on some morphological characteristics and yield of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of Horticultural Science*, 25, 235-243. (In Farsi)
36. Rai, M. (2006). Handbook of microbial biofertilizers. CRC Press.
37. Rasool, F.U., Hasan, B., Jahangir, I.A., Ali, T. & Mubarak, T. (2013). Nutritional yield and economic responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to integrated levels of nitrogen, sulphur and farmyard manure. *Journal of Agricultural Sciences*, 8(1), 17-27.
38. Ravi, S., Channal, H.T., Hebsur, N.S., Patil, B.N. & Dharamtti, P.R. (2008). Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 21, 382-385.
39. Righini, D., Zanetti, F., Martinez, E., Mandrioli, M., Toschi, T.G. & Monti, A. (2019). Shifting sowing of camelina from spring to autumn enhances the oil quality for bio-based applications in response to temperature and seed carbon stock. *Industrial Crops and Products*, 137, 66-73.
40. Shinde, D.B., Kadam, R.M. & Jadhav, A.C. (2004). Effects of sulfur oxidizing micro-organisms on growth of soybean. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities*, 29, 305-307.
41. Toncea, I., Necseriu, D., Prisecaru, T., Balint, L.N., Ghilvacs, M.I. & Popa, M. (2013). The seed's and oil composition of camelia—first Romanian cultivar of camelina (*Camelina sativa*, L. Crantz). *Romanian Biotechnological Letters*, 18(5), 8594-8602.
42. Zubr, J. (2003). Qualitative variation of *Camelina sativa* seed from different locations. *Industrial Crops and Products*, 17, 161-169.