نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال چهاردهم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۳/ مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۵۹ تا ۷۴

برهم‌کنش کاربرد توأم گوگرد و نیتروژن بر ویژگی‌های رشد و عملکرد دانه کلزا تحت شرایط دیم

امین نامداری*[۱]، ابوالفضل باغبانی آرانی[۲] و ظهراب اداوی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶)

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات کاربرد گوگرد و نیتروژن بر ویژگی‌های رشد و عملکرد دانه کلزا هایولا ۵۰ رقم پائیزه در کشت دیم با میانگین بارندگی سالیانه ۴۳۱ میلی‌متر، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گچساران طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی (کود گوگرد (S) در سه نوع شامل S_0: عدم مصرف گوگرد؛ S_C: مصرف ۴۰ کیلوگرم گوگرد خالص از سولفات آمونیوم؛ S_B: گوگرد زیستی به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد خالص و کود نیتروژن (N) در سه سطح شامل N_0: عدم مصرف نیتروژن؛ N_{50}: مصرف ۵۰ و N_{100}: مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌صورت کود اوره) بودند. نتایج نشان داد عملکرد و اجزای عملکرد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد کود گوگرد و نیتروژن قرار گرفتند و کاربرد گوگرد چه در نوع شیمیایی و چه زیستی، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و ماده خشک کلزا شد. کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد در هر دو شکل زیستی و شیمیایی و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن با افزایش معنی‌دار وزن خشک هنگام گلدهی و متعاقباً انتقال مجدد ماده خشک همراه بود به گونه‌ای که در شرایط عدم کاربرد گوگرد، مصرف نیتروژن در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ به‌ترتیب موجب افزایش ۱۶ و ۳۳ درصدی انباشت ماده خشک در زمان گلدهی شد. درحالی‌که این نسبت‌ها با کاربرد گوگرد شیمیایی ۱۷ و ۵۰ و با کاربرد گوگرد زیستی، ۲۹ و ۵۲ درصد بودند. همچنین، دو عنصر گوگرد و نیتروژن موجب افزایش اثر یکدیگر در رابطه با انتقال ماده خشک، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دلنه کلزا شدند. اثر گوگرد بر وزن هزار دلنه معنی‌دار نبود ولی با افزایش سطح نیتروژن، وزن هزار دلنه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت به‌طوری‌که در سطح صفر نیتروژن، وزن هزار دانه ۳/۲۷، در سطح ۵۰ کیلوگرم در هکتار، ۳/۳ و در سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، ۳/۳۴ گرم بود. در مجموع با توجه به تأثیر تقریباً یکسان دو نوع گوگرد و با در نظر گرفتن اثرات بلندمدت بر خاک، کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به همراه ۴۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد در نوع زیستی مناسب‌ترین تیمار قابل توصیه، است.

واژه‌های کلیدی: انتقال مجدد، اوره، سولفات آمونیوم،کود زیستی

۱ –استادیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویر احمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران.

۲– دانشیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: namdari@ut.ac.ir

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) مهم‌ترین محصول روغنی از نظر سطح زیرکشت بعد از سویا در جهان برای تولید روغن خوراکی است (۸). از آن‌جایی که بیش از ۹۰ درصد روغن مصرفی در ایران به‌صورت واردات تأمین می‌شود، بنابراین تولید دانه‌های روغنی در سال‌های اخیر در اولویت قرار گرفته است. دانش جامع از اثرات کاربرد توأم نیتروژن و گوگرد به بهبود تولید کلزا کمک می‌کند. کشت دیم، نوعی کشاورزی مخصوص مناطق گرم و خشک است که در آن تنها بارش‌های آسمانی تأمین کننده آب مورد نیاز زراعت است. کاهش رطوبت خاک در اثر کاهش و توزیع نامناسب نزولات جوی از مهم‌ترین عوامل کاهش رشد و نمو کلزا در شرایط دیم به‌شمار می‌رود. مصرف مقادیر بهینه از کودهای نیتروژنه و گوگرد در کشت کلزا به‌ویژه در شرایط محدودیت دسترسی به آب، حائز اهمیت است. حتی در شرایط دیم، بارش به تنهایی کافی نیست و همزمان با کاربرد سطوح کودی، مزرعه کلزا نیاز به آبیاری دارد (۱۸).

یکی از جنبه‌های مهم به‌زراعی، تغذیه متعادل کلزا با مدیریت کارآمد و مصرف بهینه کودها است. مصرف نامتعادل عناصر غذایی در تولید این محصول، می‌تواند با تحت تأثیر قرار دادن سودمندی سایر عناصر، منجر به کاهش کمی و کیفی عملکرد شود (۷). نیتروژن و گوگرد از عناصر ضروری برای رشد گیاه و تولید محصول هستند (۲۹) که در مدیریت تغذیه کلزا از اهمیت خاصی برخوردارند. با توجه به توان بالای کلزا در جذب نیتروژن از خاک، میزان تولید دانه در ازای نیتروژن مصرف شده در این گیاه نسبت به غلات به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای پایین‌تر است (۲۷). لذا حصول عملکرد مطلوب در این گیاه به مصرف سطوح نسبتا بالایی از کودهای نیتروژنه وابسته است (٦).

گوگرد از لحاظ مقدار، چهارمین عنصر عمده مورد نیاز گیاه کلزا است. نیاز کلزا به گوگرد به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از سایر گیاهان زراعی بوده و به‌دلیل افزایش کاربرد کودهای بدون گوگرد، کمبود این عنصر در خاک‌های زراعی تحت کشت این گیاه رو به افزایش است (۱۰). در عین حال از نظر مدیریت تغذیه، گوگرد دومین عنصر محدود کننده عملکرد کلزا پس از نیتروژن است (۲۸). کاربرد نیتروژن در خاک‌هایی با کمبود گوگرد به نوبه خود موجب تشدید کمبود جذب گوگرد توسط کلزا و متعاقباً کاهش کارایی مصرف کود نیتروژنه و افت عملکرد می‌شود (٤)، درحالی‌که با کاربرد توأم نیتروژن و گوگرد در سطوح مناسب، عملکرد به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌یابد (۱۹). این موضوع بیانگر اهمیت ایجاد تعادل در تغذیه کلزا با نیتروژن و گوگرد است. برهم کنش‌های بین گوگرد و نیتروژن در کلزا، جهت رفع محدودیت در تولید کلزا، و تعیین نسبت بهینه‌ای از N/S، حائز اهمیت است (۱۲). تحقیقات نشان دادند هنگامی که کلزا با محدودیت دسترسی به گوگرد مواجه است، افزایش N/S به افت عملکرد می‌انجامد درحالی‌که در صورت دسترسی بهینه به گوگرد، نسبت N/S اثری بر عملکرد کلزا ندارد و امکان مصرف مقادیر بالاتری از نیتروژن و لذا حصول عملکرد بالاتر ایجاد می‌شود (۱۲ و ۱۵).

حداکثر تقاضا برای گوگرد در کلزا طی مراحل گلدهی و دانه‌بندی است، لذا وجود گوگرد به فرم قابل جذب در طی فاصله بین مرحله روزت تا اوایل گلدهی، با افزایش عملکرد همراه است (۱۲). گوگرد معدنی جهت جذب توسط گیاه اول باید به سولفات اکسیده شود. اکسیداسیون گوگرد معدنی توسط میکروارگانیزم‌هایی مانند باکتری تیوباسیلیوس صورت می‌گیرد، لذا هر عاملی که بر فعالیت این میکروارگانیزم‌ها اثرگذار باشد بر سرعت اکسیده شدن گوگرد معدنی و تولید یون سولفات اثر می‌گذارد. در برخی از محیط‌ها ممکن است سرعت اکسیداسیون طبیعی به حدی نباشد که گوگرد قابل جذب را در سال اول استفاده در اختیار گیاه قرار دهد (۲٦). در عین حال این احتمال وجود دارد که در صورت ایجاد شرایط مناسب جهت اکسیداسیون نسبتا سریع و تدریجی گوگرد معدنی از طریق استفاده از فرمولاسیون‌های حاوی بنتونیت (که پس از جذب آب موجب از هم پاشیدگی ذرات گوگرد معدنی می‌شود) و باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد (به‌ویژه تیوباسیلیوس)، گوگرد به تدریج و در طی دوره رشد در اختیار گیاه قرار گرفته و لذا نیاز

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]

کلزا در مراحل حساس رشد به این عنصر تامین شده و در عین حال میزان آبشویی نیز کاهش یابد.

در رابطه با تاثیر مثبت تغذیه نیتروژن بر عملکرد کلزا گزارش‌های متعددی وجود دارد. نوریانی (۲۱) در بررسی واکنش عملکرد دانه و روغن کلزا به سطوح مختلف نیتروژن بیان داشت که بالاترین عملکرد دانه با مصرف مقدار ۲٤۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن حاصل شد. در مطالعه‌ای دیگر محلول‌پاشی نیتروژن در آغاز رشد رویشی و پیش از گلدهی کلزا به غلظت ۱۰ در هزار، با انتقال ماده خشک منجر به افزایش عملکرد دانه شد (۲۲). در مطالعاتی گزارش شد که کاربرد کود نیتروژن باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا شد (۱٦). همچنین برنان و بولند (۵) در بررسی تاثیر کودهای نیتروژنه و پتاسه بر عملکرد کلزا گزارش دادند که در حضور مقدار کافی پتاس، عملکرد کلزا به‌خوبی به کاربرد کود نیتروژنه واکنش می‌دهد و با افزایش میزان مصرف نیتروژن از ۰ به ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار، عملکرد به‌طور مداوم افزایش می‌یابد.

در واکنش کلزا به کودهای گوگرد، مصطفوی راد و همکاران (۱۹) با کاربرد ٤۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد معدنی، افزایش قابل‌توجه در عملکرد دانه و روغن کلزا را مشاهده کردند. در همین راستا، رحیمی و صدرآبادی (۲۳) بیان داشتند که کاربرد مقدار بالاتر (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) گوگرد بنتونیت دار، با افزایش وزن دانه و عملکرد نهایی کلزا همراه است. در مقابل، بشارتی و مطلبی‌فرد (۳) در بررسی سطوح مختلف گوگرد همراه با مایه تلقیح تیوباسیلیوس بر کلزا در تناوب با گندم گزارش دادند که کاربرد گوگرد همراه با مایه تلقیح تیوباسیلیوس تاثیر معنی‌داری بر عملکرد کلزا نداشت. در همین زمینه، مطالعات انجام پذیرفته در کشورهای دیگر، سطوح متفاوتی از گوگرد را به‌عنوان سطوح بهینه مصرف کودهای گوگرد در کشت کلزا برای مصارف روغنی پیشنهاد نمودند. در کانادا، مصرف مقدار ۳۰-۱۵ کیلوگرم در هکتار گوگرد را به‌عنوان سطح بهینه معرفی نموده‌اند (۱۲). در استرالیا در مورد خاک‌هایی با محتوای گوگرد پایین، مصرف ٤۰ کیلوگرم در هکتار و در مورد خاک‌هایی با محتوای بالاتری از گوگرد، مصرف ۲۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد در کشت کلزا پیشنهاد شده است (۱۰). در همین رابطه ما و همکاران (۱۳) در پژوهشی بیان نمودند که مصرف گوگرد با افزایش ۳۱-۳ درصدی عملکرد کلزا همراه بود. با وجود این، در صورت کاربرد گوگرد معدنی، میزان دسترسی ریشه کلزا به سولفات با گذشت زمان افزایش می‌یابد و بدین ترتیب منبعی از گوگرد در طی رشد گیاه در دسترس قرار می‌گیرد (۱۷). گیاهان کاملینای تغذیه شده با نیتروژن رشد اندام هوایی بهتر و عملکرد بالاتر و گیاهان تغذیه شده با گوگرد عملکرد زیستی و شاخص برداشت بیشتری داشتند (۱۱). در تحقیقی دیگر بیشترین عملکرد دانه کنجد، با مصرف ٤۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد گزارش شد (۲٤). با توجه به اهمیت مدیریت مصرف گوگرد و نیتروژن در تولید کلزا، تحقیقاتی در ایران انجام شده و نتایج آن بر عملکرد بسته به محل اجرا، شرایط اقلیمی متغیر بود. عمده این تحقیقات، اثرات ساده هر یک از این دو عنصر را فارغ از اثرات متقابل احتمالی مورد مطالعه قرار دادند، درحالی‌که بررسی منابع حاکی از اثرات متقابل گوگرد و نیتروژن بر متغیرهای گوناگون موثر بر رشد و عملکرد کلزا است.

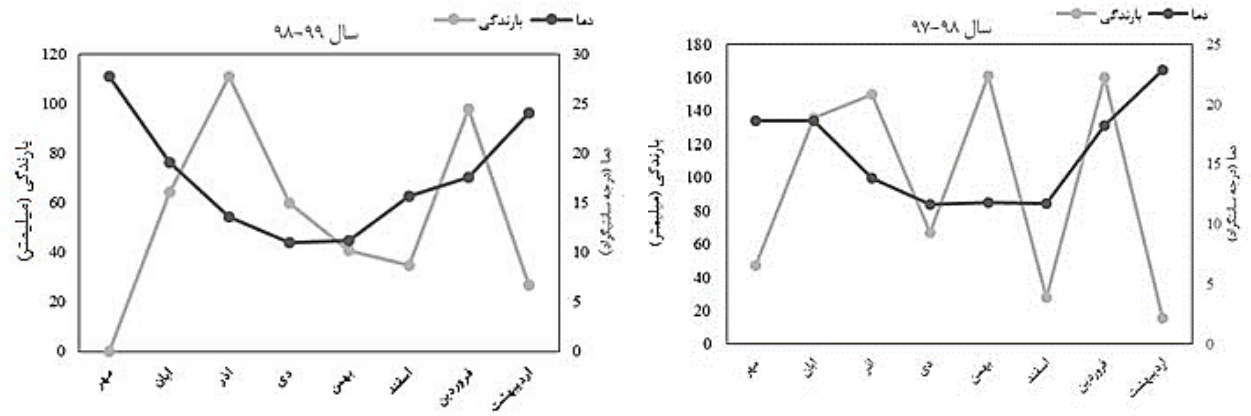
با توجه به وابستگی عملکرد کلزا به گوگرد و همچنین نیتروژن و رواج کم، مصرف کود گوگرد در کشاورزی، در این پژوهش هدف اصلی بررسی برهم‌کنش مصرف کودهای گوگرد و نیتروژن بر بهبود ویژگی‌های رشد و عملکرد دانه کلزای دیم بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات کاربرد گوگرد و نیتروژن بر ویژگی‌های رشد و عملکرد کلزا در کشت دیم پاییزه اقلیم نیمه‌گرمسیری، این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۸-۹۷ و ۹۹-۹۸ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گچساران اجرا شد. این ایستگاه در

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]



شکل ۱. منحنی‌های آمبروترمیک مربوط به سال‌های اجرای آزمایش

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

سال	عمق (cm)	بافت خاک	کربن آلی (٪)	هدایت الکتریکی (dsm^{-1})	اسیدیته	نیتروژن (%)	فسفر قابل جذب ($mgkg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب ($mgkg^{-1}$)
۱۳۹۶-۹۷	۰-۳۰	سیلتی لومی رسی	۰/۶۷	۰/۵	۷/۶	۰/۰۶	۱۵/۵	۲۵۶
۱۳۹۷-۹۸	۰-۳۰	سیلتی لومی رسی	۰/۷۸	۰/۵۳	۷/۵	۰/۰۷	۱۵/۶	۲۶۸

طول جغرافیائی ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیائی ۳۰ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی قرار دارد. ارتفاع از سطح دریا ۷۱۰ متر و متوسط بارندگی ۳۰ ساله و درجه حرارت به‌ترتیب ۳۷۵ میلی‌متر و ۲۳/۷ درجه سانتی‌گراد است. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از: کود حاوی گوگرد (S) در سه فرم شامل S_0: عدم مصرف گوگرد؛ S_C: مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد خالص در فرم سولفات آمونیوم؛ S_B: گوگرد زیستی با فرمولاسیون حاوی بنتونیت و مایه تلقیح باکتری تیوباسیلیوس به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد خالص. تیمارهای نیتروژن در سه سطح نیتروژن (N) (بر مبنای نیتروژن خالص در هکتار) شامل N_0: عدم مصرف کود نیتروژن؛ N_{50}: مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به‌صورت کود اوره؛ N_{100}: مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌صورت کود اوره. بذر رقم هایولا ۵۰ با تیپ رشد بهاره در تناوب گندم در سیستم کم خاک‌ورزی در داخل بقایای گندم کشت شد. وضعیت بارندگی و میانگین دما در سال‌های آزمایش در شکل ۱ نمایش داده شده‌اند. در سال زراعی ۹۸-۹۷، مقدار بارندگی ۷۶۴ میلی‌متر بود که به مقدار قابل‌توجهی بالاتر از میانگین بلندمدت بود. از این مقدار، ۳۳۲ میلی‌متر در پاییز، ۲۵۶ میلی‌متر در زمستان و ۱۷۶ میلی‌متر نیز در بهار اتفاق افتاد؛ لذا عمده بارش در پاییز و به‌ویژه در زمان پیش از کاشت روی داد. در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸، میزان بارندگی ۴۳۵ میلی‌متر و تقریباً معادل با میانگین بلندمدت بود. پراکنش بارندگی در پاییز ۱۷۵، در زمستان ۱۳۵ و در بهار ۱۲۴ میلی‌متر بود.

خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری طی دو سال اجرای آزمایش در جدول ۱ ارایه شده است. لازم به ذکر است با توجه به اینکه سولفات آمونیوم به نوبه خود حاوی ۲۱ درصد نیتروژن است، مقدار نیتروژن موجود در ۴۰ کیلوگرم سولفات آمونیوم (۸/۴ کیلوگرم در هکتار) به تیمارهای فاقد سولفات آمونیوم افزوده شد. مصرف نیتروژن در فرم اوره در سه مرحله شامل پیش از کاشت، در مرحله روزت و در آغاز گلدهی انجام پذیرفت. در مورد گوگرد زیستی کل مقدار مصرفی (۴۰ کیلوگرم گوگرد خالص برابر با ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار از فرمولاسیون مربوطه شامل گوگرد خالص، ماده آلی،

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب اثرات گوگرد و نیتروژن بر شاخص‌های رشد و عملکرد کلزا در شرایط دیم

ضریب تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک گلدهی	عملکرد زیستی	شاخص برداشت	عملکرد دانه	کارایی انتقال ماده خشک	مقدار انتقال ماده خشک	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه
سال (Y)	۱	۳۱۶۵۶۵۰۸**	۱۹۷۹۹۶۰**	٤/۱٦	۲۲٤۳٦۲**	۹۸/٦*	۲۱۹٤۸۳**	۸۰۱**	۱۲**	۰/۱**
تکرار درون سال Y(r)	٤	۳٦۰۸۳۰	۱۱۲۳۵۸	۱۱/۳۷	۷۹۷۳	۲۳/٦	٤۸۰٤	۱۱	٤/۷	۰/۰۰۱٤
گوگرد (S)	۲	٤۲۱۷٦۸۷۰**	۱۵۷۱٤۱۵**	۱۱/٤٦	۲۰۷۰۱۸**	۲۸۲**	۳۲٤۸۱۵**	۱۲۲**	۷/۰٤*	۰/۰۰۰٦
نیتروژن (N)	۲	٤۵۳۹٤۲٦٦**	۵٦۵٦۸۹٤**	۱۰/۱	۵۱۷۱٤۷**	۳۰	۲۵۷٤۲۰**	۳۵۷**	۹/۹۳**	۰/۰۲۵**
S×N	٤	۱۹۹۷۹۷٤**	۱۸٦۲۵٦*	٤/۲	۱۸٤۰٤*	۰/۹٦	۱۱۸۹۲**	۵/۷	۱/۸۳	۰/۰۱۲
Y×S	۲	۲۳۵٤۵۸۰**	۵۰۳۲٤	۱۱/۱٦	۱۱۳٦۵	۳/٦۸	۱٦۹۹۰**	٤/۸	٤/٦۸	۰/۰۰۵
Y×N	۲	۵۹۸٤۷٦*	۵۸۳٦	۲٤/۵*	۳۷۱۵۹**	۱/٦۸	٤٦۱۹	۱۲/۵*	۳/۳۲	۰/۰۲۵
Y×S×N	٤	۱۱۰۹۲۲۷**	۱٦٤۹٤	۱۲/۸	۲۰۸٤۰**	۳/٦۸	٤۹٦٦	۰/٦۲	۳/۱	۰/۰۰۰۷
خطای ۲	۳۲	۱۵۸۰۷٤	٦۱۰۷۱	۵/٤۱	٤۷٤۵	۱۳/۸۱	۲۳٦۱	۳/٤۳	۱/۷۷	۰/۰۰۲

**، *و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار می‌باشند.

بنتونیت و باکتری‌های تیوباسیلیوس) پیش از کاشت با خاک مخلوط شد. در مورد سولفات آمونیوم مصرف در سه مرحله هم‌زمان با کود اوره انجام پذیرفت. تاریخ کاشت در نیمه اول آذرماه و پس از بارش مؤثر انجام پذیرفت. کشت در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع انجام شد. ویژگی‌های عمده زراعی شامل اجزای عملکرد، عملکرد دانه، شاخص برداشت پس از برداشت محصول در نیمه اول اردیبهشت، ثبت شدند. همچنین در طی فصل رشد در فاصله گلدهی و برداشت، مقدار و کارایی انتقال مجدد در واحد سطح نیز اندازه‌گیری شدند. مقدار انتقال مجدد ماده خشک از تفاضل وزن خشک بوته در زمان گلدهی و وزن بوته در زمان برداشت (به جز دانه) حاصل شد (۱٤ و ۲۵). کارایی انتقال ماده خشک نیز از نسبت انتقال مجدد ماده خشک به وزن خشک در زمان گلدهی، به‌دست آمد. با توجه به نتایج آزمون بارتلت و یکنواختی واریانس‌ها، تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد و شکل‌ها به‌وسیله Excel ترسیم شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد (عملکرد دانه، وزن خشک در هنگام گلدهی و عملکرد زیستی نهایی)

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه گوگرد × نیتروژن × سال بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه گوگرد × نیتروژن × سال در جدول ۳ ارایه شده است. بالاترین عملکرد دانه در سال اول و با تیمار عرضه گوگرد زیستی به‌همراه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌دست آمد. در این سال کاربرد گوگرد زیستی در مقایسه با گوگرد شیمیایی به افزایش معنی‌دار

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]

جدول ۳. مقایسه میانگین برهم‌کنش سال × گوگرد × نیتروژن بر وزن خشک و عملکرد دانه کلزا

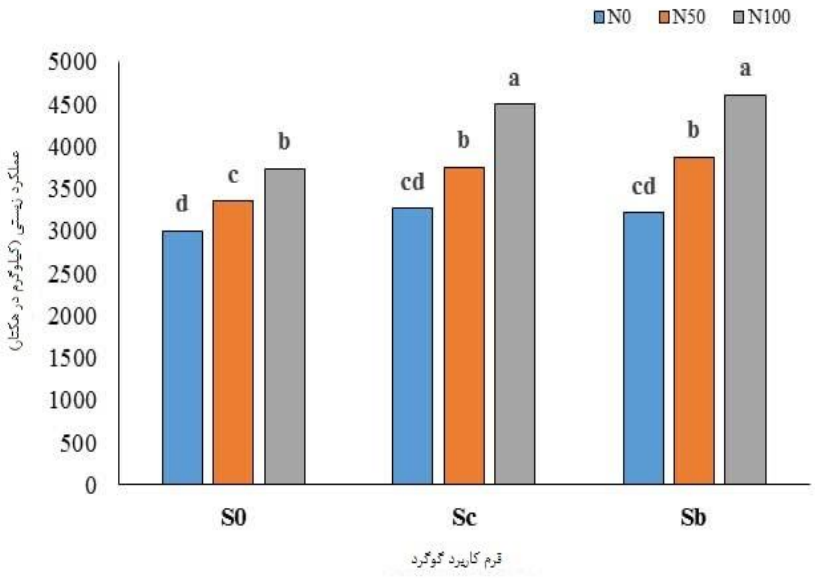
سال	نیتروژن	گوگرد	عملکرد دانه ($Kg\ ha^{-1}$)	وزن خشک در هنگام گلدهی ($Kg\ ha^{-1}$)
۱	N0	S0	۸۴۸ e	۶۰۴۰ ij
۱	N50	S0	۹۶۲ de	۷۱۳۸ g
۱	N100	S0	۱۰۵۳ d	۸۶۰۷ e
۱	N0	Sc	۸۷۹ e	۸۷۶۴ e
۱	N50	Sc	۱۱۴۱ cd	۱۰۰۱۴ d
۱	N100	Sc	۱۳۲۷ b	۱۲۸۵۹ a
۱	N0	Sb	۸۴۰ e	۸۹۱۴ e
۱	N50	Sb	۱۲۲۰ bc	۹۸۱۹ d
۱	N100	Sb	۱۴۶۵ a	۱۱۶۸۴ b
۲	N0	S0	۶۹۴ f	۵۵۹۰ j
۲	N50	S0	۸۳۹ e	۶۴۱۰ hi
۲	N100	S0	۹۶۴ de	۶۹۲۳ gh
۲	N0	Sc	۹۱۳ e	۶۵۵۰ ghi
۲	N50	Sc	۱۰۶۸ d	۷۹۰۳ f
۲	N100	Sc	۱۱۱۸ cd	۱۰۱۶۰ d
۲	N0	Sb	۸۷۸ e	۶۲۸۳ hij
۲	N50	Sb	۹۴۵ de	۹۳۳۰ de
۲	N100	Sb	۱۱۵۴ c	۱۰۹۲۷ c

میانگین در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارد. N_0: عدم مصرف کود نیتروژن؛ N_{50}: مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به‌صورت کود اوره؛ N_{100}: مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن. S_0 : عدم مصرف گوگرد؛ S_C: مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد خالص در فرم سولفات آمونیوم؛ S_B: گوگرد زیستی با فرمولاسیون حاوی بنتونیت و مایه تلقیح باکتری تیوباسیلیوس به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد خالص.

عملکرد تا بیش از ۱۰ درصد منجر شد. در همین سال کاربرد بیشینه مقدار نیتروژن، بدون مصرف گوگرد به افت معنی‌دار و حدود ۲۹ درصدی (۱۰۵۳ کیلوگرم) عملکرد منجر شد. در سال دوم با بارش کم‌تر، عملکرد دانه کاهش معنی‌داری نسبت به سال اول داشت و بالاترین عملکرد نیز از کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به همراه گوگرد زیستی و شیمیایی حاصل شد. در این سال فرم عرضه گوگرد تفاوتی در واکنش عملکرد دانه ایجاد نکرد. به‌طور کلی در هر دو سال، عدم کاربرد کود نیتروژن به افت شدید عملکرد منجر شد به نحوی که کمترین عملکردها صرف نظر از کاربرد یا عدم کاربرد گوگرد، به تیمارهای فاقد نیتروژن مربوط بودند. پایین‌ترین عملکرد دانه مربوط به تیمار عدم کاربرد گوگرد و نیتروژن در سال دوم بود. در این آزمایش، تفاوت بالاترین و کم‌ترین عملکرد در دو سال اجرای آزمایش ۱/۰۷ برابر بود که حاکی از تاثیر اعمال تیمارهای تغذیه‌ای با گوگرد و نیتروژن و همچنین اثر میزان بارش داشت. در سال اول اجرای آزمایش به سبب وقوع بارش‌های سنگین در

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]



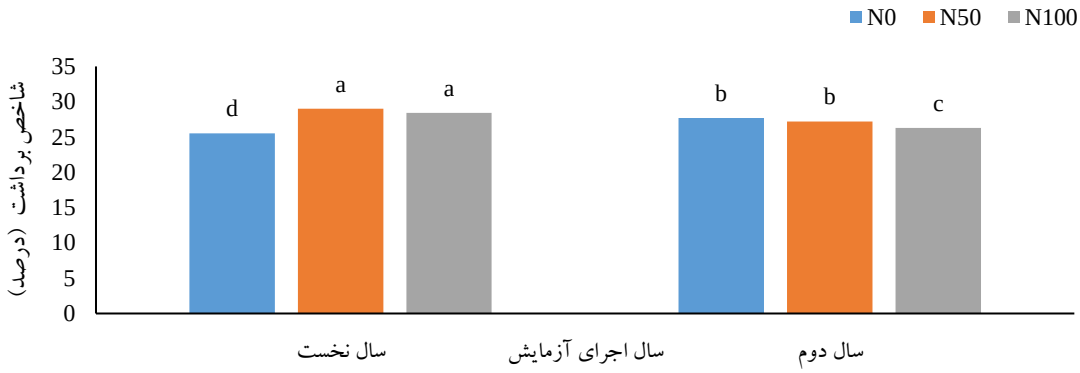
شکل ۲. مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش نیتروژن و فرم عرضه گوگرد بر عملکرد زیستی. N_0: عدم مصرف کود نیتروژن؛ N_{50}: مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به‌صورت کود اوره؛ N_{100}: مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن. S_0: عدم مصرف گوگرد؛ S_C: مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد خالص در فرم سولفات آمونیوم؛ S_B: گوگرد زیستی با فرمولاسیون حاوی بنتونیت و مایه تلقیح باکتری تیوباسیلیوس به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد خالص.

مدت زمان کوتاه، در مواردی با وجود مسطح بودن زمین و به‌دلیل اشباع ظرفیت نفوذپذیری خاک، آب ایستادگی پیرامون بوته‌ها ایجاد شد که با توجه به حساسیت کلزا، موجب کاهش پتانسیل عملکرد شد؛ در غیر این صورت احتمال عملکردهای بالاتر قابل انتظار بود.

وزن خشک در هنگام گلدهی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه گوگرد × نیتروژن × سال بر وزن خشک بوته در هنگام گلدهی معنی‌دار شد (جدول۲). مقایسه میانگین این متغیر در جدول ۳ ارایه شده است. بالاترین وزن خشک در زمان گلدهی در سال اول و با کاربرد گوگرد شیمیایی به‌همراه ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن حاصل شد در سال دوم کاربرد هر دو فرم گوگرد به‌همراه ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن با بالاترین وزن خشک همراه بود. به‌طور کلی با افزایش سطح نیتروژن در کلیه تیمارهای گوگرد، وزن خشک در زمان گلدهی افزایش یافت اما اثر بخشی کود نیتروژن در حضور گوگرد به‌طرز قابل‌توجهی بالاتر بود (جدول ۳). به‌طور میانگین در شرایط عدم کاربرد گوگرد، مصرف نیتروژن در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب موجب افزایش ۱۶ و ۳۳ درصدی انباشت ماده خشک در زمان گلدهی شد درحالی‌که این نسبت‌ها با کاربرد گوگرد شیمیایی ۱۷ و ۵۰ درصد و با کاربرد گوگرد زیستی، ۲۹ و ۵۲ درصد بودند. اهمیت وزن خشک در هنگام گلدهی به سبب فراهم نمودن بخشی از مواد غذایی موردنیاز دانه اعم از کربوهیدرات‌ها و نیتروژن در طی دوران پرشدن دانه به‌ویژه در شرایط تنش است.

عملکرد زیستی نهایی: همان‌گونه که در جدول ۲ نشان داده شده است برهم‌کنش گوگرد و نیتروژن در رابطه با عملکرد زیستی معنی‌دار بود. مصرف نیتروژن موجب افزایش تاثیر کاربرد گوگرد در هر دو فرم زیستی و شیمیایی شد (شکل۲). در شرایط عدم مصرف نیتروژن، کاربرد گوگرد در دو فرم زیستی و شیمیایی تاثیر معنی‌داری بر عملکرد زیستی نداشت درحالی‌که کاربرد نیتروژن در هر دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش تاثیر کود گوگرد شد به نحوی‌که در صورت مصرف نیتروژن، کاربرد گوگرد موجب افزایش معنی‌دار عملکرد زیستی شد. بین دو فرم عرضه گوگرد از این نظر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]
[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]



شکل ۳. مقایسه میانگین برهم‌کنش سال و نیتروژن بر شاخص برداشت (N0: عدم مصرف کود نیتروژن؛ N50: مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به‌صورت کود اوره؛ N100: مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن. حروف مشابه نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و در همه سطح‌های کاربرد نیتروژن، فرم زیستی و شیمیایی گوگرد تاثیر یکسانی بر عملکرد زیستی داشتند.

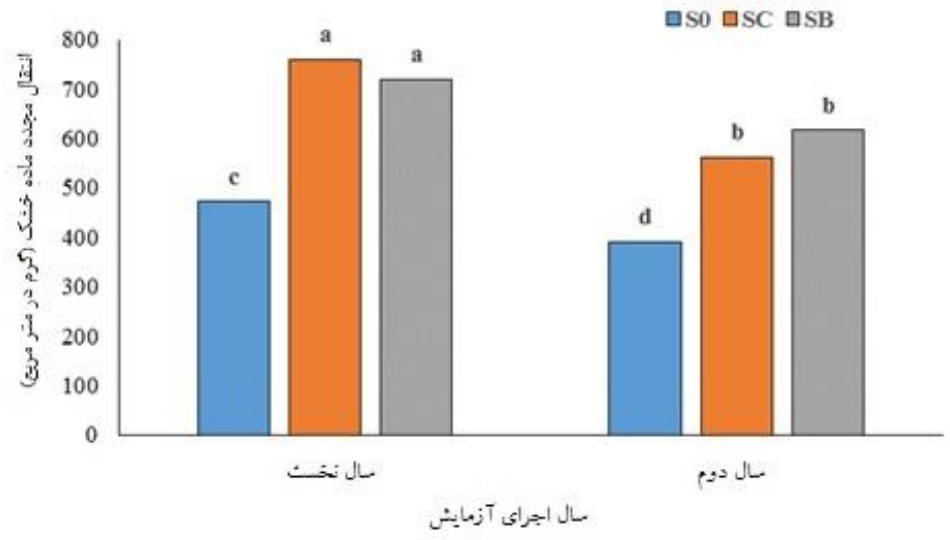
در رابطه با تأثیر مثبت تغذیه نیتروژن بر عملکرد کلزا نوریانی (۲۱) نیز نشان داد که با مصرف بیشتر نیتروژن، بالاترین عملکرد دانه به‌دست آمد. همچنین ربیعی و همکاران (۲۲) گزارش کردند که محلول‌پاشی نیتروژن در آغاز رشد رویشی و پیش از گلدهی کلزا، موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت.

از آنجایی‌که سولفات آمونیوم، گوگرد را در فرم قابل جذب یعنی سولفات به گیاه عرضه می‌کند، در صورت کاربرد این کود، گوگرد سریعاً در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و جذب می‌شود و لذا امکان کاربرد آن در طی دوره رشد گیاه و هم‌زمان با اوج نیاز به گوگرد وجود دارد (۹). از سویی سولفات آمونیوم نسبت به گوگرد معدنی به آبشویی حساس‌تر است و ممکن است از محیط ریشه شسته شده و خارج شود (۱۷). فرم زیستی کود گوگرد جهت تبدیل به یون سولفات و قابل جذب شدن توسط گیاه به رطوبت نیاز دارد. به‌نظر می‌رسد وجود رطوبت کافی در خاک به‌ویژه در سال اول، امکان قابل جذب شدن تدریجی این منبع را فراهم می‌کند که به نوبه خود حساسیت کمتری نیز نسبت به آبشویی در مقایسه با سولفات آمونیوم دارد. بر این اساس برتری نسبی فرم زیستی نسبت به فرم شیمیایی گوگرد در سال اول را می‌توان به این موضوع نسبت داد. علاوه بر این وجود بقایای گندم سال گذشته نیز احتمالاً به نوبه خود به حفظ رطوبت خاک و فعالیت باکتری‌های تیوباسیلیوس کمک نموده است. احمد و همکاران (۱) گزارش کرده‌اند که مصرف سولفات کلسیم به‌صورت تقسیطی در طی دوران رشد کلزا به‌ویژه دوران رشد رویشی با افزایش عملکرد همراه است. دسترسی به مقادیر بالای گوگرد در زمان گلدهی بوته کلزا، مانع از عقیم شدن خورجین‌ها می‌شود و با افزایش تعداد دانه در خورجین و وزن دانه همراه است (۲).

شاخص برداشت: برهم‌کنش سال و نیتروژن بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۲). تاثیر سطوح نیتروژن بر شاخص برداشت بسیار متفاوت بود. به‌طور میانگین، شاخص برداشت در سال اول با بارش بیش‌تر در هر یک از سطوح نیتروژن بالاتر از سطح متناظر در سال دوم بود. در سال اول، با کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت هر چند بین این دو سطح تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در سال دوم به عکس کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن به کاهش شاخص برداشت منجر شد که با توجه به تاثیر این تیمار بر افزایش عملکرد دانه، تاثیرپذیری رشد رویشی از نیتروژن در این سال بیشتر از رشد زایشی بود (شکل ۳). در شرایط دیم، بارندگی برای رشد و تولید کلزا کافی نبوده

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]

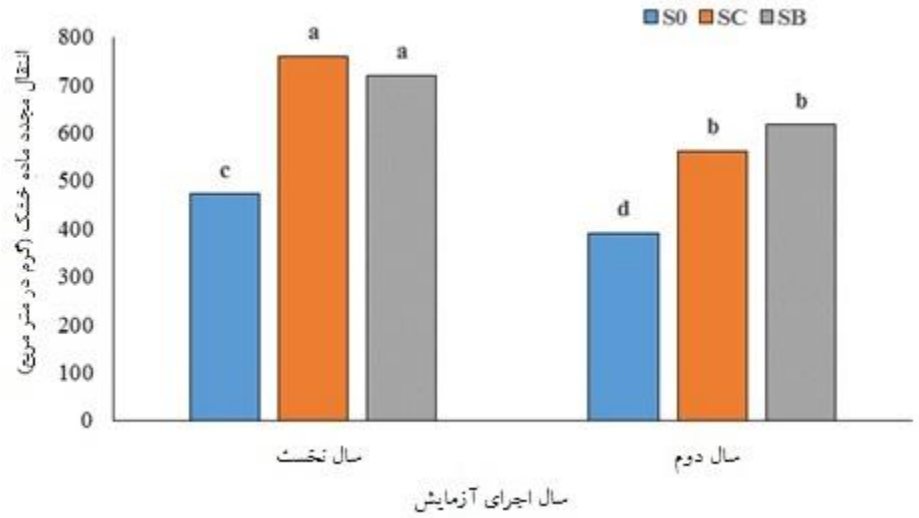


شکل ٤. مقایسه میانگین برهم‌کنش نیتروژن و گوگرد بر مقدار انتقال مجدد ماده خشک پس از گلدهی (N_0: عدم مصرف کود نیتروژن؛ N_{50}: مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به‌صورت کود اوره؛ N_{100}: مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن؛ S_0: عدم مصرف گوگرد؛ S_C: مصرف ٤٠ کیلوگرم در هکتار گوگرد خالص در فرم سولفات آمونیوم؛ S_B: گوگرد زیستی با فرمولاسیون حاوی بنتونیت و مایه تلقیح باکتری تیوباسیلیوس به مقدار ٤٠ کیلوگرم در هکتار گوگرد خالص. حروف مشابه نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

و نیاز به آبیاری همزمان با مصرف کود در مراحل ساقه رفتن و گلدهی بود. به‌طوری‌که با فراهم نمودن شرایط رطوبتی اثرات تنش کم‌آبی را تقلیل و شاخص برداشت را بهبود بخشید (۱۸). در گیاه کاملینا با مصرف ۱۲۰ گیلوگرم نیتروژن نسبت به بدون مصرف نیتروژن، عملکرد دانه ٦١ درصد افزایش یافت و در پاسخ به گوگرد با مصرف ۳۰ گیلوگرم گوگرد نسبت به شاهد عملکرد دانه ۵ درصد و عملکرد زیستی و شاخص برداشت به‌ترتیب ۳٦ تا ٤٨ درصد افزایش نشان دادند (۱۱).

مقدار انتقال ماده خشک: برهم‌کنش‌های بین گوگرد × نیتروژن و همچنین سال × گوگرد معنی‌دار بودند (جدول ۲). بررسی برهم‌کنش نیتروژن و گوگرد نشان داد که کاربرد هر یک از دو عنصر یاد شده به‌طور قابل‌توجهی اثربخشی عنصر دیگر را بهبود می‌بخشد. در شرایط عدم مصرف نیتروژن نیز کاربرد گوگرد با افزایش معنی‌دار مقدار انتقال مجدد همراه بود و گوگرد زیستی در مقایسه با گوگرد شیمیایی اثربخشی بیشتری را نشان داد. با افزایش سطح نیتروژن به ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اثربخشی گوگرد در هر دو فرم زیستی و شیمیایی نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و در این سطوح تفاوتی بین دو فرم عرضه گوگرد وجود نداشت. همچنین اثر بخشی نیتروژن نیز به‌طور معنی‌داری با کاربرد هر یک از دو فرم گوگرد افزایش یافت به‌نحوی‌که در شرایط عدم مصرف گوگرد، سطوح ۵۰ و ۱۰۰ نیتروژن، تفاوت معنی‌داری نداشتند درحالی‌که با کاربرد گوگرد به‌ویژه در فرم زیستی، تفاوت سطوح مصرف نیتروژن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ٤). ربیعی و همکاران (۲۲) نشان دادند که محلول‌پاشی نیتروژن در آغاز رشد رویشی و پیش از گلدهی کلزا، سبب افزایش انتقال ماده خشک و بهبود عملکرد دانه شد. در هر دو سال اجرای آزمایش کاربرد گوگرد در هر دو فرم زیستی و شیمیایی به افزایش معنی‌دار مقدار انتقال ماده خشک منجر شد و تفاوت معنی‌داری بین دو فرم زیستی و شیمیایی وجود نداشت (شکل ۵). با توجه به بارش بیش‌تر در سال اول و نیز وزن خشک بالاتر در زمان گلدهی، مقدار انتقال

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]
[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]



شکل ۵. مقایسه میانگین برهم کنش سال و گوگرد بر مقدار انتقال مجدد ماده خشک پس از گلدهی (S_0: عدم مصرف گوگرد؛ S_C: مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد خالص در فرم سولفات آمونیوم؛ S_B: گوگرد زیستی با فرمولاسیون حاوی بنتونیت و مایه تلقیح باکتری تیوباسیلیوس به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد خالص. حروف مشابه نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

ماده خشک در این سال و در کلیه تیمارهای گوگرد، به‌طور معنی‌داری بالاتر از تیمار متناظر در سال دوم بود (شکل ۵).

محتشمی و همکاران (۱۸) گزارش کردند نسبت به شرایط دیم هر سطحی از آبیاری تکمیلی به‌طور معنی‌داری ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و دانه کلزا را افزایش داد.

کارایی انتقال ماده خشک: اثر ساده گوگرد بر کارایی انتقال ماده خشک معنی‌دار بود (جدول ۲). کارایی انتقال ماده خشک در سال اول (با بارش بیشتر)، بیش از ۳ درصد بالاتر از سال دوم بود که نشان‌دهنده تاثیر مقدار بارش بر افزایش کارایی بهره‌برداری از ذخایر اندام‌های رویشی بود. عرضه گوگرد تاثیر معنی‌داری بر کارایی انتقال ماده خشک داشت. مصرف گوگرد در هر دو فرم زیستی و شیمیایی موجب افزایش معنی‌دار (بیش از ۷ درصدی) کارایی انتقال ماده خشک به اندام زایشی شد و البته بین دو فرم عرضه گوگرد تفاوت معنی‌داری از این نظر وجود نداشت. نیتروژن تاثیر معنی‌داری بر کارایی انتقال ماده خشک نداشت (جدول ٤).

به نظر می‌رسد تفاوت دیده شده در زمینه مقدار انتقال ماده خشک، تا حد زیادی به توانایی بوته در انباشت ماده خشک تا هنگام گلدهی وابسته است. البته شرایط اقلیمی و تغذیه‌ای در دوران پرشدن دانه و نیز سازو کارهای درگیر در انتقال ماده خشک نیز در این زمینه اثر عمده‌ای دارند. هنگامی که از انتقال ماده خشک بحث می‌شود در واقع شامل ترکیبات ذخیره شده به‌ویژه کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها در اندام‌های رویشی کلزا می‌شود. انتقال مجدد نیتروژن از برگ، ساقه و پوسته خورجین کلزا به دانه‌ها در طی دوران پرشدن، نقش مهمی در تعیین میزان عملکرد نهایی دارد. جذب و تجمع نیتروژن در بافت‌های رویشی و به‌ویژه برگ‌های کلزا در مرحله روزت و پیش از گلدهی نقش کلیدی در تعیین پتانسیل عملکرد دارد. در همین زمینه نوکوئت و همکاران (۲۱) مشاهده کردند که با حذف ۵۰ درصد از برگ‌های کلزا در مرحله روزت، عملکرد تا بیش از ۳۰ درصد تحت تاثیر کاهش قابل‌توجه در میزان انتقال مجدد نیتروژن، کاهش می‌یابد. در رابطه با تأثیر انتقال مجدد کربوهیدرات‌های محلول بر عملکرد دانه کلزا، تحقیقات محدودی انجام پذیرفته است. زنگ و فلوتمن (۳۲)

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]

جدول ٤ . مقایسه میانگین اثرات ساده نیتروژن و گوگرد بر ویژگی‌های زراعی کلزا

گوگرد	کارایی انتقال ماده خشک	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین در بوته	وزن هزار دانه
S0	٦٣ b	١٥/٧ b	٣٤ b	–
SC	٧٠ a	١٧ a	٣٨/٣ a	–
SB	٧٠ a	١٦/٥ ab	٣٩/٣ a	–
N0	-	١٥/٣ b	–	٣/٢٦ c
N50	-	١٦/٩ a	–	٣/٣ b
N100	-	١٦/٧ a	–	٣/٤ a

میانگین در هر ستون با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ٥ درصد ندارند.

گزارش دادند که میزان انتقال مجدد کربوهیدرات‌های محلول از بافت‌های رویشی و پوسته خورجین ارتباط نزدیکی با عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مختلف کلزا دارد و می‌توان از این مشخصه به‌عنوان یک هدف به‌نژادی تحت شرایط تنش خشکی بهره جست.

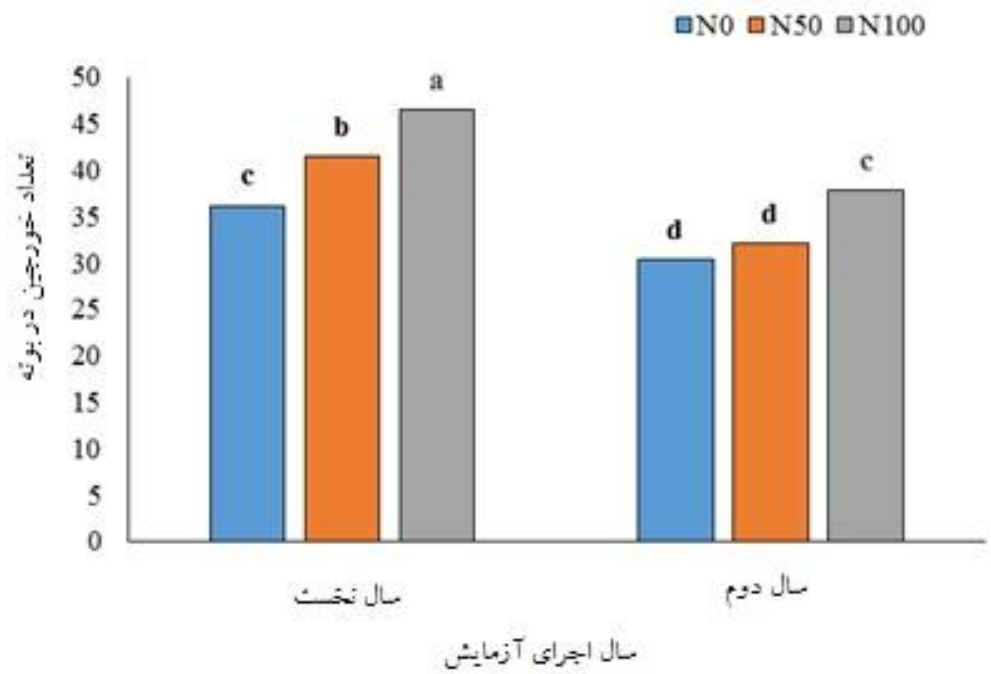
وزن هزار دانه: وزن هزار دانه از کاربرد گوگرد اثر نپذیرفت؛ اما اثر نیتروژن بر آن معنی‌دار بود (جدول ٢). با افزایش سطح نیتروژن، وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت به‌طوری‌که در سطح صفر نیتروژن، وزن هزار دانه ٣/٢٧، در سطح ٥٠ کیلوگرم در هکتار، ٣/٣ و در سطح ١٠٠ کیلوگرم در هکتار، ٣/٣٤ گرم بود (جدول ٤).

تعداد خورجین در بوته: اثر ساده گوگرد بر تعداد خورجین در بوته معنی‌دار بود. کاربرد گوگرد در هر دو فرم زیستی و شیمیایی موجب افزایش معنی‌دار تعداد خورجین در بوته شد. عرضه گوگرد زیستی در مقایسه با گوگرد شیمیایی با افزایش بیشتر تعداد خورجین در بوته همراه بود؛ اما این تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ٤). همانگونه که در جدول مشاهده می‌شود، برهم‌کنش نیتروژن و سال در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. در سال اول به‌طور کلی تعداد خورجین در بوته به‌طور معنی‌داری در مقایسه با سال دوم بیشتر بود که با توجه به بارش بیشتر در طی فصل رشد قابل انتظار بود. در سال اول با افزایش کاربرد نیتروژن، تعداد خورجین در بوته نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت در سال دوم بین سطوح صفر و ٥٠ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، از این نظر تفاوت معنی‌داری دیده نشد اما افزایش سطح نیتروژن به ١٠٠ کیلوگرم با افزایش معنی‌دار تعداد خورجین در بوته همراه بود (شکل ٦). یونگ- گو و همکاران (٣١) نیز بیان داشتند که بین اجزای عملکرد، تعداد خورجین در بوته بیشترین تأثیر را بر عملکرد داشت.

تعداد دلنه در خورجین: در رابطه با تعداد دلنه در خورجین، فقط اثرات ساده گوگرد و نیتروژن، معنی‌دار بودند (جدول ٢). کاربرد نیتروژن با افزایش معنی‌دار تعداد دانه در خورجین همراه بود در عین‌حال افزایش سطح نیتروژن از ٥٠ به ١٠٠ کیلوگرم در هکتار تاثیر معنی‌داری برجای نگذاشت. کاربرد گوگرد نیز با افزایش تعداد دلنه در خورجین همراه بود، در این زمینه مقایسه میانگین‌های مربوطه در جدول ٤ ارایه شده‌اند. تاثیر تیمارهای گوگرد و نیتروژن بر افزایش عملکرد عمدتاً به‌واسطه اثر بر تعداد خورجین در بوته بودر همین زمینه گزارش شده است که تأثیر نیتروژن در افزایش عملکرد کلزا عمدتاً متأثر از افزایش تعداد خورجین‌ها در بوته و تعداد دانه در خورجین است (٣١).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]



شکل ٦. مقایسه میانگین برهم کنش سال و نیتروژن بر تعداد خورجین در بوته (N_0: عدم مصرف کود نیتروژن؛ N_{50}: مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به‌صورت کود اوره؛ N_{100}: مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن. حروف مشابه نشانگر عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مشخص شد مصرف کود نیتروژن به‌ویژه در سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در حضور ٤٠ کیلوگرم در هکتار گوگرد خالص در فرم زیستی یا شیمیایی، تأثیر قابل‌توجهی در بهبود رشد و عملکرد دانه داشت. در عین حال کاربرد مقدارهای بالاتر از ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (تقریباً ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره) با توجه به دیم بودن کشت و عدم امکان آبیاری تکمیلی با ریسک زیادی همراه است. لذا کاربرد مقدارهای بالاتر نیتروژن بدون فراهم نمودن زمینه آبیاری تکمیلی قابل توصیه نیست. با توجه به واکنش قلیایی خاک منطقه و نیاز ویژه کلزا به عرضه گوگرد، کاربرد گوگرد در هر دو فرم اثر مثبتی بر رشد گیاه داشته و اثربخشی نیتروژن را نیز افزایش داد. مزیت بیوگوگرد نسبت به سولفات آمونیوم برای کشت دیم، افزون بر بهبود تعادل میکروبی و شیمیایی خاک، مصرف در یک مرحله و اکسیداسیون تدریجی در هماهنگی با رطوبت خاک است. براین اساس مقدار آبشویی کاهش می‌یابد و فراهمی گوگرد در مراحل حساس رشد گیاه بهتر تأمین می‌شود. همچنین در صورت عدم بارش مناسب طی فصل رشد این منبع عملاً اکسید نشده و موجب تحریک رشد رویشی گیاه هم نمی‌شود و در فصول زراعی آتی با فراهم شدن رطوبت، تا حدی قابل استفاده خواهد بود. باتوجه به اینکه در عمده موارد مصرف بیوگوگرد و سولفات آمونیوم از لحاظ تأثیر بر شاخص‌های رشد و عملکرد تأثیر یکسانی داشته‌اند و حتی در برخی موارد فرم زیستی برتری نسبی نشان داد، به‌طور کلی فرم بیوگوگرد به‌عنوان منبع گوگرد قابل پیشنهاد می‌باشد. اثر کاربرد گوگرد به‌ویژه بیوگوگرد به فراهمی نیتروژن کافی در خاک وابسته است و لذا کاربرد نیتروژن در بیشینه مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پیشنهاد می‌شود.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]

منابع

1. Ahmad, G. A., N. Janarif and R. A. Khattak. 2007. Influence of nitrogen and sulfur fertilization on quality of canola under rainfed conditions. *Journal of Plant Science* 34(11): 117-122.
2. Amanullah, M. H. and S. S. Malhi. 2011. Seed yield and yield components response of rape (*Brassica*. *napus*) versus mustard (*Brassica. juncea*) to sulfur and potassium fertilizer application in Northwest Pakistan. *Journal of Plant Nutrition* 34(8): 1164-1174.
3. Besharti, H. and R. Matlabifard. 2016. 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* 29(6): 1688-1698. (In Farsi).
4. Brennan, R. F. and M. D. A. Bolland. 2007. Influence of potassium and nitrogen fertiliser on yield, oil and protein concentration of canola (*Brassica napus* L.) grain harvested in south-western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 47(8): 976-983.
5. Brennan, R. F. and M. D. A. Bolland. 2008. Significant nitrogen by sulfur interactions occurred for canola grain production and oil concentration in grain on sandy soils in the Mediterranean-type climate of southwestern Australia. *Journal of Plant Nutrition* 31(7): 1174-1187.
6. Bouchet, A., A. Laperche, C. Bissuel-Belaygue, R. Snowdon, N. Nesi and A. Stahl. 2016. Nitrogen use efficiency in rapeseed. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 36: 38.
7. Esmaeil, Y. and A. M. Patwardhan. 2006. Physiological analysis of the growth and development of canola (*Brassica nupus* L.) under different chemical fertilizer application. *Asian Journal of Plant Science* 5(5): 745-752.
8. Faostat, F. A. O. 2021. Statistical Databases. Available online at https://www.fao.org/faostat/en/. Accessed 25 April 2022.
9. Grant, C. A., A. M. Johnston and G. W. Clayton. 2003. Sulphur fertilizer and tillage effects on early season sulphur availability and N: S ratio in canola in western Canada. *Canadian Journal of Soil Science* 83(4): 451-463.
10. Haneklaus, S., E. Bloem and E. Schnug. 2008. Sulfur: A Missing Link between Soils, Crops, and Nutrition. Published by American Society of Agronomy, Madison.
11. Jankowski, K. J., M. Sokolski and B. Kordan. 2019. Camelina: Yield and quality response to nitrogen and sulfur fertilization in Poland. *Industrial Crops and Products* 141: 111776.
12. Karamanos, R. E., T. B. Goh and D. N. Flaten. 2007. Nitrogen and sulphur fertilizer management for growing canola on sulphur sufficient soils. *Canadian Journal of Plant Science* 87(2): 201-210.
13. Ma, B. L., D. Biswas, A. W. Herath, J. K. Whalen, S. Q. Ruan, C. Caldwell, H. Earl, A. Vanasse, P. Scott and D. L. Smith. 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.
14. Majdam, M., A. Naderi, G. H. Noor Mohammadi, S. A. Siadat and A. Ayenehband. 2009. Effect of water deficit stress and nitrogen management on grain yield, dry matter remobilization and transient photosynthesis of grain corn under Khoozestan climate conditions. *Crop Physiology* 1: 137-144. (In Farsi).
15. Malhi, S. S. and K. S. Gill. 2002. Effectiveness of sulphate–S fertilization at different growth stages for yield, seed quality and S uptake of canola. *Canadian Journal of Plant Science* 82(4): 665-674.
16. Malhi, S. S. and K. S. Gill. 2007. Interactive effects of N and S fertilizers on canola yield and seed quality on S-deficient Gray Luvisol soils in northeastern Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science* 87(2): 211-222.
17. Malhi, S. S., J. J. Schoenau and C. L. Vera. 2009. Influence of six successive annual applications of sulphur fertilizers on wheat in a wheat-canola rotation on a Sulphur-deficient soil. *Canadian Journal of Plant Science* 89(4): 629-644.
18. Mohtashami, R., M. Movahhedi Dehnavi, H. R. Balouchi and H. Faraji. 2020. Improving yield, oil content and water productivity of dryland canola by supplementary irrigation and selenium spraying. *Agricultural Water Management* 232: 106046.
19. Mustafawirad, M., Z. Tahmasebi, A. M. Modaress Sanavi and A. Qalavand. 2012. Evaluation of some rapeseed agronomic traits under the influence of application of different amounts of sulfur. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10(3): 495-502. (In Farsi).
20. Noquet, C., J. C. Avice, L. Rossato, P. Beauclair, M. P. Henry and A. Ourry. 2004. Effects of altered source–sink relationships on N allocation and vegetative storage protein accumulation in *Brassica napus* L. *Plant Science* 166(4): 1007-1018.
21. Nouriani, H. 2015. Investigation of the effect of different levels of nitrogen on yield, yield components and some quality characteristics of two rapeseed cultivars. *Journal of Crop Production and Processing* 16: 233-240. (In Farsi).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]

22. Rabiee, M., P. Tusi and M. Isfahani. 2015. Effect of concentration and time of foliar application of nitrogen fertilizer as a supplement to soil nutrition on dry matter remobilization and grain and canola oil yield. *Journal of crop Production and Processing* 11: 53-65. (In Farsi).
23. Rahimi, B. and R. Sadrabadi. 2013. Investigation of the effect of different levels of bentonite sulfur on yield and yield of rapeseed. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10(4): 789-795 (In Farsi).
24. Raza, M. A., L. Y. Feng, N. Iqbal, A. Manaf, M. H. B. Khalid, S. Rehman, A. Wasaya, M. Ansar, M. Billah, F. Yang and W. Yang. 2018. Effect of sulphur application on photosynthesis and biomass accumulation of sesame varieties under rainfed conditions. *Agronomy* 8(149): 1-16.
25. Reynolds, M. P., R. P. Singh, A. Ibrahim, O. A. Ageeb, A. Larquesaavedra and J. S. Quick. 1998. Evaluating physiological traits to complement empirical selection for wheat in warm environments. *Euphytica Netherlands Journal of Plant Breeding* 100: 85-94.
26. Solberg, E. D., S. S. Malhi, M. Nyborg, B. Henriquez and K. S. Gill. 2007. Crop response to elemental S and Sulfate-S sources on S-deficient soils in the parkland region of Alberta and Saskatchewan. *Journal of Plant Nutrition* 30(2): 321-333.
27. Sylvester-Bradley, R. and D. R. Kindred. 2009. Analyzing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. *Journal of Experimental Botany* 60(7): 1939-1951.
28. Wysocki, D. J., D. A. Horneck and L. K. Lutcher. 2007. Irrigated and dryland canola. Nutrient management guide. https://extension.oregonstate.edu/sites/default/files/documents/em8943.pdf. Accessed 25 April 2021.
29. Yang, Y., X. NI, Z. Zhou, L. Yu, B. Liu, Y. Yang and Y. Wu. 2017. Performance of matrix-based slow-release urea in reducing nitrogen loss and improving maize yields and profits. *Field Crops Research* 212: 73-81.
30. Yong-guo, Z. H. A. O., C. H. E. Yong, L. U. Guang-yuan, X. U. Jin-song, F. U. Gui-ping, Z. O. Xi-ling, L. U. Qing-yun and Z. H. Xue-kun. 2015. Characteristics and variation of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under high density. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences* 37(3): 285.
31. Zhang, H. and S. Flottmann. 2016. Genotypic variation in the accumulation of water-soluble carbohydrate in canola and its potential contribution to seed yield in different environments. *Field Crops Research* 196: 124-133.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 14, No. 4, Winter 2025, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Interaction of Combined Application of the Sulfur and Nitrogen on the Growth Characteristics and Yield of Rapeseed Under Rainfed Conditions

A. Namdari [1*], A. Baghbani -Arani [2] and Z. Adavi [2]

1. Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agriculture Science, Payame Noor University, Tehran, Iran.

[*]Corresponding author's e-mail address: namdari@ut.ac.ir

(Received: January 28-2024; Accepted: August 27-2024)

Extended Abstract

Introduction

Sulfur (S) is the fourth most required element for rapeseed growth and production. The need for S in rapeseed is significantly higher than that of other crops, and due to the increased use of S-free fertilizers, the deficiency of this element in agricultural soils under cultivation of this species is aggravating. The application of nitrogen (N) in soils deficient in S exacerbates the deficiency of S absorption by rapeseed and subsequently reduces the efficiency of N fertilizer used. Conversely, with the combined application of N and S at appropriate levels, grain yield of different crops, particularly rapeseed, can be significantly increased. This highlights the importance of a balanced application of N- and S-containing fertilizers in rapeseed production. The aim of this study was to shed light on the interaction of S and N supply in rapeseed growth and productivity.

Materials and Methods

In order to investigate the effects of S and N application on growth characteristics and grain yield of rapeseed (Hayola 50 cultivar) under rainfed conditions, this experiment was conducted as a factorial based on a randomized complete block design with three replications at Gachsaran Agricultural Research Station during the two cropping seasons: 2019-2020 and 2020-2021. Experimental treatments consisted of: 1- S fertilizer (S) in three forms including S_0: no sulfur consumption, SC: consumption of 40 kg of pure sulfur in the form of ammonium sulfate SB: bio sulfur at the rate of 40 kg ha^{-1} of pure sulfur, and 2- nitrogen fertilizer (N) at three levels: N_0: no nitrogen application, N_{50}: 50 Kg ha^{-1} pure nitrogen (in urea form) and $N1_{00}$: 100 kg ha^{-1} nitrogen. The seeds were planted in a wheat-rapeseed rotation within a conservation tillage system. In the cropping season 2018-2019, the amount of rainfall was 764 mm, which was significantly higher than the long-term average. Of this amount, 332 mm occurred in autumn, 256 mm in winter, and 176 mm in spring; thus, most of the precipitation occurred in autumn, i.e. prior to planting. In the cropping season 2020-2021, the amount of rainfall was 435 mm, which was

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]

approximately equal to the long-term average. The distribution of rainfall was 175 mm in autumn, 135 mm in winter, and 124 mm in spring.

Results and Discussion

Results showed that the application of S in both chemical and biological forms caused a significant increase in grain and dry matter yield. Yield components, thousand kernel weight, pods/plant and grains/pod were significantly affected by S and N application. The application of S and N was associated with a significant increase in dry weight at flowering and subsequent remobilization of dry matter. In fact, in the conditions of no application of S, application of N at the levels of 50 and 100 caused an increase of 16 and 33% in the accumulation of dry matter at the time of flowering, respectively. Meanwhile these increases were 17 and 50% with the use of chemical S and 29 and 52% with the use of biological S, respectively. Also, the S and N fertilizers indicated synergistic effects in relation to their effects on dry matter accumulation, grains/pod and grain yield. The effect of S on the one thousand grain weight was not significant. Meanwhile, with increase of N fertilizer level, this yield component increased significantly, as the one thousand grain weights were 3.27, 3.30, and 3.34 g in the presence of 0, 50, and 150 kg ha^{-1} N, respectively.

Conclusions

In general, application of 100 kg ha^{-1} of N along with 40 kg ha^{-1} of S in the biological form was the most appropriate treatment. The use of S in both forms had a positive effect on plant growth and also increased N effectiveness. The advantage of bio-sulfur over ammonium sulfate for rainfed cultivation, in addition to improving the microbial and chemical balance of the soil, is its application in one step and gradual availability to the rapeseed plants. Given the slow release of S, the amount of leaching is reduced and the availability of bio-sulfur is better ensured at sensitive stages of plant growth.

Keywords: *Ammonium sulfate, Bio-fertilizer, Dry matter remobilization, Urea.*

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-04-03]

[DOI: 10.47176/jcpp.14.4.29352]