

اثر گوگرد و نیتروژن بر ویژگی ریشه و شاخساره کاملینا (*Camelina sativa* L.)

اردشیر طاهری نژاد^۱، محمد اقبال قبادی^{۲*} و دانیال کهریزی^۳

۱ و ۲) گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

۳) گروه بیوتکنولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

نویسنده مسئول: e.ghobadi@razi.ac.ir

این مقاله برگرفته از رساله دکتری می باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۳

چکیده

کاملینا (*Camelina sativa* L.) گیاهی با دانه های روغنی مناسب برای کشت دیم می باشد. در شرایط دیم، میزان مصرف مناسب کودهای نیتروژن و گوگرد، نقش مهمی در رشد ریشه و اندام هوایی دارند. بر این اساس، آزمایشی به منظور بررسی اثر کودهای گوگرد و نیتروژن بر رشد ریشه و اندام هوایی کاملینا رقم سهیل اجرا گردید. فاکتورها شامل سطوح گوگرد (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و سطوح نیتروژن (۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. با افزایش گوگرد مقادیر صفات حجم و طول ریشه و تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین افزایش یافت اما بین ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم گوگرد اختلاف معنی دار نبود. بیشترین مقدار صفات حجم ریشه، ارتفاع ریشه، وزن خشک ریشه (۲/۸ گرم در بوته)، ضریب آلومتری، ماده خشک اندام هوایی، عملکرد دانه (۲/۲۲ گرم در بوته)، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و کارایی مصرف آب (۱/۸۲ گرم بر کیلوگرم) در مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بدست آمد. برهمکنش بین تیمارها بر صفات سطح برگ، سطح ریشه و ارتفاع بوته معنی دار بودند. بیشترین مقدار این صفات در تیمارهای گوگرد و نیتروژن به ترتیب ۱۵۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب ۶۶/۶ سانتی متر مربع در بوته، ۲۶/۵ سانتی متر مربع در بوته و ۷۴/۶ سانتی متر بودند. بطور کلی، نتایج نشان داد که در شرایط دیم با افزایش میزان کود نیتروژن رشد ریشه، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در کاملینا افزایش، اما کود گوگرد اثر معنی داری نداشت.

واژه های کلیدی: وزن خشک ریشه، ضریب آلومتری، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب.

مقدمه

گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.) از خانواده براسیکاسه و بومی مناطق مدیترانه‌ای آسیا و اروپا هست. این گیاه یکساله با تیپ رشدی زمستانه و بهاره و ارتفاع آن بین ۳۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر و وزن هزاردانه آن از ۰/۸ تا ۲ گرم متغیر است. بذور این گیاه ۳۰ تا ۴۸ درصد روغن با امگا ۳ بالا و ۳۳ تا ۴۷ درصد پروتئین دارند. (Neupane et al., 2022; Ghidoli et al., 2023; Ali et al., 2022). کاملینا گیاهی با دوره رشد ۹۰ تا ۲۵۰ روزه است (Angelini et al., 2020). به شرایط تنش خشکی به خوبی پاسخ می‌دهد و ممکن است نسبت به سایر گیاهان روغنی برای مناطق کم باران مناسب‌تر باشد. این گیاه در دمای کم جوانه می‌زند و گیاهچه‌ها در برابر سرما بسیار مقاوم هستند (Berti et al., 2016; Dai et al., 2018). در مناطق دیم مصرف مناسب کودهای نیتروژن و گوگرد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کاملینا یک محصول کم نهاده در نظر گرفته می‌شود (Gesch et al., 2017). شواهد نشان می‌دهد که این گیاه به مصرف گوگرد و نیتروژن پاسخ می‌دهد و بازده در مطالعه‌های غیر کوددهی پایین بوده است (Ott et al., 2019). نیتروژن و گوگرد به ترتیب حدوداً ۱/۵ و ۰/۱ درصد ماده خشک گیاهان را تشکیل می‌دهند. نیتروژن جزء اصلی اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، کلروفیل، نوکلئوتیدها، کوآنزیم‌ها و ... بوده و کمبود آن در گیاه سرعت از رشد گیاه جلوگیری می‌کند (Etienne et al., 2015; Krapp, 2018). گوگرد نیز جزء اصلی اسید آمینه‌های خاص مثل سیستئین، سیستین و متیونین و جزء اصلی اسید لیپوئیک، کوآنزیم A و ... است (Narayan et al., 2023). بیشترین جذب عناصر ضروری ماکرو مثل فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم و همچنین میکرو مثل آهن، منگنز، بُر، مس و روی در اسیددیده پایین‌تر از خنثی و در محدوده اسیددیده ۵-۶ صورت می‌گیرد. لذا، مصرف گوگرد با پایین آوردن اسیددیده خاک باعث افزایش جذب این عناصر نیز می‌گردد (Shah et al., 2022; Phogat et al., 2021). همچنین، کمبود گوگرد باعث کاهش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی، کاهش رشد ریشه و اندام هوایی و در نهایت عملکرد گیاه می‌شود (Kopriva et al., 2019; Carciochi et al., 2020). کودهای حاوی گوگرد به شکل‌های مختلف مصرف و در مطالعه‌های انجام شده بر گیاهان مختلف، دارای نتایج متفاوتی بر عملکرد و ویژگی رشد بوده است اما در کل، تحقیقاتی اندکی بر روی اثر گوگرد بر کاملینا وجود دارد. در بررسی اثر مصرف گوگرد (شاهد، گوگرد شیمیایی، کود زیستی سولفور بارور حاوی تیوباسیلوس و کاربرد توأم آنها) بر کاملینا در منطقه ایلام، نتایج نشان داده است که کاربرد توأم کود گوگرد و بیوسولفور به میزان ۳۲/۸ درصد عملکرد دانه را نسبت به شاهد افزایش داده است (رستمی و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین، اثر کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژن، فسفر و گوگرد در منطقه کازرون بر کاملینا، نشان داده است که مصرف تلفیقی کودهای زیستی با شیمیایی (نیتروژن+ فسفر+ گوگرد) باعث افزایش عملکردهای ماده خشک کل و دانه بترتیب ۸۶/۸ و ۶۳/۵ درصد نسبت به شاهد شده است (حسنی و همکاران، ۱۴۰۰). اثرهای مقدار

گوگرد (۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) همراه باکتری تیوباسیلوس در مناطق مختلف کرمانشاه بر گندم آبی رقم پیشتاز نشان داده که در مصرف گوگرد ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه حاصل شده است (قادری و همکاران، ۱۳۹۶). برخلاف گوگرد، اثر کود نیتروژن بر رشد و عملکرد کاملینا و سایر محصولات بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است. در آزمایشی با بررسی اثرهای تاریخ کاشت پاییزه و زمستانه و مصرف نیتروژن خالص (۰، ۲۳، ۴۶ و ۶۹ کیلوگرم در هکتار) بر کاملینا، نتایج نشان داده است که مصرف نیتروژن اثر معنی‌داری بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه داشته و بیشترین عملکرد دانه (۲۶۵۳/۸ کیلوگرم در هکتار) مربوط به مصرف ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص بوده است (زارعی و همکاران، ۱۴۰۰). در بررسی مزرعه ای در کانادا بمدت دو سال بر روی ۵ ژنوتیپ در ۵ محل و در سطوح مختلف نیتروژن (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) نیز، نتایج نشان داده است که نیتروژن باعث افزایش عملکرد دانه و پروتئین و کاهش درصد روغن شده است (Jiang et al., 2014). نتایج بررسی اثرهای نیتروژن (۰، ۲۸، ۵۶ و ۱۱۲ کیلوگرم در هکتار) و گوگرد (۰ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار) بر رشد، عملکرد، پروتئین دانه و محتوای روغن کاملینا نشان داده است که گوگرد هیچ اثر معنی‌داری بر پاسخ‌های اندازه‌گیری شده نداشته است و کاربرد نیتروژن باعث افزایش ارتفاع بوته، عملکرد دانه، محتوای پروتئین و عملکرد پروتئین شده است. مصرف نیتروژن باعث افزایش ۳۱ درصدی عملکرد دانه شده اما میزان روغن را تا ۲/۷ درصد کاهش داده است (Sintim et al., 2015). پاسخ کاملینا به میزان نیتروژن (۰، ۴۵، ۹۰ کیلوگرم در هکتار) در یک سیستم کشاورزی دیم در مرکز مونتانا نشان داده است که مصرف ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار منجر به بالاترین عملکرد کاملینا در این منطقه شده است (Afshar et al., 2016). در آزمایشی گلدانی در یونان در مصارف مختلف نیتروژن (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ پی پی ام)، مشخص شده است که با افزایش مصرف نیتروژن، ویژگی ریشه (تراکم، طول و سطح) و اندام هوایی (وزن هزار دانه و عملکرد دانه در بوته) کاملینا در بیشترین مقدار بوده است (Kakabouki et al., 2020). در آزمایشی در اتیوپی که کاملینا را به تازگی وارد چرخه کشت و کار خود کرده اند، نتایج نشان داده است که در کود نیتروژن (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و مقدار بذر برای کاشت (۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار)، مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و مصرف بذر ۱۰ کیلوگرم در هکتار، بیشترین مقدار ماده خشک و دانه تولید شده است (Manore and Yohanns, 2019). در بررسی مصرف نیتروژن (شاهد، سرک (به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار در زمان ساقه رفتن)، پایه (۶۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت) و توأم پایه + سرک (هر کدام ۶۰ کیلوگرم در هکتار) بر کاملینا نتایج نشان داده است که بیشترین مقدار رنگیزه فتوسنتزی در مصرف سرک، بیشترین مقدار روغن در مصرف کود پایه و بیشترین میزان پروتئین دانه در مصرف توأم نیتروژن بدست آمده است (Clemente et al., 2023). اثرهای نیتروژن (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) و تنش خشکی بر گیاه کینوا رقم سانتاماریا،

نتایج نشان داده که در شرایط بدون تنش خشکی، مصرف نیتروژن ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش شدید و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار بترتیب بیشترین و کمترین عملکرد داشته است و نشان داده‌اند که اثر نیتروژن به میزان آب در دسترس بستگی داشته و با افزایش تنش خشکی اثر میزان نیتروژن کاهش یافته است (زنگنه و همکاران، ۱۴۰۱). اثر آبیاری تکمیلی و سطوح نیتروژن (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) بر ارقام گندم دیم (سرداری و کراس البرز) نیز نشان داده است که با مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه در رقم گندم بدست آمده است، که نشان می‌دهد مقدار نزولات جوی در میزان مصرف نیتروژن موثر بوده است (فعله‌کری و همکاران، ۱۳۹۳). با بررسی اثر کود اوره (۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) و گوگرد بنتونیت دار (۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر گندم آبی رقم سیروان به این نتیجه رسیده‌اند که مصرف ۶۰ کیلوگرم نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بنتونیت دار دارای بیشترین بازده زراعی و اقتصادی بوده است (رستمی و همکاران، ۱۴۰۰). از آنجایی که رشد ریشه‌ها در خاک‌های فقیر در حداقل مقدار خود است و با افزایش دسترسی به عناصر غذایی در خاک، ریشه‌ها سریعتر تکثیر می‌شوند و در صورت کفایت عناصر غذایی بجای رشد خیلی زیاد ریشه، گیاه تخصیص منابع به رشد ریشه را کاهش و به اندام هوایی و رشد زایشی اختصاص می‌دهد، این تغییر تخصیص منبع باعث می‌شود که در مصرف عناصر غذایی دقت بیشتری صورت گیرد (Bouranis et al., 2020). بنابراین، بهینه‌سازی و مدیریت مصرف کودهای گوگرد و نیتروژن به منظور افزایش عملکرد محصول از اهمیت اولیه برخوردار است. متأسفانه، بررسی در مورد پاسخ کاملینا به مقادیر مختلف گوگرد و نیتروژن، بر رشد ریشه در شرایط دیم نیز کم بوده و به همین دلیل این آزمایش طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثرهای کودهای گوگرد و نیتروژن بر روی صفات ریشه و اندام‌های هوایی کاملینا رقم سهیل آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ در شرایط آب و هوایی سنقر (در شمال شرقی استان کرمانشاه) به صورت دیم اجرا شد. آزمایش در حومه شهر سنقر با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی به ارتفاع ۱۶۸۱ متر از سطح دریا و از نظر اقلیمی، سرد اجرا شد. مشخصات بارندگی و دمایی در طول دوره رشد کاملینا در منطقه در سال اجرای آزمایش در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: مشخصات میزان بارندگی و دمایی در منطقه در طول دوره رشد کاملینا در سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱

پارامترها	ماه										
	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد
سال ۱۴۰۰											
بارندگی (میلی‌متر)	۰	۳۳/۹	۳۴/۴	۳۷/۷	۴۷/۱	۴۲/۸	۱۵/۲	۴۱/۴	۰	۰	۰
حداقل دما (درجه سانتی‌گراد)	۶/۴	۱/۷	۰	-۳/۲	-۵/۱	۱	۳/۳	۵/۶	۹/۹	۱۴/۸	۱۶/۶
حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد)	۲۶/۷	۱۶/۱	۱۳/۴	۷/۸	۷/۳	۱۲/۴	۱۹/۶	۲۲/۵	۳۱/۵	۳۶/۱	۳۷/۴
متوسط دما (درجه سانتی‌گراد)	۱۹/۵	۱۱/۹	۹/۷	۴/۴	۴/۳	۹/۵	۱۴/۲	۱۷/۳	۲۳/۷	۲۸/۴	۲۹/۹

جدول ۲: نتایج آزمون خاک محل اجرای آزمایش در عمق ۳۰-۰ سانتی متری

در تاریخ ۱۵ آبان ۱۴۰۰ کشت چند بوته در لوله‌ها صورت گرفت. در مرحله استقرار به یک بوته در هر لوله، تُنک و نگهداری شدند. تمام گوگرد و یک سوم نیتروژن در زمان کاشت و مابقی کود نیتروژن به صورت سرک (دوسوم در مرحله ساقه‌رفتن) مصرف شد. بذر کاملینا زراعی رقم سهیل مورد استفاده، از پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه تهیه شد. رقم سهیل تیپ بینابین پاییزه و بهاره بوده و در کشت پاییزه در بسیاری از مناطق ایران توصیه شده است (رستمی احمدوند و همکاران، ۲۰۲۱). در زمان رسیدن دانه کاملینا در تاریخ ۲۶ خرداد ۱۴۰۱، صفاتی از ریشه و اندام هوایی اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری صفات ریشه، استخراج ریشه‌ها از لوله‌ها به صورت تخریبی انجام گرفت. بدین صورت که با برش طولی لوله‌ها کل سیستم ریشه همراه خاک، خارج و با شستشوی ریشه با جریان ملایم آب، خاک کاملاً از ریشه‌ها جدا گردید. پس از اندازه‌گیری ارتفاع ریشه‌ها، اندازه‌گیری حجم ریشه از استوانه مدرج و سطح ریشه از رابطه ۱ بدست آمد (علیزاده، ۱۳۸۰).

$$\text{رابطه ۱: } (\text{طول ریشه‌ها} \times \pi \times \text{حجم ریشه‌ها})^{1/5} = \text{سطح ریشه‌ها}$$

بررسی آب مورد نیاز^۱ از رابطه ۳ و برای اندازه‌گیری میزان کارایی مصرف آب^۲ از رابطه ۴ استفاده شد (کوچکی و سرمدینا، ۱۳۸۵).

رابطه ۳: ماده خشک / تبخیر و تعرق = آب مورد نیاز

رابطه ۴: تبخیر و تعرق / ماده خشک = کارایی مصرف آب

برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم افزار SAS و میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

بررسی صفات ریشه، سطح برگ و ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس اثر کودهای گوگرد و نیتروژن بر رشد ریشه و سطح برگ نشان داد که اثر گوگرد بر صفات حجم ریشه، طول ریشه، سطح ریشه و سطح برگ معنی‌دار بود. اثر نیتروژن نیز بر این صفات معنی‌دار بود اما برهمکنش این دو تیمار فقط بر سطح ریشه، سطح برگ و ارتفاع بوته معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسات میانگین صفات سطح ریشه، سطح برگ و ارتفاع بوته نشان داد که بیشترین مقدار این صفات در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بدست آمد و مقادیر گوگرد از نظر آماری اثر معنی‌داری بر این صفات نداشت. کمترین مقدار این صفات نیز در تیمار شاهد (بدون مصرف گوگرد و نیتروژن) بدست آمد (جدول ۴). با بررسی اثر میزان گوگرد در نیتروژن ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار برای سطح ریشه تا ۱۳/۰ درصد، سطح برگ تا ۱۱/۴ و ارتفاع بوته ۷/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت (جدول ۴). اثر میزان نیتروژن با افزایش سطوح گوگرد افزایش معنی‌داری داشت و این مقادیر برای سطح ریشه ۴۹/۵ درصد، سطح برگ ۱۱۰/۰ درصد و ارتفاع بوته ۳۰/۴ درصد بود که نشان دهنده اثر بیشتر اثر نیتروژن نسبت به گوگرد بود (جدول ۴).

در مطالعه‌های سایر محققین نیز نتایج متفاوت از اثر کودهای گوگرد و نیتروژن بر صفات رشد کاملینا مشهود است. در آزمایشی، با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد بنتونیت دار نسبت به تیمار شاهد، شاخص سطح برگ کاملینا ۱۴/۴ درصد افزایش داشته اما بر ارتفاع بوته اثر معنی‌داری نداشته است (رستمی و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین در تحقیقی دیگر، مشخص شده است که با افزایش مصرف نیتروژن تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار ارتفاع بوته بر کاملینا افزایش معنی‌داری داشته است (Solis et al., 2013). نتایج کار سایر محققین و همچنین این آزمایش نشان می‌دهد که اثر این کودها به نوع خاک، شرایط آب و هوایی، نوع کود بخصوص نوع گوگردی و نحوه مصرف آن بستگی دارد که به نحوی با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

¹ . Water requirement

² . Water use efficiency

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر کودهای گوگرد و نیتروژن بر صفات ریشه کاملینا

منابع تغییرات	درجه آزادی	حجم ریشه	طول ریشه	سطح ریشه	وزن خشک ریشه	ضریب آلومتری	ارتفاع بوته	سطح برگ
گوگردی (S)	۳	۲/۲۲**	۲/۰۹**	۳/۲۰**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۸۱۴/۰۲ ^{ns}	۱/۹۰ ^{ns}	۵۴/۲۴**
نیتروژنه (N)	۳	۱۰۲/۰۵**	۵۰/۷۸**	۸۴/۰۷**	۲/۰۲**	۸۸۵۹۱/۰۲**	۲۲۲/۴۶**	۱۶۸۵/۱۵**
اثرهای متقابل S×N	۹	۰/۲۰ ^{ns}	۰/۴۵ ^{ns}	۰/۲۴۷**	۰/۰۰۲ ^{ns}	۳۸۲/۶۷ ^{ns}	۳/۲۴**	۲۵/۷۱*
خطا	۳۰	۰/۳۹	۰/۴۶	۰/۰۱۶	۰/۰۷۴	۱۳۰۳/۵۳	۰/۹۷	۱۱/۹۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۲/۹۱	۴/۲۴	۸/۵۸	۷/۷۷	۳/۸۰	۱/۴۵	۷/۲۰

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

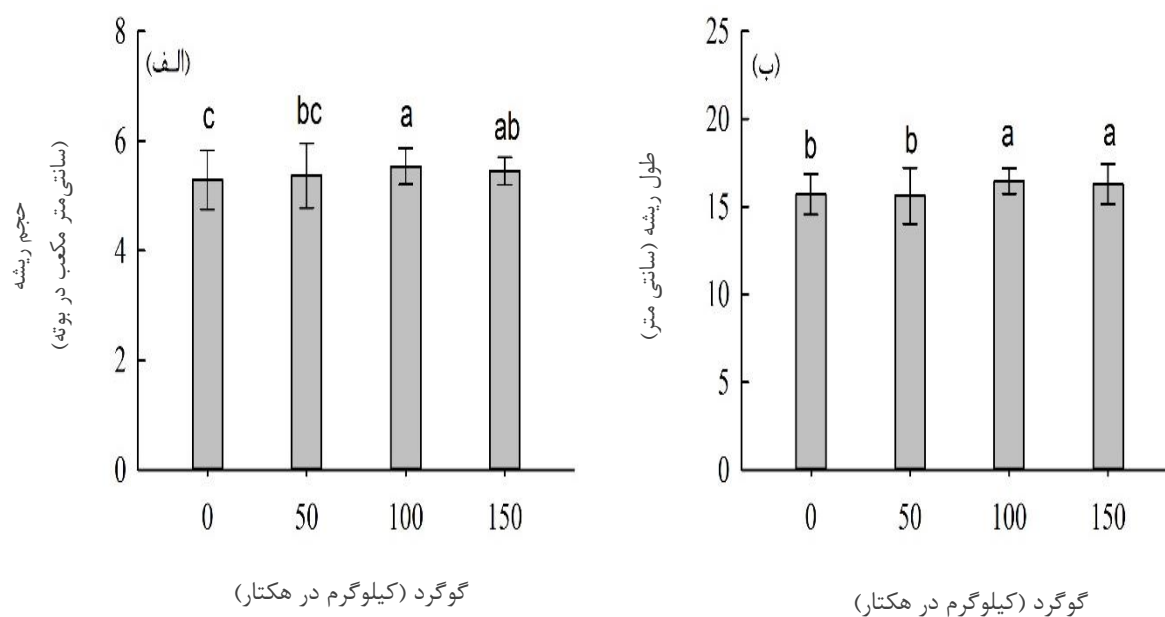
جدول ۴: مقایسه میانگین اثر گوگرد و نیتروژن بر ویژگی سطح ریشه، سطح برگ و ارتفاع بوته کاملینا

تیمارها		سطح ریشه		سطح برگ		ارتفاع بوته	
گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)	سانتی مترمربع در بوته	درصد نسبت به شاهد	سانتی مترمربع در بوته	درصد نسبت به شاهد	سانتی متر در بوته	درصد نسبت به شاهد
۰	۰	۱۷/۷۳ ^d ± ۰/۱۹	۱۰۰	۳۱/۷۳ ^d ± ۰/۱۷	۱۰۰	۵۷/۲۳ ^c ± ۰/۶۶	۱۰۰
۴۰	۴۰	۲۰/۶۳ ^d ± ۰/۰۹	۱۱۶/۱	۳۹/۲۷ ^{cd} ± ۰/۲۵	۱۲۳/۷	۶۵/۶۷ ^{bc} ± ۰/۶۶	۱۱۴/۷
۸۰	۸۰	۲۲/۷۳ ^c ± ۰/۱۴	۱۲۷/۹	۴۷/۲۳ ^c ± ۱/۱۴	۱۴۸/۶	۶۸/۶۷ ^b ± ۰/۳۳	۱۱۹/۹
۱۲۰	۱۲۰	۲۵/۱۰ ^a ± ۰/۰۷	۱۴۱/۳	۵۸/۷۷ ^{ab} ± ۰/۶۱	۱۸۵/۲	۷۲/۰۰ ^a ± ۰/۵۷	۱۲۵/۸
۵۰	۵۰	۱۹/۹۱ ^d ± ۰/۱۹	۱۲۱/۱	۳۵/۰۱ ^d ± ۰/۱۱	۱۱۰/۳	۶۴/۰۰ ^{bc} ± ۰/۵۷	۱۱۱/۸
۴۰	۴۰	۲۱/۰۳ ^{cd} ± ۰/۰۹	۱۸۳/۳	۴۷/۱۰ ^c ± ۶/۹۵	۱۴۸/۴	۶۶/۰۰ ^{bc} ± ۰/۵۷	۱۱۵/۳
۸۰	۸۰	۲۳/۳۴ ^{bc} ± ۰/۱۴	۱۳۱/۴	۵۱/۷۸ ^b ± ۱/۵۹	۱۶۳/۱	۶۸/۶۷ ^b ± ۰/۳۳	۱۱۹/۹
۱۲۰	۱۲۰	۲۵/۷۸ ^a ± ۰/۱۱	۱۴۵/۱	۶۰/۴۴ ^a ± ۰/۳۶	۱۹۰/۴	۷۳/۳۳ ^a ± ۰/۳۳	۱۲۸/۱
۱۰۰	۱۰۰	۱۹/۹۶ ^d ± ۰/۲۰	۱۱۲/۳	۳۵/۳۶ ^d ± ۰/۱۲	۱۱۱/۴	۶۴/۶۷ ^{bc} ± ۰/۳۳	۱۱۳/۰
۴۰	۴۰	۲۱/۴۰ ^c ± ۰/۱۵	۱۲۰/۴	۴۱/۰۱ ^{cd} ± ۰/۱۳	۱۲۹/۲	۶۶/۳۳ ^{bc} ± ۰/۳۳	۱۱۵/۹
۸۰	۸۰	۲۴/۰۲ ^b ± ۰/۱۴	۱۳۵/۲	۵۴/۸۵ ^b ± ۰/۶۹	۱۷۲/۸	۶۸/۳۳ ^b ± ۰/۳۳	۱۱۹/۳
۱۲۰	۱۲۰	۲۶/۱۴ ^a ± ۰/۱۲	۱۴۷/۱	۶۱/۹۸ ^a ± ۰/۱۴	۱۹۵/۳	۷۲/۶۷ ^a ± ۰/۸۸	۱۲۶/۹
۱۵۰	۱۵۰	۲۰/۰۷ ^d ± ۰/۱۷	۱۱۳/۰	۳۵/۳۶ ^d ± ۰/۰۷	۱۱۱/۴	۶۱/۳۳ ^c ± ۰/۳۳	۱۰۷/۱
۴۰	۴۰	۲۱/۸۴ ^c ± ۰/۱۷	۱۲۲/۹	۴۰/۴۶ ^d ± ۲/۳۰	۱۲۷/۵	۶۵/۵۳ ^{bc} ± ۰/۳۳	۱۱۴/۱
۸۰	۸۰	۲۴/۵۶ ^b ± ۰/۱۲	۱۳۸/۲	۵۷/۶۵ ^{ab} ± ۰/۱۲	۱۸۱/۶	۶۹/۰۰ ^b ± ۱/۱۵	۱۲۰/۵
۱۲۰	۱۲۰	۲۶/۵۶ ^a ± ۰/۱۲	۱۴۹/۵	۶۶/۶۶ ^a ± ۲/۴۹	۲۱۰/۰	۷۴/۶۷ ^a ± ۰/۳۳	۱۳۰/۴

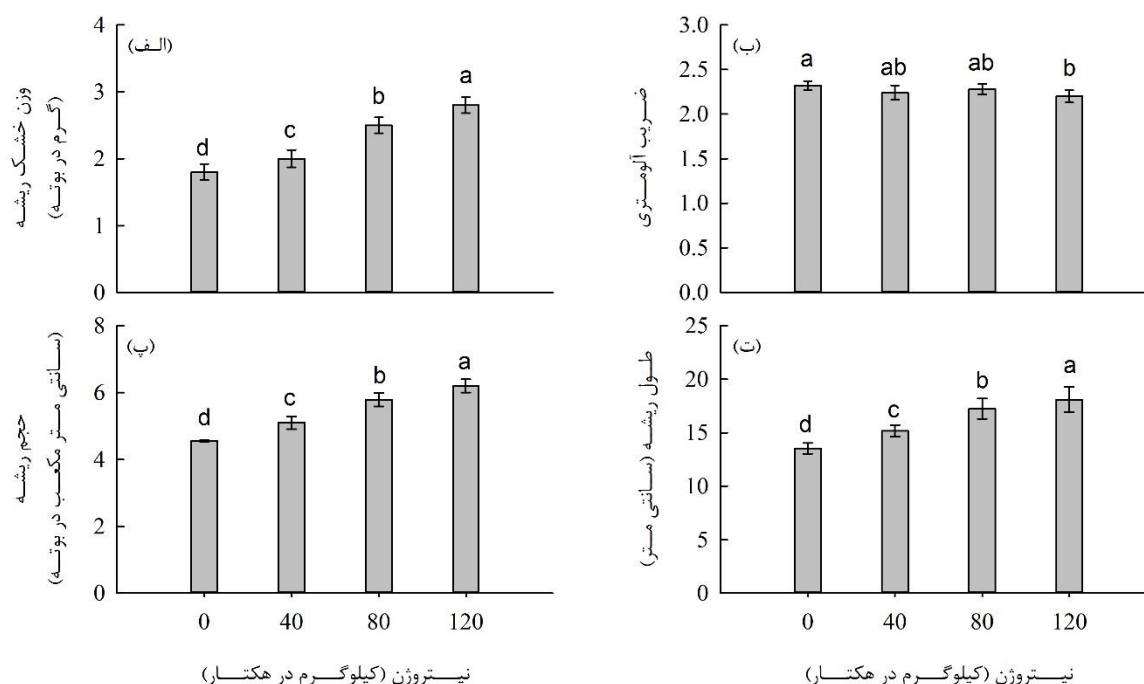
میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد ندارند؛ ±: خطای استاندارد

مقایسه میانگین اثر کود گوگرد بر حجم ریشه نشان داد که بیشترین مقدار حجم ریشه در مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد با ۵/۵۴ سانتی مترمکعب در بوته و کمترین مقدار در تیمار شاهد با ۵/۲۹ سانتی مترمکعب در بوته بدست آمد (شکل ۱ الف). از نظر طول ریشه نیز بیشترین مقدار در مصرف ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب با ۱۶/۴۷ و ۱۶/۲۸ سانتی متر در بوته و کمترین در تیمار شاهد و مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب با ۱۵/۷۱ و ۱۵/۶۳ سانتی متر دیده شد (شکل ۱ ب). افزایش مقادیر سطح ریشه، حجم ریشه، طول ریشه، سطح برگ و ارتفاع بوته با افزایش میزان گوگرد نسبت به شاهد شاید بعلا در دسترس بودن این عنصر ضروری در خاک و شرایط مناسب برای رشد ریشه از نظر اسیدیت باشد که همین باعث جذب بیشتر سایر عناصر و افزایش سطح برگ و ارتفاع بوته شده است.

وزن خشک ریشه، حجم ریشه و طول ریشه با افزایش مصرف نیتروژن افزایش معنی‌دار داشت و بیشترین مقدار این صفات بترتیب ۲/۸۰ گرم در بوته، ۶/۲۰ سانتی متر مکعب در بوته و ۱۸/۱۱ سانتی متر و کمترین مقدار در تیمار شاهد با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بدست آمد (شکل ۲ الف، پ و ت). ضریب آلومتری که با تقسیم وزن خشک اندام هوایی بر وزن خشک ریشه به دست آمد. بر عکس سایر صفات، با افزایش میزان نیتروژن مقدار آن کمتر شد اما بین تیمارهای شاهد و مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از نظر آماری تفاوت معنی‌داری ملاحظه نگردید (شکل ۲ ب). افزایش نیتروژن اگرچه وزن خشک ریشه، حجم ریشه و طول ریشه را افزایش داد اما، وزن خشک ریشه نسبت به وزن خشک ساقه کمتر افزایش داشت. این احتمالاً بدلیل این باشد که بیشترین اثر را وزن خشک اندام هوایی داشته است. در کل، کاملینا دارای سیستم ریشه ضعیف بوده و ۸۲ درصد از تراکم ریشه آن در ۳۰ سانتی متری سطح خاک مشاهده شده است (Gesch and Johnson, 2015). با افزایش حاصلخیزی خاک رشد ریشه گیاه افزایش یافته و بعد از رسیدن به حد معینی، رشد اندام هوایی به رشد ریشه پیشی گرفته و گیاه منابع خود را صرف رشد زایشی می‌کند (Bouranis et al., 2020). این نشان می‌دهد که کاملینا به خاک حاصلخیز و مواد غذایی کافی و رطوبت خاک واکنش نشان می‌دهد به همین دلیل در چند بررسی مشخص شده است که کمبود گوگرد، رشد ریشه را کاهش داده است (Kopriva et al., 2019; Carciochi et al., 2020). اما، تعداد مطالعه‌های انجام شده در بررسی اثرهای کود گوگرد بر رشد ریشه کاملینا اندک می‌باشد و بیشتر به اثرهای آن بر رشد اندام هوایی و عملکرد پرداخته‌اند.



شکل ۱: مقایسه میانگین اثر کود گوگرد بر حجم ریشه (الف) و طول ریشه (ب) کاملینا



شکل ۲: مقایسه میانگین اثر کود نیتروژن بر وزن خشک ریشه (الف)، ضریب آلومتری (ب)، حجم ریشه (پ) و طول ریشه (ت) کاملینا

بررسی صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه

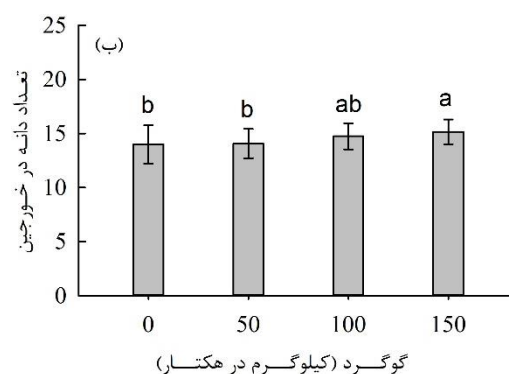
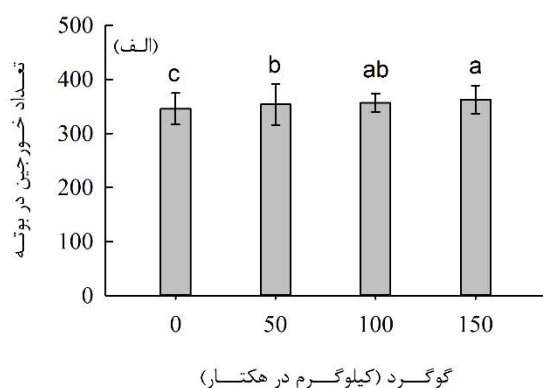
نتایج تجزیه واریانس اثر کودهای گوگرد و نیتروژن بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه کاملینا نشان داد که اثر گوگرد فقط بر تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین معنی دار شد اما، اثر کود نیتروژن بر تمامی صفات مورد بررسی معنی دار گردید. برهمکنش این دو تیمار هم بر تمامی صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه معنی دار نشد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر گوگرد بر تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین نشان داد که با افزایش میزان گوگرد مقادیر این دو صفت افزایش معنی داری یافت اما این افزایش چندان چشمگیر نبود و بین ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد مصرفی اختلاف معنی داری بدست نیامد (شکل ۳ الف و ب). با افزایش میزان نیتروژن مقادیر صفات وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه، شاخص برداشت، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه افزایش معنی داری داشت (شکل‌های ۴ الف، ب، پ، ت، ث و ج). مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن باعث افزایش ۴۷/۶، ۴۳/۲، ۴/۵۸، ۱۱۴/۱، ۴۴/۳ و ۹/۰ درصدی نسبت به تیمار شاهد شد. معمولاً، ریشه‌های گیاهان رقبای ضعیفی با میکروب‌های خاک برای جذب مواد مغذی آلی در خاک در نظر گرفته می‌شوند (Moran-Zuloaga et al., 2015; Prasad and Shivay, 2017; Jacoby et al., 2018). آنها فقط می‌توانند گوگرد را به شکل غیرآلی (سولفات) آن بدست آورند (Prasad and Shivay, 2018). اگرچه، شواهد رو به رشدی وجود دارد که گیاهان همچنین می‌توانند طیف وسیعی از مواد مغذی (Fe و P, N) را

که در اشکال آلی با وزن مولکولهای کم نگهداری می‌شوند، جذب کنند (Chatzistathis *et al.*, 2017; Yao *et al.*, 2020; Gatiboni *et al.*, 2021). در بررسی رقابت دو اسید آمینه حاوی گوگرد (سیستئین و متیونین) توسط میکروب‌های خاک و ریشه ذرت در ریزوسفر نتیجه گرفته‌اند که میکروب‌های خاک بطور عمده رقیبی برای مصرف گوگرد موجود در مواد آلی خاک می‌باشند و لازم است این اسیدهای آمینه با غلظت بالا در اختیار ریشه قرار گیرد تا جذب بیشتر صورت گیرد (Wang *et al.*, 2023). این شاید دلیلی بر این باشد که با مقادیر بالاتر از مقادیر مصرف شده در این تحقیقات اثر گوگرد بر عملکرد کاملینا و یا سایر محصولات، بهتر دیده شده است. در مورد اهمیت کودهای نیتروژنه بر کاملینا در سایر بررسی‌ها نیز مشخص شده است که بر خلاف گیاهان خانواده غلات (گندم و جو)، مصرف نیتروژن در شرایط دیم باعث افزایش عملکرد و اجزای آن شده است. هرچند که میزان مناسب آن، به لحاظ اقتصادی و هم مشکلات زیست-محیطی ضروری است (Jiang *et al.*, 2014; Sintim *et al.*, 2015; Manore and Yohanns, 2019; Kakabouki *et al.*, 2020; Clemente *et al.*, 2023).

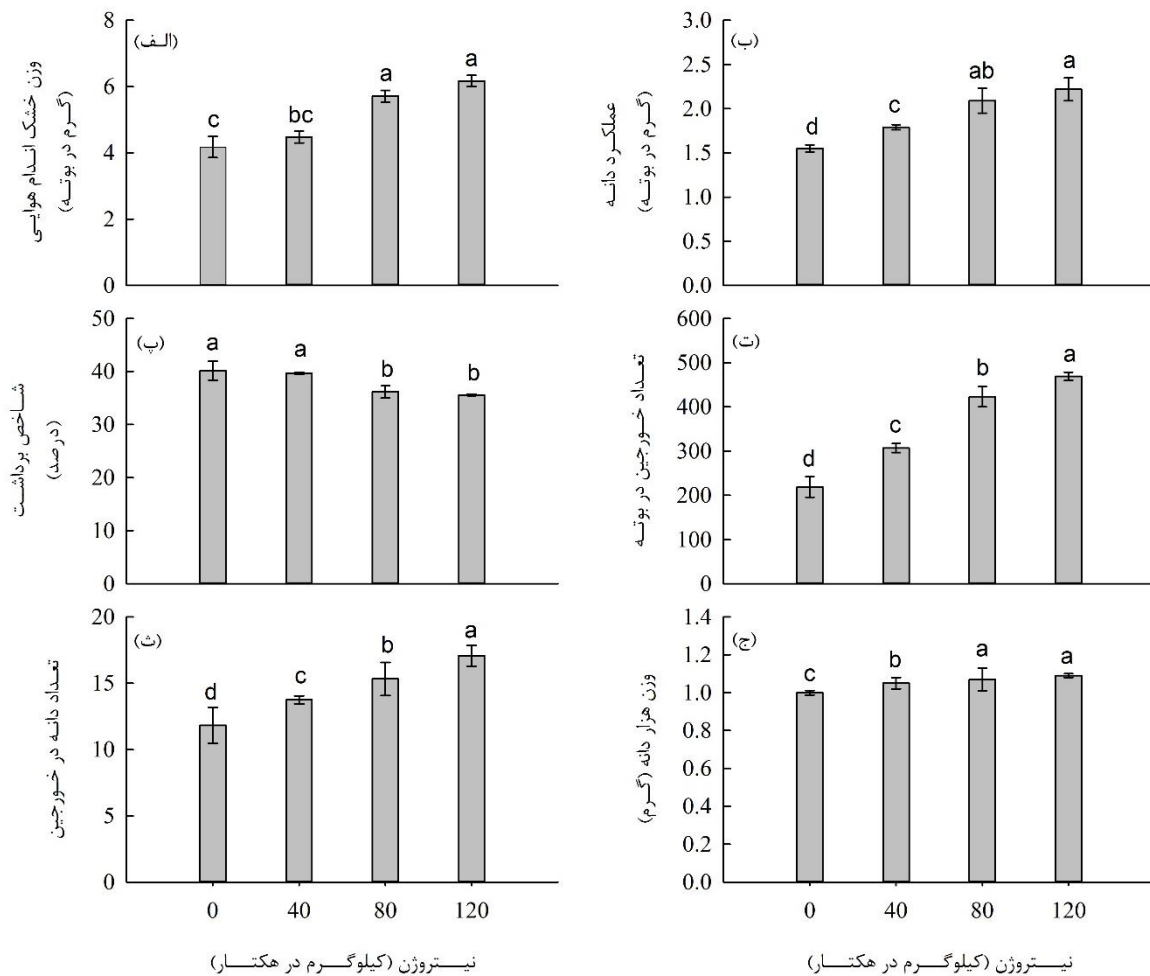
جدول ۵: تجزیه واریانس اثر کودهای گوگرد و نیتروژن بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد دانه در کاملینا

منابع تغییرات	درجه آزادی	ماده خشک اندام هوایی	عملکرد دانه	شاخص برداشت	میانگین مربعات		وزن هزار دانه
					تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	
کود گوگردی (S)	۳	۰/۱۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۷ ^{ns}	۲/۸۵ ^{ns}	۶۴۵/۶۹*	۳/۷۲*	۰/۰۰۱۹ ^{ns}
کود نیتروژنه (N)	۳	۱۰/۹۲**	۱/۰۹**	۶۶/۵۲**	۱۵۴۲۱۸/۷۵**	۶۰/۱۶**	۰/۰۱۷**
اثرهای متقابل S×N	۹	۰/۱۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۲ ^{ns}	۷/۹۶ ^{ns}	۲۰/۸۰ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۶ ^{ns}
خطا	۳۰	۰/۳۷	۰/۰۰۰۱	۹/۶۰	۵۷/۲۷	۰/۹۳	۰/۰۰۰۸۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۱/۹۱	۰/۶۶	۸/۱۷	۲/۱۳	۶/۶۷	۲/۷۸

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.



شکل ۳: مقایسه میانگین اثر کود گوگرد بر تعداد خورجین در بوته (الف) و تعداد دانه در خورجین (ب) کاملینا



شکل ۴: مقایسه میانگین اثر کود نیتروژن بر وزن خشک اندام هوایی (الف)، عملکرد دانه (ب)، شاخص برداشت (پ)، تعداد خورجین در بوته (ت)، تعداد دانه در خورجین (ث) و وزن هزار دانه (ج) کاملینا

بررسی میزان آب مصرفی و کارایی مصرف آب

نتایج بررسی تجزیه واریانس اثر گوگرد و نیتروژن بر میزان آب مصرفی و کارایی مصرف آب کاملینا نشان داد که اثر گوگرد بر این صفات غیرمعنی دار اما، اثر نیتروژن بسیار معنی دار شد و برهمکنش این دو تیمار هم بر این دو صفت معنی دار نگردید (جدول ۸). با افزایش میزان نیتروژن، میزان آب مصرفی برای تولید یک واحد ماده خشک تا ۳۴/۱ درصد کاهش، و کارایی مصرف آب تا ۴۷/۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۹). احتمالاً، با مصرف نیتروژن و تسریع در رشد و نمو و افزایش عملکرد اندام هوایی باعث افزایش کارایی مصرف آب می گردد. بعبارت دیگر، از یک واحد آب مصرفی بهره برداری بیشتری برای تولید ماده خشک شده است. راندمان مصرف آب در کشاورزی بطور کلی، بعنوان تولید محصول در واحد آب مصرفی (تبخیر و تعرق) توصیف می شود (Riaz et al., 2020). یکی از صفات مهم گیاهی در بالابردن کارایی مصرف آب

در مناطق کم باران، استفاده از ارقام متحمل به خشکی بخصوص داشتن سازگاری در کشت در فصول سرد، گلدهی زودتر و تشکیل بذر قبل از شروع خشکی است. در این شرایط، توسعه سریعتر سطح برگ همراه با پوشش اولیه زمین و تولید ماده خشک باعث استفاده بیشتر از دوره پس از گلدهی می‌شود که کاملینا کاملاً از این شرایط بهره می‌برد (Singh et al., 2017). در آزمایشی مزرعه‌ای در استرالیا با بارندگی متفاوت بر چهار رقم کلزا و دو رقم خردل با مقادیر نیتروژن ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن نتایج نشان داده‌اند که با افزایش نیتروژن کارایی مصرف آب در ارقام کلزا و خردل افزایش داشته است (Riar et al., 2020). همچنین، در بررسی دیگری مشخص شده است که در کلزای زمستانه با افزایش مقدار نیتروژن تا ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی مصرف آب افزایش داشته است (Gu et al., 2018). نتایج این تحقیقات نشان می‌دهند که توسعه رشد ریشه در خاک‌های حاصلخیز، زودرسی و مصرف مناسب کود بخصوص نیتروژن برای کاملینا نه تنها باعث کاهش کارایی مصرف آب نمی‌شوند بلکه باعث افزایش نیز می‌گردند.

جدول ۶: نتایج تجزیه واریانس اثر کودهای گوگرد و نیتروژن بر آب مصرفی و کارایی مصرف آب در کاملینا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میزان آب مصرفی	کارایی مصرف آب	میانگین مربعات
کود گوگردی (S)	۳	۱۲۴۹/۲۲ ^{NS}	۰/۰۰۴ ^{NS}	
کود نیتروژنه (N)	۳	۲۰۷۷۹۱/۶ ^{**}	۰/۹۴۴ ^{**}	
اثرهای متقابل S×N	۹	۱۶۱۷/۷۸ ^{NS}	۰/۰۰۶ ^{NS}	
خطا	۳۰	۵۱۴۹/۹۱	۰/۰۱۷	
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۰/۵۸	۸/۶۳	

NS، * و ** بترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۷: مقایسه میانگین اثر کود نیتروژن بر میزان آب مصرفی و کارایی مصرف آب در کاملینا

کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار)	میزان آب مصرفی	کارایی مصرف آب
درصد (کیلوگرم آب به ازای یک کیلوگرم ماده خشک)	درصد (گرم ماده خشک به ازای یک کیلوگرم آب مصرفی)	درصد نسبت به شاهد
۰	۸۲۹/۳ ^a ± ۱۲۳/۷۰	۱۰۰
۴۰	۷۴۳/۸ ^b ± ۱۵/۹۵	۸۹/۶۹
۸۰	۵۹۲/۱ ^c ± ۱۵/۵۷	۷۱/۳۹
۱۲۰	۵۴۶/۳ ^{cd} ± ۴/۸۶	۶۵/۸۷

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد ندارند؛ ± : خطای استاندارد

نتیجه‌گیری

بطور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که در شرایط دیم، اکثر صفات ریشه (بجز حجم و طول) و اندام هوایی (بجز تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین) به مصرف گوگرد عکس‌العمل نشان ندادند. برعکس، با افزایش مصرف نیتروژن اکثر صفات ریشه (وزن خشک، حجم و طول) و اندام هوایی (وزن خشک، دانه، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه) و کارایی مصرف آب افزایش یافت. در کاملینا مصرف نیتروژن در شرایط دیم بدلیل نداشتن

پنجه، رشد رویشی بیش از حد اتفاق نمی‌افتد (برخلاف آنچه در گندم و جو دیده می‌شود) و این شاید دلیلی باشد بر اینکه مصرف نیتروژن برای کاملینا تا مقدار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار قابل توصیه باشد.

منابع

- حسینی، م.، تدین، م. و فدایی تهرانی، ع. ۱۴۰۰. اثر کودهای شیمیایی و زیستی بر شاخص‌های برگ، کارایی جذب و مصرف نیتروژن، فسفر، گوگرد و عملکرد گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.). فرآیند و کارکرد گیاهی. ۱۰ (۴۵): ۱۲۳-۱۴۰.
- رستمی، ف. و قبادی، م. ا. ۱۴۰۰. بررسی اثر گوگرد بنتونیت‌دار و سطوح نیتروژن بر رشد ریشه و ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.). مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۳ (۵۰): ۲۲-۵.
- رستمی، ه.، عباسی، ن.، و حاجی‌نیا، س. ۱۴۰۱. بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت روغن دانه کاملینا تحت کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی گوگرد. علوم گیاهان زراعی ایران. ۵۳ (۴): ۲۴۵-۲۶۰.
- رستمی‌احمدوندی، ح.، کهریزی، د.، قبادی، ر. و اکبرآبادی، ع. ۱۳۹۹. کاملینا، دانه روغنی منحصر به فرد با تحمل بالا به خشکی و سرما. گیاهان دانه روغنی. ۲ (۲): ۶۳-۷۳.
- زارعی، ش.، حسینی، پ.، کهریزی، د.، و اردبیلی، س. ۱۴۰۰. مطالعه پاسخ‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کاملینا (*Camelina sativa* L.) به کاربرد نیتروژن در زمان‌های متفاوت کاشت. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۳ (۵۱): ۸۱-۹۵.
- زنگنه، م. م.، قبادی، م. ا. و خرمی‌وفا، م. ۱۴۰۱. اثر تنش خشکی و نیتروژن بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.). مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۴ (۵۳): ۴۹-۶۴.
- فعله‌کری، ح.، قبادی، م. ا.، محمدی، غ.، جلالی‌هنرمند، س.، قبادی، م. و سعیدی، م. ۱۳۹۳. اثر آبیاری تکمیلی و کود نیتروژن بر شاخص‌های رشدی دو رقم گندم دیم در شرایط کرمانشاه. مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۶ (۲۲): ۱۰۱-۱۱۳.
- قادری، ج.، ملکوتی، م. ج.، خاوازی، ک. و داوودی، م. ح. ۱۳۹۶. بررسی اثر کاربرد گوگرد عنصری بر عملکرد و برخی از ویژگی‌های کیفی گندم آبی (*Triticum astivum* L.). مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۹ (۳۳): ۶۹-۸۴.
- علیزاده، ا. ۱۳۸۰. رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی. ۳۵۳ ص.

- Afshar, R.K., Mohammed, Y.A. and Chen, C. 2016.** Enhanced efficiency nitrogen fertilizer effect on camelina production under conventional and conservation tillage practices. *Industrial Crops and Products* 94: 783-789.
- Ali, G., Hannachi, A., Benidir, M., Fellahi, Z.E.A. and Frih, B. 2022.** Agro-biochemical characterisation of camelina sativa: A review. *Agricultural Reviews* 43: 278-287.
- Angelini, L.G., Abou Chehade, L., Foschi, L. and Tavarini, S. 2020.** Performance and potentiality of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) genotypes in response to sowing date under Mediterranean Environment. *Agronomy* 10, 1929.
- Berti, M., Gesch, R., Eynck, C., Anderson, J. and Cermak, S. 2016.** Camelina uses, genetics, genomics, production, and management. *Industrial Crops Production* 94: 690–710.
- Bouranis, D.L., Malagoli, M., Avice, J. C. and Bloem, E. 2020.** Advances in plant sulfur research. *Plants* 9(2), 256.
- Carciochi, W.D., Salvagiotti, F., Pagani, A., Calvo, N.I.R., Eyherabide, M., Rozas, H.R.S. and Ciampitti, I.A. 2020.** Nitrogen and sulfur interaction on nutrient use efficiencies and diagnostic tools in maize. *European Journal of Agronomy* 116:126045.
- Chatzistathis, T., Papaioannou, A., Gasparatos, D. and Molassiotis, A. 2017.** From which soil metal fractions Fe, Mn, Zn and Cu are taken up by olive trees (*Olea europaea* L., cv. 'Chondrolia Chalkidikis') in organic groves? *Journal of Environmental Management* 203:489–499.
- Clemente, C., Ercolini, L., Rossi, A., Foschi, L., Grossi, N., Angelini, L. G., Tavarini, S. and Silvestri, N. 2023.** Spectral response of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) to different nitrogen fertilization regimes under Mediterranean conditions. *Agronomy* 13(6), 1539.
- Dai, A., Zhao, T. and Chen, J. 2018.** Climate change and drought: A Precipitation and evaporation perspective. *Current Climate Change Reports* 4: 301–312.
- Etienne, P., Sorin, E., Maillard, A., Gallardo, K., Arkoun, M., Guerrand, J., Cruz, F., Yvin, J.C. and Ourry, A. 2018.** Assessment of sulfur deficiency under field conditions by single measurements of sulfur, chloride and phosphorus in mature leaves. *Plants* 7(2),37.
- Gatiboni, L. C., Schmitt, D. E., Tiecher, T., Veloso, M. G., Dos Santos, D. R., Kaminski, J. and Brunetto, G. 2021.** Plant uptake of legacy phosphorus from soils without P fertilization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 119: 139–151.
- Gesch, R.W. and Johnson, J.M.F. 2015.** Water use in camelina–soybean dual cropping systems. *Agronomy Journal* 107: 1098-1104.
- Gesch, R. W., Dose, H. L. and Forcella, F. 2017.** Camelina growth and yield response to sowing depth and rate in the northern Corn Belt USA. *Industrial Crops Production* 95: 416–421.
- Ghidoli, M., Ponzoni, E., Araniti, F., Miglio, D. and Pilu, R. 2023.** Genetic Improvement of *Camelina sativa* (L.) Crantz: opportunities and challenges. *Plants* 12(3), 570.

Gu, X., Li, Y., Huang, P., Fang, H. and Chen, P. 2018. Effects of planting patterns and nitrogen application rates on yield, water and nitrogen use efficiencies of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 34(10): 113-123.

Jacoby, R., Peukert, M., Succurro, A., Koprivova, A. and Kopriva, S. 2017. The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition—current knowledge and future directions. Frontiers in Plant Science 8: 1–19.

Jiang, Y., Caldwell, C.D. and Falk, K.C. 2014. Camelina seed quality in response to applied nitrogen, genotype and environment. Canadian Journal of Plant Science 94: 971-980.

Kakabouki, I., Folina, A., Karydogianni, S., Zisi, C. and Efthimiadou, A. 2020. The effect of nitrogen fertilization on root characteristics of *Camelina sativa* L. in greenhouse pots. Agronomy Research 18(3): 2060-2068.

Kopriva, S., Malagoli, M. and Takahashi, H. 2019. Sulfur nutrition: impacts on plant development, metabolism, and stress responses. Journal of Experimental Botany 70: 4069–4073.

Krapp, A. 2015. Plant nitrogen assimilation and its regulation: a complex puzzle with missing pieces. Current Opinion in Plant Biology 25: 115-122.

Manore, D. and Yohanns, A. 2019. Evaluating growth, seed yield and yield attributes of camelina (*Camelina sativa* L) in response to seeding rate and nitrogen fertilizer levels under irrigation condition, southern Ethiopia. Agriculture, Forestry and Fisheries 8: 31-35.

Moran-Zuloaga, D., Dippold, M., Glaser, B. and Kuzyakov, Y. 2015. Organic nitrogen uptake by plants: reevaluation by position-specific labeling of amino acids: Reevaluation of organic N uptake by plants by position-specific labeling. Biogeochemistry 125: 359–374.

Narayan, O.P., Kumar, P., Yadav, B., Dua, M. and Johri, A. K. 2023. Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. Plant Signaling and Behavior 18(1), 2030082.

Neupane, D., Lohaus, R.H., Solomon, J.K. and Cushman, J.C. 2022. Realizing the potential of Camelina sativa as a bioenergy crop for a changing global climate. Plants 11(6), 772.

Ott, M.A., Eberle, C.A., Thom, M.D., Archer, D.W., Forcella, F., Gesch, R.W. and Wyse, D.L. 2019. Economics and agronomics of relay- cropping pennycress and Camelina with Soybean in Minnesota. Agronomy Journal 111: 1281–1292.

Phogat, M., Rai, A.P., Kumar, S. and Angmo, P. 2021. Effect of phosphorus and sulphur application on their dynamics and nodulation in soil under black gram [*Vigna mungo* (L.) Hepper] crop. Legume Research an International Journal 44:315–321.

Prasad, R. and Shivay, Y. S. 2018. Sulphur in soil, plant and human nutrition. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B- Biological Sciences 88: 429–434.

- Riar, A., Gill, G. and McDonald, G. 2020.** Different post-sowing nitrogen management approaches required to improve nitrogen and water use efficiency of canola and mustard. *Frontiers in Plant Science* 11,550735.
- Riaz, F., Riaz, M., Arif, M. S., Yasmeen, T., Ashraf, M. A., Adil, M., Ali, S., Mahmood, R., Rizwan, M., Hussain, Q., Zia, A., Ali, M. A., Arif, M. and Fahad, S. 2020.** Alternative and non-conventional soil and crop management strategies for increasing water use efficiency. *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth*, 323-338.
- Ropelewska, E. and Jankowski, K.J. 2020.** Effect of sulfur fertilization on the physical and chemical properties of crambe (*Crambe abyssinica* Hochst ex RE Fries) seeds. *Oilseeds and Fats, Crops and Lipids* 27, 18: 1-6.
- Shah, S.H., Islam, S. and Mohammad, F. 2022.** Sulphur as a dynamic mineral element for plants: A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 22(2): 2118-2143.
- Singh, A., Aggarwal, N., Aulakh, G.S. and Hundal, R.K. 2017.** Ways to maximize the water use efficiency in field crops—a review. *Greener Journal of Agricultural Sciences* 2: 108–129.
- Sintim, H.Y., Zheljazkov, V.D., Obour, A.K., y Garcia, A.G. and Foulke, T.K. 2015.** Influence of nitrogen and sulfur application on camelina performance under dryland conditions. *Industrial Crops and Products* 70: 253-259.
- Solis, A., Vidal, I., Paulino, L., Johnson, B.L. and Berti, M.T. 2013.** Camelina seed yield response to nitrogen, sulfur, and phosphorus fertilizer in South Central Chile. *Industrial Crops and Products* 44: 132-138.
- Wang, D., Wang, J., Chadwick, D.R., Ge, T. and Jones. D.L. 2023.** Competition for two sulphur containing amino acids (cysteine and methionine) by soil microbes and maize roots in the rhizosphere. *Biology and Fertility of Soils* 59: 697-704.
- Wysocki, D.J., Chastain, T.G., Schillinger, W.F., Guy, S.O. and Karow, R.S. 2013.** Camelina: seed yield response to applied nitrogen and sulfur. *Field Crops Research* 145: 60-66.
- Yao, X., Nie J, Bai, R. and Sui, X. 2020.** Amino acid transporters in plants: Identification and function. *Plants* 9:1–17.

The effect of sulfur and nitrogen on the characteristics of the roots and shoots of camelina (*Camelina sativa* L.)

A. Taherinezhad¹, M. Ghobadi^{2*} and D. Kahrizi³

1 & 2) Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran.

3) Department of Biotechnology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

*Corresponding author: e.ghobadi@razi.ac.ir

This article is taken from a doctoral dissertation.

Received date: 2023.04.26

Accepted date: 2023.08.14

Abstract

Camelina (*Camelina sativa* L.) is a plant with oil seeds suitable for rain fed cultivation. In dry farming conditions, the appropriate amount of nitrogen and sulfur fertilizers play an important role in root and shoot growth. Based on this, an experiment was conducted to investigate the effect of sulfur and nitrogen fertilizers on the growth of the roots and shoot of *Camelina* (var. Sohail). The factors included sulfur fertilizer (0, 50, 100 and 150 kg ha⁻¹) and nitrogen fertilizer (0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹). The values of root volume and length traits, no. silique plant⁻¹ and no. seeds silique⁻¹ increased with the use of sulfur, but there was no significant difference between 100 and 150 kg ha⁻¹ of sulfur. The highest values of root volume, root height, root dry weight (2.8 g plant⁻¹), allometric coefficient, shoot dry matter, seed yield (2.22 g plant⁻¹), no. silique plant⁻¹, no. seeds silique⁻¹, 1000- seeds weight and the water use efficiency (1.82 g kg⁻¹) were obtained using 120 kg ha⁻¹ of nitrogen. The interaction effects between the treatments on leaf area, root surface and plant height traits were significant. The highest amount of these traits were 66.6 cm² plant⁻¹, 26.5 cm² plant⁻¹ and 74.6 cm in sulfur and nitrogen treatments, respectively 150 and 120 kg ha⁻¹. In general, the results showed that in rain fed conditions, increasing the amount of nitrogen fertilizer increased root growth, seed yield and water use efficiency in *Camelina*, but sulfur fertilizer had no significant effect.

Key words: Root dry weight, Allometric coefficient, Grain yield and Water use efficiency.