دو فصلنامه‌ی علوم به زراعی گیاهی
دوره سیزدهم ، شماره اول، بهار و تابستان۱۴۰۲

اثر اصلاح‌کننده‌های خاک بر اجزای عملکرد، عملکرد و درصد روغن دانه کلزا (*Brassica napus* L.)

۱. حسن یحیی‌پور، گروه زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
۲. یوسف نیک‌نژاد*، گروه زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران. مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.
۳. هرمز فلاح، گروه زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران. مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.
۴. سلمان دستان، پژوهشگر، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج
۵. داوود براری تاری، گروه زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران. مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.

***مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی:** yousofniknejad@gmail.com
(تاریخ دریافت:۲۵ خرداد ۱۴۰۲، تاریخ پذیرش: ۲۷ تیر ماه ۱۴۰۲)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر اصلاح‌کننده‌های خاک بر اجزای عملکرد، عملکرد و درصد روغن دانه کلزا (*Brassica napus* L.)، آزمایشی به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه کشاورز واقع در شهرستان آمل در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک در هشت سطح شاهد یا عدم مصرف اصلاح-کننده، مصرف بیوچار، مصرف نانوذرات سیلیکون، مصرف نانوذرات روی، مصرف بیوچار + نانوذرات سیلیکون، مصرف بیوچار + نانوذرات روی، مصرف نانوذرات سیلیکون + نانوذرات روی و مصرف بیوچار + نانوذرات سیلیکون + نانوذرات روی بودند. نتایج نشان داد که کاربرد تمامی اصلاح‌کننده‌های خاک موجب بهبود اجزای عملکرد، عملکرد و محتوای روغن دانه کلزا در مقایسه با تیمار شاهد یا عدم مصرف اصلاح‌کننده‌ها شدند. به طور کلی، کاربرد ترکیبی اصلاح-کننده‌ها اثرات بهتری بر صفات مورد مطالعه نسبت به کاربرد جداگانه هر یک از اصلاح‌کننده‌ها داشت و هم‌چنین در بین تیمارهای انفرادی، مصرف نانوذرات اکسید روی بیشترین تأثیر را در بهبود اجزای عملکرد و عملکرد دانه نشان داد. حداکثر ارتفاع بوته (۱۴۴/۳۳ سانتی‌متر)، تعداد خورجین در بوته (۲۴۰ عدد) و عملکرد دانه (۳۲۶۳/۷ کیلوگرم در هکتار) زمانی حاصل شد که هر سه اصلاح‌کننده به طور همزمان مورد استفاده قرار گرفتند. بین تیمارهای انفرادی و ترکیبی اصلاح‌کننده‌ها از نظر محتوای روغن دانه اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به نتایج مطالعه حاضر، کاربرد همزمان اصلاح‌کننده‌های خاک می‌تواند نقش مؤثری در بهبود خصوصیات کمی و کیفی دانه کلزا داشته باشد.

واژگان کلیدی: بیوچار، روی، سیلیس، عملکرد دانه، کلزا

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات روغنی در جهان است که در مساحتی حدود ۳۶۷۷۳۵۸۰ هکتار در سراسر جهان کشت می‌شود و مقدار تولید آن حدود ۷۱۳۳۳۴۳۴/۶۸ تن در هکتار برآورد شده است. سطح برداشت کلزا در ایران نیز حدود ۱۱۲۷۲۹ هکتار و میزان تولید آن معادل ۲۱۵۲۹۱/۲۲ تن در هکتار گزارش شده است (۱۹). کلزا یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی می‌باشد که دارای بیش از ۴۰ درصد روغن در دانه و حدود ۴۰ درصد پروتئین در کنجاله می‌باشد، لذا نقش مهمی در تغذیه انسان و خوراک دام و طیور دارد (۳). یکی از ارکان سیستم کشاورزی پایدار استفاده از کودهای آلی به منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی است (۱). استفاده از کودهای آلی از موثرترین شیوه‌های تغذیه گیاه در جهت افزایش عملکرد، هماهنگ با محیط زیست و نیل به اهداف کشاورزی اکولوژیک است (۲۲). یکی از روش‌های پایدار مدیریت خاک اراضی زراعی، استفاده از اصلاح‌کننده بیوچار است (۳۵). بیوچار از تجزیه حرارتی مواد آلی در یک محیط با اکسیژن محدود حاصل می‌شود که خصوصیات آن موجب اصلاح خاک می‌شود (۱۳). اثرات مثبت بیوچار بر بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی و کاهش اسیدیته خاک گزارش شده است (۱۱).

امروزه نانوکودها فناوری نوینی هستند که با کوچک کردن اندازه ذرات در مقیاس نانو شامل ذره‌هایی با ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر (۳۲)، دارای قابلیت جذب سریع و کامل توسط گیاه می‌باشند (۳۳). با بکارگیری نانوکودها به عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی کود به تدریج و به صورت کنترل شده در خاک آزاد می‌شوند و در نتیجه از بروز پدیده مردابی شدن آب‌های ساکن و همچنین آلودگی آب آشامیدنی جلوگیری به عمل خواهد آمد (۱۶). استفاده حداکثری از منابع تولید به خصوص با مصرف نانوکودها و افزایش کارآیی فتوسنتزی می‌تواند کاهش خطرات زیست‌محیطی حاصل از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی را در بر داشته باشد (۲).

عنصر روی محدودکننده‌ترین ریزمغذی در بین عناصر ریز مغذی در تولید گیاهان زراعی در سراسر جهان است (۳۹). یانگ و همکاران (۴۸) اظهار داشتند که مصرف کود روی موجب افزایش تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، عملکرد دانه و محتوای روغن دانه در کلزا شد. مصطفوی‌راد و همکاران (۷) با بررسی تأثیر عناصر کم‌مصرف بر عملکرد و درصد روغن دانه ارقام کلزا بیان داشتند که عملکرد دانه و صفت کیفی روغن دانه کلزا به دلیل هم‌افزایی دو عنصر روی و منگنز موجب افزایش عملکرد دانه و بهبود اسید چرب غیراشباع اولئیک در روغن کلزا گردید. این محققان افزودند که کاربرد توأم روی و منگنز می‌تواند در افزایش کمیت و کیفیت دانه و روغن کلزا بسیار تأثیرگزار باشد. سایر محققان گزارش نمودند که مصرف همزمان روی و آهن سبب افزایش عملکرد دانه، محتوای روغن و پروتئین دانه کلزا گردید (۱۴). قمری و همکاران (۴) بیان نمودند که افزایش نانواکسید روی موجب افزایش طول گیاهچه‌های کلزا گردید و در بین تیمارهای مورد آزمایش تیمار مصرف ۱/۸ میلی‌مولار نانواکسید روی سبب تولید بیشترین طول گیاهچه و شاخص طولی قدرت گردید.

سیلیکون دومین عنصر فراوان در خاک است که به عنوان یک عنصر مفید برای گیاهان عالی محسوب می‌شود (۳۴). گزارش شده که افزودن سیلیکون موجب بهبود صفات رشدی و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی در گیاه کلزا گردید (۲۵). شریفی (۴۱) بیان نمود که کاربرد سیلیکون به مقدار ۱/۵ میلی‌مولار موجب افزایش

معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، محتوای کلروفیل‌های a و b و در نهایت بهبود عملکرد دانه کلزا گردید. در مطالعه دیگری، بای‌بوردی (۱۵) گزارش داد که با افزایش مقدار مصرف سیلیکون از صفر به ۴ گرم در لیتر، بسیاری از خصوصیات کمی و کیفی کلزا مانند تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و محتوای روغن دانه به طور قابل توجهی افزایش یافت. منشی و همکاران (۹) با بررسی تأثیر مصرف سیلیکات کلسیم بر صفات زراعی کلزا گزارش دادند که مقدار شاخص سبزینگی گیاه و میزان کل بیوماس تولیدی با محلول‌پاشی سیلیس به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد یا عدم محلول‌پاشی سیلیس افزایش یافت.

بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک شامل بیوچار، نانوسیلیکون و نانواکسید روی بر اجزای عملکرد، عملکرد و درصد روغن دانه کلزا اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه کشاورز واقع در استان مازندران، شهرستان آمل در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. منطقه اجرای طرح با مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۲ دقیقه طول شرقی در ارتفاع ۱۱۰ متری از سطح دریای آزاد قرار گرفته است. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از اجرای آزمایش، اقدام به نمونه‌برداری از خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در چند نقطه و مخلوط کردن نمونه‌ها و تهیه نمونه مرکب گردید. نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت

پتاسیم قابل جذب میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فسفر قابل جذب (میلی- گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن کل (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	سیلت (درصد)	رس (درصد)	شن (درصد)	بافت خاک
۱۴۲	۱۱/۲	۰/۱۸	۱/۵۰	۷/۱۱	۳۶	۴۴	۲۰	لوم رسی

تیمارهای آزمایش شامل کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک در هشت سطح شاهد یا عدم مصرف اصلاح‌کننده، مصرف بیوچار، مصرف سیلیکون، مصرف روی، مصرف بیوچار + سیلیکون، مصرف بیوچار + روی، مصرف سیلیکون + روی و مصرف بیوچار + سیلیکون + روی بودند. در این آزمایش از رقم هایولا ۴۰۱ برای کاشت استفاده گردید. هر کرت آزمایشی شامل ۴ ردیف کاشت با فاصله ۲۵ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و طول ۴ متر بود. فاصله بین تکرارها نیز ۲ متر بود. کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه تقسیط (یک‌سوم در زمان کاشت، یک‌سوم در مرحله طویل‌شدن ساقه و یک‌سوم در مرحله شروع گلدهی) به طور یکنواخت در کرت‌های آزمایشی مصرف شد. کودهای فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت به کرت‌ها اضافه گردیدند. در این آزمایش از بیوچار پوسته برنج استفاده شد که جهت تهیه آن، پوسته‌های برنج در ورقه‌های آلومینیومی بسته‌بندی و به مدت ۳۰ تا ۴۵ دقیقه در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در داخل کوره

قرار داده شدند تا فرآیند آتشکافت (فرآیند سوختن کند و آرام مواد آلی در شرایط کم یا عدم وجود اکسیژن) صورت پذیرد و بیوچار تولید گردد. اسیدیته و هدایت الکتریکی در نسبت یک به ۱۰ بیوچار به آب اندازه‌گیری شد. بیوچار پوسته برنج به میزان ۱۰ تن در هکتار (۳۰). بر اساس تیمارهای مورد نظر با خاک مخلوط شد. کودهای سیلیکون و روی از منبع نانوذرات (تولید شده توسط شرکت تحقیقات نانو مواد آمریکا) به غلظت چهار در هزار طی مراحل گلدهی و غلاف‌دهی در کرت‌ها محلول‌پاشی شدند. خصوصیات بیوچار و نانوذرات مورد استفاده در مطالعه حاضر به‌ترتیب در جداول ۲ و ۳ ارائه گردیده است.

جدول ۲- خصوصیات بیوچار مورد استفاده در این مطالعه

نسبت کربن/نیتروژن (درصد)	پتاسیم (درصد)	فسفر (درصد)	نیتروژن (درصد)	کربن (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی-زیمنس بر متر)	اسیدیته
۷۶	۱/۰۳	۰/۰۸	۰/۶۰	۴۵/۶	۰/۲۲	۸/۱

جدول ۳- خصوصیات نانوذرات مورد استفاده در این مطالعه

رنگ	سطح ویژه مخصوص (گرم بر متر مکعب)	تراکم واقعی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	اندازه ذرات (نانومتر)	درصد خلوص (درصد)	نانوذرات
سفید	۱۸۰-۶۰۰	۲/۴	۲۰-۳۰	بیشتر از ۹۹ درصد	دی‌اکسید سیلیکون
سفید شیری	۲۰-۶۰	۵/۶۰۶	۱۰-۳۰	بیشتر از ۹۹ درصد	اکسید روی

جهت کنترل علف‌های هرز، علف‌کش تریفلورالین (Treflan EC 48%) به مقدار ۲/۵ لیتر در هکتار قبل از کشت کلزا در کرت‌ها استفاده شد. در زمان برداشت، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، ۱۲ بوته به طور تصادفی از وسط هر کرت آزمایشی انتخاب و صفات زراعی نظیر ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه تعیین شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، دو ردیف میانی از هر کرت برداشت شد، سپس دانه‌ها از خورجین‌ها جدا و وزن دانه با استفاده از ترازوی دقیق محاسبه گردید و در نهایت عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار بیان شد. درصد روغن دانه با استفاده از دستگاه سوکسله تعیین شد. بر این اساس، جهت استخراج روغن، مقدار ۱۰ گرم بذر خرد شده و ۳۰۰ سی سی بنزن در دستگاه سوکسله قرار داده شد. فرآیند روغن‌گیری به مدت دو الی سه ساعت ساعت انجام گرفت. در نهایت جهت جدا نمودن حلال از روغن، به مدت ۲۰ دقیقه از دستگاه روتاری استفاده گردید. سپس ظرف حاوی روغن به مدت ۴۸ ساعت در مکانی تاریک و خنک جهت خارج شدن بقایای حلال قرار گرفت. در نهایت میزان روغن استخراج شده وزن و سپس درصد روغن دانه محاسبه گردید. در نهایت، تجزیه واریانس داده‌های آماری با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسات میانگین بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات تیمارهای آزمایش بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۴۲/۱۶ و ۱۴۴/۳۳ سانتی‌متر با کاربرد تیمارهای بیوچار + نانوسیلیکون و بیوچار + نانوسیلیکون + نانواکسید روی حاصل شد، اگرچه با تیمارهای مصرف انفرادی بیوچار و هم‌چنین مصرف همزمان بیوچار + نانواکسید روی و نانوسیلیکون + نانواکسید روی اختلاف آماری معنی-داری نداشت. کمترین ارتفاع بوته نیز با میانگین ۱۲۰/۵۶ سانتی‌متر در شرایط شاهد یا عدم کاربرد اصلاح-کننده‌ها مشاهده شد (جدول ۵). نتیجه حاضر نشان داد که حداکثر ارتفاع بوته تحت شرایط کاربرد ترکیبی اصلاح‌کننده‌های خاک به‌دست آمد و در بین مصرف انفرادی اصلاح‌کننده‌ها، استفاده از بیوچار اثرات بهتری بر بهبود ارتفاع بوته کلزا در مقایسه با کاربرد نانوذرات سیلیکون و روی داشت.

گیاهان با ارتفاع بیشتر دارای تعداد خورجین در بوته بالاتر و برگ‌های بیشتری بوده و در نهایت می‌توانند تعداد دانه‌های بیشتری تولید کنند (۳۱). گزارش شده که کاربرد اصلاح‌کننده بیوچار به واسطه بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند موجب افزایش رشد محصول گردد (۱۲). سایر محققان نیز بیان داشتند که که مصرف بیوچار از طریق بهبود وضعیت تهویه خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه موجب افزایش رشد گیاه می‌گردد (۱۸). بررسی‌های به عمل امده توسط شریفی (۴۱) نشان داد که کاربرد سیلیس موجب افزایش ارتفاع بوته کلزا در مقایسه با تیمار شاهد یا عدم مصرف سیلیس گردید. مطالعات قبلی نشان داد که با افزایش مقدار مصرف سیلیکون از سطح صفر به ۴ گرم در لیتر، ارتفاع بوته کلزا به طور معنی‌داری افزایش یافت (۱۵). قمری و همکاران (۴) اظهار داشتند که تیمار گیاهان با نانوذرات اکسید روی منجر به افزایش طول گیاهچه‌های کلزا گردید.

جدول ۴- تجزیه واریانس اجزای عملکرد، عملکرد و روغن دانه کلزا

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	محتوای روغن دانه
تکرار	۲	۱۲/۹۴	۱۵۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۰۰۰۸	۳۹۲۰۸/۶۶	۰/۱۰
تیمار	۷	۱۹۳/۴۹**	۱۱۹۷/۰۲**	۱۹/۵۲*	۰/۰۳۵۷*	۱۴۶۳۲۲/۸۳**	۱/۸۴**
خطا	۱۴	۴۴/۲۴	۱۵۶/۳۹	۴/۹۷	۰/۰۰۸۳	۳۱۰۸۰/۷۶	۰/۳۷
ضریب تغییرات (درصد)	-	۴/۹۷	۵/۷۰	۷/۱۵	۴/۶۷	۵/۸۷	۱/۲۹

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات تیمارهای آزمایش بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه کلزا

تیمارها	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
شاهد	۱۲۰/۵۶c	۱۸۱/۳۳d	۲۷/۶۶c	۱/۷۳c	۲۵۶۳/۳c
بیوچار	۱۳۴/۷۶ab	۲۱۷/۰۰bc	۲۹/۰۰bc	۱/۹۶ab	۲۹۵۹/۷ab
نانوسیلیکون	۱۲۶/۱۳bc	۱۹۸/۳۳cd	۳۲/۰۰ab	۱/۹۱b	۲۸۴۲/۰bc
نانواکسید روی	۱۲۹/۳۶bc	۲۲۵/۰۰ab	۲۸/۶۶bc	۲/۰۴ab	۳۰۴۴/۷ab
بیوچار+ نانوسیلیکون	۱۴۲/۱۶a	۲۲۳/۶۷ab	۳۴/۳۳a	۱/۹۴b	۳۰۲۷/۰ab
بیوچار+ نانواکسید روی	۱۳۷/۶۶ab	۲۳۱/۰۰ab	۳۰/۶۶abc	۲/۱۱a	۳۱۳۶/۳ab
نانوسیلیکون+ نانواکسید روی	۱۳۴/۸۶ab	۲۳۶/۳۳ab	۳۳/۰۰a	۱/۹۷ab	۳۱۸۲/۷a
بیوچار+ نانوسیلیکون+ نانواکسید روی	۱۴۴/۳۳a	۲۴۰/۰۰a	۳۴/۰۰a	۱/۹۸ab	۳۲۶۳/۷a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

تعداد خورجین در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که تعداد خورجین در بوته از نظر آماری تحت تأثیر تیمارهای آزمایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴). نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که تعداد خورجین در بوته در پاسخ به کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک به طور معنی‌داری افزایش یافت، به طوری که بیشترین تعداد خورجین در بوته (۲۴۰ عدد) با کاربرد همزمان بیوچار + نانوسیلیکون + نانواکسید روی حاصل گردید، اگرچه با سایر تیمارهای ترکیبی اصلاح‌کننده‌ها و هم‌چنین مصرف نانواکسید روی به تنهایی اختلاف آماری معنی‌داری نداشت ولی در شرایط شاهد، تعداد خورجین در بوته به میزان ۲۴/۴ درصد کاهش یافت. کاربرد جداگانه هر یک از اصلاح‌کننده‌های بیوچار، نانوسیلیکون و نانواکسید روی به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۶/۴، ۸/۶ و ۱۹/۴ درصدی تعداد خورجین در بوته در مقایسه با تیمار شاهد شد که این نتیجه نشان‌دهنده اثرات مثبت اصلاح‌کننده‌ها به‌خصوص نانواکسید روی در بهبود تعداد خورجین در بوته می‌باشد (جدول ۵). به هر حال نتیجه حاضر نشان داد که کاربرد ترکیبی هر سه اصلاح‌کننده منجر به تولید حداکثر خورجین در بوته گیاه شد و اثرات بهتری نسبت به کاربرد جداگانه هر یک از اصلاح‌کننده‌ها نشان دادند.

کاربرد بیوچار به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک علاوه بر افزایش سرعت رشد گیاه و حاصلخیزی خاک، موجب بهبود خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی خاک نیز می‌گردد (۴۷). در نتایجی مشابه، لیو و همکاران (۲۹) گزارش دادند که کاربرد ترکیبی بیوچار و کودهای معدنی در خاک‌های فقیر از عناصر غذایی اثرات مثبت بهتری بر رشد و عملکرد محصول در مقایسه با کاربرد جداگانه بیوچار و کودها داشت. هم‌چنین، یکی از دلایل کاهش تعداد خورجین‌ها در بوته در تیمار شاهد ممکن است گرده‌افشانی ضعیف به دلیل کمبود عنصر روی باشد. کاربرد عنصر روی نقش حیاتی در جلوگیری از تلفات خورجین در کلزا دارد (۴۳). عنصر روی از طریق تولید هورمون اکسین منجر به افزایش تولید شاخه و خورجین در بوته گیاه کلزا می‌گردد (۴۶). گزارش شده که محلول‌پاشی سیلیس اثر معنی‌داری بر تعداد خورجین در بوته کلزا داشت (۲۱). اثرات مثبت سیلیکون بر بهبود تعداد خورجین در بوته در مقایسه با عدم مصرف سیلیکون در نتایج سایر محققان نیز گزارش شده است (۱۵).

تعداد دانه در خورجین

بر اساس نتایج حاصل از جدول ۴، اثرات اصلاح‌کننده‌های خاک بر صفت تعداد دانه در خورجین در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثرات کاربرد اصلاح‌کننده‌ها نشان داد که بیشترین تعداد دانه در خورجین به‌ترتیب با میانگین‌های ۳۴/۳۳، ۳۳ و ۳۴ دانه با کاربرد تیمارهای بیوچار + نانوسیلیکون، نانوسیلیکون + نانواکسید روی و بیوچار + نانوسیلیکون + نانواکسید روی به‌دست آمد و در شرایط شاهد یا عدم مصرف اصلاح‌کننده‌ها، تعداد دانه در خورجین حدود ۱۹/۴ درصد نسبت به حداکثر تعداد دانه در خوشه کاهش یافت. نتیجه تحقیق حاضر نشان داد که هر یک از تیمارهای ترکیبی اصلاح‌کننده‌ها توانست اثرات بهتری بر تعداد دانه در خورجین در مقایسه با کاربرد جداگانه اصلاح‌کننده‌ها به جز مصرف انفرادی نانوسیلیکون داشته باشد. کاربرد نانوسیلیکون به هر دو صورت انفرادی و ترکیبی با سایر اصلاح‌کننده-ها نقش مؤثری در بهبود تعداد دانه در خورجین داشت (جدول ۵).

کاربرد سیلیس به واسطه افزایش باروری دانه‌ها موجب بهبود عملکرد محصول می‌گردد (۴۵). در راستای نتایج حاصل از مطالعه حاضر، شریفی (۴۱) گزارش داد که کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار سیلیس منجر به افزایش تعداد دانه در خورجین به میزان ۲۲/۳ درصد در مقایسه با تیمار شاهد یا عدم کاربرد سیلیس شد. در مطالعه دیگری، بای‌بوردی (۱۵) اظهار نمود که کاربرد سیلیکون نقش مؤثری در افزایش معنی‌دار تعداد دانه در خورجین در گیاه کلزا داشت، که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. گزارشات حاکی از آن است که عنصر روی نقش کلیدی در سنتز پروتئین، متابولیسم کربوهیدرات، کنترل هورمون‌های مختلف رشد، افزایش فعالیت آنزیم‌ها و تولید و رسیدگی دانه دارد (۲۸).

وزن هزار دانه

نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات تیمارهای آزمایش بر وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴). بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۵)، کاربرد ترکیبی بیوچار + نانواکسید روی منجر به حصول حداکثر وزن هزار دانه (۲/۱۱ گرم) گردید، اگرچه با تیمارهای کاربرد انفرادی بیوچار و نانواکسید روی و هم‌چنین کاربرد همزمان نانوسیلیکون + نانواکسید روی و بیوچار + نانوسیلیکون + نانواکسید روی در یک گروه آماری قرار گرفتند. حداقل وزن هزار دانه نیز با حدود ۱۸ درصد کاهش در شرایط شاهد یا عدم استفاده از اصلاح‌کننده‌ها مشاهده گردید.

به نظر می‌رسد وزن هزار دانه متأثر از سایر اجزای عملکردی نظیر تعداد دانه در خورجین باشد به طوری که در مطالعه حاضر در تیمارهایی با تعداد دانه در خورجین بالاتر، وزن هزار دانه کاهش و بالعکس در تیمارهایی با تعداد دانه در خورجین پایین‌تر، وزن دانه افزایش یافت. فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از طریق تأثیر بر تقسیم و رشد سلولی و هم‌چنین انتقال آسیمیلات‌ها به دانه موجب افزایش وزن هزار دانه می-شود (۴۰). گزارش شده که تغذیه گیاه با کود سیلیکون موجب افزایش وزن هزار دانه در مقایسه با تیمار شاهد یا عدم کاربرد سیلیکون شد (۴۱). محققان بیان نمودند که عنصر روی به واسطه فراهمی عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه موجب بهبود تجمع مواد فتوسنتزی در دانه و نهایتاً افزایش وزن هزار دانه می‌گردد (۴۳). روی از طریق افزایش تولید آسیمیلات‌ها و انتقال بهتر آن‌ها به دانه موجب افزایش وزن هزار دانه می-گردد (۵). گروه دیگری از پژوهشگران نیز اثرات مثبت نانواکسید روی بر افزایش وزن هزار دانه کلزا را گزارش

دادند (۱۰). شیخ‌نظری و همکاران (۴۲) بیان نمودند که کاربرد ترکیبی بیوچار و نانوذرات اکسید روی موجب افزایش وزن هزار دانه برنج در مقایسه با تیمار شاهد شد. در مطالعه دیگری، محمود سلطانی و عباسیان (۶) اثرات مثبت بیوچار بر بهبود وزن هزار دانه را گزارش نمودند.

عملکرد دانه

ارزیابی نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر تیمارهای آزمایش در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثرات تیمارهای آزمایشی نشان داد که کاربرد تمامی اصلاح‌کننده‌ها به هر دو صورت انفرادی و ترکیبی منجر به بهبود عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد یا عدم کاربرد اصلاح‌کننده‌ها شدند، ولی به هر حال حداکثر عملکرد دانه به‌ترتیب با میانگین‌های ۳۱۸۲/۷ و ۳۲۶۳/۷ کیلوگرم در هکتار با کاربرد تیمارهای ترکیبی نانوسیلیکون + نانواکسید روی و بیوچار + نانوسیلیکون + نانواکسید روی حاصل شد که که حدود ۱۹/۵ و ۲۱/۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد یا عدم کاربرد اصلاح‌کننده‌ها بود. در بین تیمارهای انفرادی، کاربرد نانوذرات اکسید روی اثرات بهتری در افزایش عملکرد دانه در مقایسه با سایر اصلاح‌کننده‌ها داشت، به طوری که زمانی که به بیوچار یا نانوسیلیکون اضافه شد اثرات مثبت آن در بهبود عملکرد دانه مشهود بود (جدول ۵).

افزایش عملکرد دانه با استفاده از کاربرد ترکیبی اصلاح‌کننده‌های خاک را می‌توان به افزایش اجزای عملکرد به خصوص تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین نسبت داد.. کاربرد بیوچار به واسطه افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاه موجب افزایش اجزای عملکرد و عملکرد گیاه می‌گردد (۳۸). گزارش شده که مصرف همزمان بیوچار و کودهای معدنی موجب بهبود رشد و عملکرد محصول زراعی می‌گردد (۲۰)، که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت دارد. استفاده از عناصر به فرم نانوذرات می‌تواند ضمن کاهش تلفات عناصر غذایی، موجب بهبود رشد و افزایش عملکرد محصول گردد (۱۷). خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد نانوذرات موجب بهبود رشد و متابولیسم گیاه می‌گردد (۲۴). نانوکودها در مقایسه با کودهای متداول شیمیایی، راندمان مصرف بالاتری دارند و می‌توانند به صورت مطلوب در نقطه مناسبی از ناحیه رشد، عناصر غذایی خود را آزاد کنند که این عمل اثر معنی‌داری را در خصوصیات رشدی گیاهان و در نتیجه عملکرد محصول ایجاد می‌کند (۸). استفاده از سیلیکون به واسطه رسوب‌گذاری در برگ‌ها، افزایش مقاومت برگ‌ها، افزایش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی نظیر محتوای کلروفیل در سطح برگ و در نتیجه بهبود جذب نور توسط گیاهان بر عملکرد محصول تأثیر می‌گذارد (۳۶). گزارش شده که مصرف نانوذرات سیلیکون می‌تواند جهت افزایش بهره‌وری کود و هم‌چنین بهبود عملکرد محصول مفید باشد (۳۷). بررسی‌های به عمل آمده توسط بای‌بوردی (۱۵) نشان داد که افزودن سیلیکون (چهار گرم در لیتر) به گیاه کلزا به واسطه افزایش سنتز کلروفیل و جلوگیری از تجمع سدیم در بافت گیاه منجر به بهبود صفات زراعی و افزایش عملکرد دانه کلزا (۲۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) گردید. گروه دیگری از پژوهشگران گزارش نمودند که مصرف نانوذرات اکسید روی از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز موجب افزایش فتوسنتز و بهبود عملکرد و کیفیت تغذیه محصولات روغنی می‌گردد (۴۴).

محتوای روغن دانه

نتایج ارائه شده در جدول ۴، حاکی از آن بود که محتوای روغن دانه کلزا تحت تأثیر اثرات تیمارهای آزمایش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد تمامی اصلاح-کننده‌ها به هر دو صورت انفرادی و ترکیبی موجب افزایش معنی‌دار محتوای روغن دانه کلزا در مقایسه با تیمار شاهد شد، اگرچه حداکثر محتوای روغن (۴۷/۷۰ درصد) با کاربرد ترکیبی نانوسیلیکون + نانواکسید روی به‌دست آمد. اگرچه اختلاف ایجاد شده بین تیمارهای کاربرد اصلاح‌کننده‌ها معنی‌دار نبود ولی به هر حال مصرف ترکیبی اصلاح‌کننده‌ها اثرات بهتری نسبت به کاربرد جداگانه آن‌ها داشت. هم‌چنین در بین تیمارهای انفرادی، کاربرد نانواکسید روی تا حدودی سبب بهبود محتوای روغن دانه در مقایسه با نانوسیلیکون و بیوچار گردید (شکل ۱).

استفاده از نانوکودها به دلیل آزادسازی تدریجی عناصر غذایی موجب بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه و وضعیت تغذیه‌ای دانه می‌گردد (۲۶). مطالعات قبلی نشان داد که تغذیه سیلیکون می‌تواند به بهبود محتوای روغن دانه کلزا کمک نماید (۲۷). در همین راستا، بای‌بوردی (۱۵) گزارش داد که کاربرد سیلیکون (چهار گرم بر لیتر) موجب افزایش معنی‌دار درصد روغن دانه کلزا (۴۰/۱ درصد) در مقایسه با عدم کاربرد سیلیکون (۳۹/۷ درصد) گردید. گروه دیگری از پژوهشگران (۲۱) اظهار داشتند که کاربرد سیلیس اثرات مثبت معنی-داری را بر بهبود عملکرد روغن دانه کلزا نشان داد. گزارش شده که با افزایش مصرف روی از سطح صفر به ۱۰ کیلوگرم در هکتار، میزان روغن دانه از سطح ۳۸/۴ درصد به ۴۰/۵ درصد افزایش یافت که نشان‌دهنده نقش مؤثر روی در بهبود روغن دانه کلزا می‌باشد (۲۳). بررسی‌های به عمل آمده توسط سایر محققان (۱۰) نشان داد که با کاربرد برگی نانوذرات اکسید روی می‌توان محتوای روغن دانه کلزا را به میزان ۲۰/۸ درصد نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی افزایش داد.

شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات تیمارهای آزمایش بر محتوای روغن دانه کلزا

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد هر یک از اصلاح‌کننده‌های خاک شامل بیوچار، نانوذرات سیلیکون و نانوذرات اکسید روی به هر دو فرم انفرادی و ترکیبی می‌توانند موجب بهبود اجزای عملکرد، عملکرد و درصد روغن دانه کلزا در مقایسه با شاهد شوند. به هر حال، کاربرد ترکیبی اصلاح‌کننده‌ها اثرات مثبت بیشتری بر صفات مورد بررسی در مقایسه با مصرف جداگانه هر یک از اصلاح‌کننده‌ها داشت. در بین تیمارهای کاربرد انفرادی اصلاح‌کننده‌ها، نانوذرات اکسید روی توانست اثرات بهتری بر عملکرد دانه کلزا نسبت به سایر اصلاح‌کننده‌ها داشته باشد که ناشی از افزایش جز عملکردی تعداد خورجین در بوته بود. به طور کلی، گیاهان تیمار شده با ترکیبی از هر سه اصلاح‌کننده، حداکثر میزان عملکرد دانه را نشان دادند. محتوای روغن دانه با کاربرد اصلاح‌کننده‌ها به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت ولی بین تیمارهای انفرادی و ترکیبی کاربرد اصلاح‌کننده‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. با توجه به نتایج حاصله از مطالعه حاضر، کاربرد ترکیبی اصلاح‌کننده‌های خاک شامل بیوچار + نانوسیلیکون + نانواکسید روی می‌تواند تیمار مناسبی جهت بهبود خصوصیات کمی و کیفی دانه کلزا باشد.

منابع مورد استفاده

۱- **رضوی‌نیا، س.م.، آقاعلیخانی، م. و نقد بادی، ح. ۱۳۹۴.** تأثیر کود ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه سرخارگل (*Echinaceae purpurea* (L.) Moench). مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۱(۲): ۳۵۷-۳۷۳.

۲- **سپهری، ع. و وزیری امجد، ز. ۱۳۹۴.** اثر نانوکودهای آهن و روی بر عملکرد کمی کاسنی در تراکم‌های مختلف کاشت. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۷۴-۶۱.

۳- **فتاحی‌نژاد، ا.، سیادت، ع.، اسفندیاری، م.، مقدسی، ر. و معزی، ع. ۱۳۹۲.** تأثیرکود فسفر بر عملکرد، روغن و پروتئین کلزا در زراعت دیم درگروه‌های مختلف حاصلخیزی فسفر خاک. مجله فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۵(۱۸): ۸۳-۱۰۰.

۴- **قمری، ه.، خماری، س.، صدقی، م. و مصنعی، ه. ۱۳۹۴.** مطالعه تأثیر نانواکسید روی بر بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاهچه کلزا تحت تنش شوری. نشریه تحقیقات بذر، ۵(۳): ۵۴-۶۴.

۵- **محمود سلطانی، ش.، اله قلی‌پور، م.، شکوری‌کتیگری، م. و پورصفر طبالوندانی، ع. ۱۳۹۹.** تأثیر کاربرد پایه و محلول‌پاشی کود سولفات روی بر جذب روی، عملکرد و اجزاء عملکرد برنج رقم هاشمی. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱(۴): ۱۰۱۳-۱۰۲۶.

۶- **محمود سلطانی، ش. و عباسیان، ا. ۱۴۰۰.** اثر مصرف همزمان زغال زیستی (بیوچار) پوسته برنج و کود سولفات روی بر عملکرد، اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) رقم هاشمی و برخی خصوصیات شیمیایی خاک. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۲(۳): ۷۰۷-۷۱۹.

۷- **مصطفوی‌راد، م.، جدیدی، ا. و بابایی، ت. ۱۳۹۳.** تأثیر عناصر کم‌مصرف بر عملکرد، صفات کیفی و روغن دانه ارقام زمستانه کلزا. مجله به‌زراعی کشاورزی، ۱۶(۳): ۶۲۷-۶۳۹.

۸- **مظاهری‌نیا، س.، آستارایی، ع.ر.، فتوت، ا. و منشی، ا. ۱۳۸۹.** بررسی اثر مصرف اکسید آهن (نانو و معمولی) همراه با کمپوست گرانوله گوگردی بر غلظت آهن و رشد گیاه گندم رقم آتیلا. نشریه پژوهش-های زراعی ایران، ۸(۶): ۸۵۵-۸۶۱.

۹- **منشی، ر.، شرقی، ی.، زاهدی، ح.، مدرس ثانوی، س.ع.م.، مرادی قهدریجانی، م. و کشاورز، ح. ۱۳۹۶.** تأثیر محلول‌پاشی تریازول‌ها و سیلیکات کلسیم بر مقاومت به خشکی کلزا. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۸(۲): ۳۰۳-۳۱۷.

10- **Akhavan Hezaveh, T., Pourakbar, L., Rahmani, F. and Alipour, H. 2020.** Effect of ZnO NPS on phenolic compounds of rapeseed seeds under salinity stress. Journal of Plant Process and Function, 8: 10-18.

11- **Ajayi, A. E. and Horn, R. 2016.** Modification of chemical and hydrophysical properties of two texturally differentiated soils due to varying magnitudes of added biochar. Soil Tillage Research, 164: 34-44.

12- **Ajayi, A. E., Holthusen, D. and Horn, R. 2016.** Changes in microstructural behaviour and hydraulic functions of biochar amended soils. Soil Tillage Research, 155: 166-175.

13- **Bouqbis, L., Daoud, S., Koyro, H. W., Kammann, C. I. and Ainlhout, L.F.Z. 2016.** Biochar from argan shells: production and characterization. International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture, 5(4): 361-365.

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

15- **Bybordi, A. 2016.** Influence of zeolite, selenium and silicon upon agronomic and physiologic characteristics of canola grown under salinity. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 47: 832-850.

16- **Chinnamuthu, C. R. and Boopathi, M. 2009.** Nanotechnology and agroecosystem. The Madras Agricultural Journal, 96: 17-31.

17- **Dimkpa, C. O., White, J. C., Elmer, W. H. and Ardea-Torresdey, J. 2017.** Nanoparticle and ionic Zn promote nutrient loading of sorghum grain under low NPK fertilization. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 65(39): 8552-8559.

18- **Downie, A., Crosky, A. and Munroe, P. 2009.** Physical properties of biochar. In: Lehmann J, Joseph S (eds) Biochar for environmental management: Science and Technology. Earthscan, London, pp 13–32.

19- **FAO. 2021.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT Data. www.faostat.fao.org.

20- **Faloye, O. T., Alatise, M. O., Ajayi, A. E. and Ewulo, B. S. 2017.** Synergistic effects of biochar and inorganic fertilizer on maize (*Zea mays*) yield in an Alfisol under drip irrigation. Soil Tillage Research, 174: 214-220.

21- **Fani, E., Hassibi, P., Meskarbashee, M., Khanlou, K. M. and Seyedahmadi, S. A. 2019.** Effect of drought stress and silica spraying on some physiological and functional traits of canola cultivars. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 25: 62-66.

22- **Fernandez, A. L., Sheaffer, C. C., Wyse, D. L, Staley, C., Gould, T. J. and Sadowsky, M. J. 2016.** Associations between soil bacterial community structure and nutrient cycling functions in long-term organic farm soils following cover crop and organic fertilizer amendment. Science of the Total Environment, 566: 949-959.

23- **Ghazian Tafrishi, S., Yazdifar, S. and Amini, I. 2009.** Effects of potassium and zinc fertilizers on some agronomical traits of three spring canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Journal of Biological Sciences, 9(5): 452-457.

24- **Giraldo, J. P., Landry, M. P., Faltermeier, S. M., McNicholas, T. P., Iverson, N. M., Boghossian, A. A., Reuel, N. F., Hilmer, A. J., Sen, F., Brew, J. A. and Strano, M. S. 2014.** Plant nanobionics approach to augment photosynthesis and biochemical sensing. Nature Materials, 13(4): 400-408.

25- **Hashemi, A., Abdolzadeh, A. and Sadeghipour, H. R. 2010.** Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, Brassica napus L., plants. Soil Science and Plant Nutrition, 56: 244-253.

26- **Kolenclk, M., Ernst, D., Komar, M., Urlk, M., Sebesta, M., Dobrocka, E., Cerny, I., Illa, R., Kanike, R., Qian, Y., Feng, H., Orlova, D. and Kratosova, G. 2019.** Effect of foliar spray application of zinc oxide nanoparticles on quantitative, nutritional, and physiological parameters of foxtail millet (*Setaria italic* L.) under field conditions. Nanomaterials, 9: 1559.

27- **Lalne, P., Haddad, C., Arkoun, M., Yvin, J. C. and Etienne, P. 2019.** Silicon promotes agronomic performance in *Brassica napus* cultivated under field conditions with two nitrogen fertilizer inputs. Plants, 8: 137.

28- **Laware, S.. and Raskar, S. 2014.** Influence of zinc oxide nanoparticles on growth, flowering and seed productivity in onion. International Journal of Current Microbiology Science, 3: 874-881.

29- **Liu, J., Schulz, H., Brandl, S., Miehtke, H., Huwe, B. and Glaser, B. 2012.** Shortterm effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 175(5): 698-707.

30- **Liu, Z., Chen, X., Jing, Y., Li, Q., Zhang, J. and Huang, Q. 2014.** Effects of biochar amendment on rapeseed and sweet potato yields and water stable aggregate in upland red soil. Catena, 123: 45-51.

31- **Manaf, A., Raheel, M., Sher, A., Sattar, A., Ul-Allah, S., Qayyum, A. and Hussain, Q. 2019.** Interactive effect of zinc fertilization and cultivar on yield and nutritional attributes of canola (*Brassica napus* L.). Journal of Soil and Science and Plant Nutrition, 19: 671-677.

32- **Monica, R. C. and Cremonini, R. 2009.** Nanoparticles and higher plants. Caryologia, 62: 161-165.

33- **Mousavi, S. R. and Rezaei, M. 2011.** Nanotechnology in agriculture and food production. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 1: 414-419.

34- **Nakata, Y., Ueno, M., Kihara, J., Ichili, M., Taketa, S. and Arase, S. 2008.** Rice blast disease and susceptibility to pests in a silicon uptake-deficient mutant lsi1 of rice. Crop Protection, 27: 865-868.

35- **Oladele, S., Adeyemo, A., Awodun, M., Ajayi, A. and Fasina, A. 2019.** Effects of biochar and nitrogen fertilizer on soil physicochemical properties, nitrogen use efficiency and upland rice (*Oryza sativa*) yield grown on an Alfisol in Southwestern Nigeria. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 8: 295-308.

36- **Saadatmand, M. and Enteshari, S. 2013.** The effects of pretreatment duration with silicon on salt stress in Iranian borage (*Echium amoenum* Fisch & C.A. mey). Journal of Soil and Plant Interactions, 3: 45-57.

37- **Sabaghnia, N., Javanmard, A., Janmohammadi, M. and Nouraein, M. 2018.** The influence of nano-TiO2 and nano-Silica particles effects on yield and morphological traits of sunflower. HELIA, 41: 213-225.

38- **Schulz, H., Dunst, G. and Glaser, B. 2013.** Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. Agronomy for Sustainable Development, 33(4): 817-827.

39- **Sethurajan, M., Huguenot, D., Lens, P. N., Horn, H. A., Figueiredo, L. H. and Van Hullebusch, E. D. 2016.** Fractionation and leachability of heavy metals from aged and recent Zn metallurgical leach residues from the Três Marias zinc plant (Minas Gerais, Brazil). Environmental Science and Pollution Research, 23(8): 7504-7516.

40- **Shahmardan, M., Rahimi Petroudi, E., Daneshmand, A. and Mobasser, H. R. 2022.** Effects of silicon and zinc sources on quantitative and qualitative characteristics of canola at normal and late planting dates. Romanian Agricultural Research, 39: 1-13.

41- **Sharifi, P. 2017.** Effect of silicon nutrition on yield and physiological characteristics of canola (*Brassica napus*) under water stress conditions. International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR), 8: 144-153.

42- **Sheikhnazari, S., Niknezhad, Y., Fallah, H. and Barari Tari, D. 2023.** Integrated application of rice husk biochar and ZnO-NPs improves yield components, yield and nutrient uptake in grain of rice under different nitrogen fertilizer levels. Gesunde Pflanzen, 75: 211-221.

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

44- **Sohail, Kamran, K., Kemmerling, B., Shutaywi, M. and Mashwani, Z.U.R. 2020.** Nano zinc elicited biochemical characterization, nutritional assessment, antioxidant enzymes and fatty acid profiling of rapeseed. Plos One, 10: 1-18.

45- **Tamai, K. and Ma, J. F. 2008.** Reexamination of silicon effects on rice growth and production under field conditions using a low silicon mutant. Plant and Soil, 307: 21-27.

46- **Tandon, H. L. S. 2005.** Micronutrients in soils, crops and fertilizers. Fertilizer Development and Consultation Organization. New Delhi, India. pp: 138.

47- **Uzoma, K. C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A. and Nishihara, E. 2011.** Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. Soil Use and Management, 27(2): 205-212.

48- **Yang, M., Shi, L., Xu, F. S., Lu, J. W. and Wang, Y. H. 2009.** Effects of B, Mo, Zn, and their interactions on seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). Pedosphere, 19: 53-59.

Bi-Quarterly Journal of Plant Production
Vol. 13, Issue 1, Spring and Summer 2023

Effect of soil amendments on yield components, yield and seed oil percentage of canola (*Brassica napus* L.)

1. Hasan Yahyapoor, Department of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran
2. Yousof Niknezhad*, Department of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran. Medicinal Plants Research Center, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
3. Hormoz Fallah, Department of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran. Medicinal Plants Research Center, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
4. Salman Dastan, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj, Iran
5. Davood Barari Tari, Department of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran. Medicinal Plants Research Center, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.

Corresponding Author; Email: yousofniknejad@gmail.com

(Received: 15 June 2023; Accepted: 18 July 2023)

Abstract

In order to investigate the effect of soil amendments on yield components, yield and oil percentage of rapeseed (*Brassica napus* L.), a field experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications at the farmer's field located in Amol during 2021. The experimental treatments include the application of soil amendments at eight levels of control or non-use of amendments, biochar, silicon nanoparticles, zinc nanoparticles, biochar + silicon nanoparticles, biochar + zinc nanoparticles, silicon nanoparticles + zinc nanoparticles, and the application of biochar + silicon nanoparticles + zinc nanoparticles. The results indicated that the application of all soil amendments improved the yield components, yield and oil content of rapeseed compared with the control treatment or non-use of amendments. In general, the combined application of amendments had better impacts on the studied traits than the individual application of each amendment. Also, among the individual treatments, the application of zinc oxide nanoparticles had the greatest effect in improving yield components and seed yield. The highest plant height (144.33 cm), number of siliques per plant (240) and seed yield (3263.7 kg. ha^{-1}) were obtained when all three amendments were used simultaneously. No statistically significant difference was observed between individual and combined treatments of amendments in terms of seed oil content. According to the results of the present study, the simultaneous use of soil amendments can have an effective role in improving the quantitative and qualitative characteristics of rapeseed.

Key words: Biochar, Canola, Seed Yield, Silicon, Zinc