تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد چهارم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص ۴۲۰-۴۰۵

مقاله پژوهشی

بررسی کاربرد کود اوره، میکوریزا و محلول‌پاشی اسید هیومیک بر ویژگی‌های کمی و کیفی کلزا

هاشم عینی[۱]، محمد میرزایی حیدری[۲*]، امین فتحی[۳]

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد ایلام، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران
۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۳- دکتری زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

* مسئول مکاتبه: Mirzaeiheydari@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۵ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.333487.1209**

چکیده

مدیریت تغذیه نقش مهم و اساسی در تولید دانه کلزا دارد. این پژوهش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در شهرستان دره‌شهر اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح کود نیتروژن شامل عدم مصرف و مقادیر ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره در کرت‌های اصلی و دو سطح تلقیح و عدم تلقیح میکوریزا در کرت-های فرعی و دو سطح محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی هیومیک اسید در کرت‌های فرعی فرعی بودند. بیشترین عملکرد دانه در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و تلقیح و عدم تلقیح میکوریزا به ترتیب به میزان ۳۸۳۸/۴ و ۳۵۵۱/۷ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که نسبت به تیمار عدم مصرف کود نیتروژن و عدم تلقیح کود میکوریزا به ترتیب ۷۲ و ۵۹ درصد افزایش نشان داد. نتایج نشان داد بیشترین روغن دانه در تیمار ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به ترتیب به میزان ۳۶/۹ و ۳۶/۵ درصد به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب به میزان ۱۲/۵ و ۱۱/۳ درصد افزایش نشان داد. بیشترین میزان پروتئین دانه در تیمار کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به همراه میکوریزا و محلول‌پاشی اسید هیومیک و پس از آن در همین تیمار با عدم محلول‌پاشی اسید هیومیک به ترتیب به میزان ۲۰/۴۴ و ۱۹/۴ درصد بدست آمد که نسبت به حالت عدم مصرف کود نیتروژن و عدم کاربرد میکوریزا و اسید هیومیک ۳۴/۷ و ۲۷/۹ درصد افزایش نشان داد. به‌طور کلی نتایج نشان داد عملکرد کلزا با مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و استفاده از میکوریزا عملکرد قابل‌قبولی از خود نشان داد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم دانه، درصد روغن، شاخص برداشت، فسفر دانه، وزن هزار دانه

مقدمه

نباتات روغنی بخش وسیعی از روغن‌های مصرفی انسان را تأمین می‌کند. یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در ایران کلزا (*Brassica napus* L.) است که در سطح گسترده‌ای از ایران کاشته می‌شود (Ezati *et al.*, 2020). بر اساس آخرین آمار فائو سطح برداشت شده کلزا در سال ۲۰۱۷ حدود ۳۴ میلیون هکتار در جهان بوده که بیش از ۱۳ میلیون هکتار آن مربوط به قاره آسیا بوده است (FAO, 2019).

عملکرد کلزا به شرایط آب و هوایی، رقم، نوع خاک و همچنین مدیریت زراعی بستگی دارد و عوامل زراعی و ژنتیکی تعیین‌کننده رشد گیاه و در نتیجه عملکرد دانه هستند (Ezati *et al.*, 2020). مدیریت در تغذیه یکی از مهم‌ترین عواملی است که بر رشد و تولید گیاهان زراعی اثر می‌گذارد (Karami *et al.*, 2018). نیتروژن نقشی کلیدی در رشد و عملکرد گیاهان زراعی دارد، بنابراین کمبود نیتروژن یکی از عوامل مهم محدود کننده تولید در گیاه زراعی به شمار می‌رود (Taheri *et al.*, 2021). نیتروژن در تشکیل کلروفیل، اسیدهای آمینه و ویتامین‌ها نقش دارد. اگر به مقدار کافی نیتروژن در دسترس گیاه قرار گیرد، باعث افزایش سرعت رشد گیاه و ذخیره مواد پروتئینی دانه می‌شود (Fathi and Zeidali, 2021). از طرفی استفاده بی‌رویه و مداوم از کود شیمیایی، سبب کاهش حاصلخیزی خاک و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود (Barari Tari *et al.*, 2020). بنابراین، برای دوری از فشارهای منفی به محیط زیست و بهبود برنامه‌های توسعه پایدار که نیازهای کودی

گیاهان را تأمین می‌کند، شرط اساسی در حفاظت از خاک می‌باشد (Naseri *et al.*, 2020).

کودهای زیستی حاوی انواع میکروارگانیسم‌ها هستند که قادرند عناصر غذایی را از طریق فرآیندهای زیستی مانند محلول کردن فسفات از شکل غیرقابل دسترس به فرم دسترس جهت گیاه فراهم نمایند (Vessey, 2003; Sabbagh *et al.*, 2020). قارچ‌های میکوریزا دارای روابط همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی می‌باشند و از طریق افزایش جذب آب، افزایش جذب عناصر غذایی، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری زا، سبب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان می‌شوند (Sharma, 2002; Akbari *et al.*, 2021). رابطه همزیستی میکوریزا یک ارتباط اکوفیزیولوژیکی است و میزان موفقیت آن در گرو برآیند تأثیر نوع قارچ، محیط و گیاه همراه است (Sabbagh *et al.*, 2020). محققان گزارش کردند که میکوریزا به واسطه همزیستی میسیلوم‌های قارچ با ریشه به افزایش توان جذب آب و مواد غذایی ریشه کمک می‌کند که در نهایت رشد و نمو گیاه را بهبود می‌بخشد (Karami *et al.*, 2018).

اسید هیومیک نوعی کود آلی است که به واسطه اثرهای هورمونی و بهبود جذب عناصر غذایی منجر به افزایش زیست‌توده می‌گردد (Nikbakht *et al.*, 2008). اسید هیومیک سبب افزایش فعالیت فتوسنتزی در گیاه زراعی شده است (Delfine *et al.*, 2005). محققان گزارش کردند کاربرد هیومیک اسید تأثیر معنی‌داری بر صفات تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه، تعداد دانه در خورجین، طول خورجین و عملکرد دانه و کلروفیل کل داشت. آن‌ها اظهار داشتند، اسید هیومیک از طریق بهبود حاصلخیزی خاک و فراهمی نیتروژن، باعث افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد شد (Nasiri *et al.*, 2021). محلول‌پاشی هیومیک اسید موجب افزایش ۱۶ درصدی عملکرد دانه لوبیا نسبت به تیمار شاهد شده که دلیل آن افزایش فراهمی عناصر غذایی برای گیاه در تیمارهای هیومیک اسید گزارش شده است (Jahan *et al.*, 2013). استفاده از هیومیک اسید هم‌چنین از طریق افزایش جذب عناصری مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منگنز، آهن و مس باعث افزایش عملکرد دانه و زیست توده می‌شود (Barekati *et al.*, 2020).

از آنجایی‌که در شهرستان دره شهر تا کنون مطالعه‌ای مبنی بر پاسخ کلزا به کود شیمیایی نیتروژن و میکوریزا و محلول‌پاشی هیومیک اسید انجام نشده است، بر این اساس مطالعه‌ای بر روی ویژگی‌های کمی و کیفی کلزا با هدف بررسی جایگزینی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی با استفاده از کود میکوریزا و محلول‌پاشی اسید هیومیک اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در شهرستان دره شهر از توابع استان ایلام انجام گرفت. محل اجرای طرح در طول جغرافیایی ۳۳ درجه و ۹ دقیقه، عرض جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی و ارتفاع ۶۵۹ متر از سطح دریا قرار دارد. جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، قبل از اجرای تحقیق از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری شد. نتایج تجزیه نمونه‌های خاک محل آزمایش در جدول ۱ و خصوصیات آب و هوایی محل انجام آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است. این پژوهش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت آزمایش کرت‌های دوبار خرد شده با سه سطح کود نیتروژن شامل عدم مصرف و مقادیر ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره (۴۶ درصد نیتروژن) در کرت‌های اصلی و دو سطح تلقیح و عدم تلقیح میکوریزا در کرت‌های فرعی و دو سطح محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی هیومیک اسید در کرت‌های فرعی فرعی با سه تکرار اجرا شد.

هر کرت آزمایشی شامل شش خط کاشت با فاصله ۴۰ سانتی‌متر بود. هر تکرار شامل ۱۲ کرت و فاصله تکرارها از هم دو متر و فاصله بین تیمارها یک متر بود. بذر کلزا رقم هایولا ۵۰ بود که با تراکم ۶۰ بوته در متر مربع کشت شد. مساحت هر کرت ۹/۶ متر مربع (عرض هر کرت ۲/۴ متر و طول آن چهار متر) در نظر گرفته شد. عملیات آماده‌سازی زمین از قبیل شخم، دیسک به نحو مطلوب، قبل از کاشت صورت گرفت. بر اساس نتایج آزمون خاک نیازی به مصرف کود پتاسیم نبود. کود فسفر و یک‌سوم کود نیتروژن قبل از کاشت به زمین داده شد. بقیه کود نیتروژن طی دو مرحله به‌صورت سرک (ابتدای ساقه رفتن و آغاز غلاف‌دهی) به زمین داده شد. کود میکوریزا حاوی ۱۰۰ اندام فعال قارچ در یک گرم و حاوی سه گونه قارچ *Funneliformis mosseae* و *Glomus etunicatum* و *Rhizophagus irregularis* بود. اسید هیومیک به میزان دو لیتر در هکتار در دو نوبت ابتدای ساقه رفتن و در زمان گل‌دهی (۵۰ درصد گل‌دهی کلزا) با استفاده از سم‌پاش دستی محلول‌پاشی شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Results of physical and chemical analysis of soil at the test site

بافت خاک Soil texture	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن کل N	کربن آلی OC	واکنش خاک pH
		(%)		(mg kg^{-1})		(%)	(%)	
لومی رسی Clay loam	47	32	21	324	11	0.09	0.91	7.5

جدول ۲- شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸

Table 2- Results of climatic properties of experimental location in 2019-2020

ماه Month	بارندگی Precipitation (mm)	دمای حداقل مطلق ماهانه Monthly absolute minimum temperature (ºC)	دمای حداکثر مطلق ماهانه Monthly absolute maximum temperature (ºC)	میانگین رطوبت Average humidity (%)	تبخیر Evaporation (mm)
آبان November	5.8	2.3	32.3	79	46.5
آذر December	134.3	1.4	22.4	67	72.8
دی ماه January	75	-1.2	20.2	85	67
بهمن ماه February	84.6	-3.8	22.1	60	65.5
اسفندماه March	241	3.2	26.8	67	91.4
فروردین April	16	4.1	29.2	61	127.2
اردیبهشت May	19.3	9	39.9	41	246
خرداد Jun	0	16.4	43.8	16	420

برداشت نهایی پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها انجام شد. در این زمان تعداد ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و ویژگی‌هایی چون تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزاردانه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و بیولوژیک، کلیه بوته‌های موجود در مساحت یک متر مربع میانی از هر کرت با حذف اثر حاشیه برداشت شد. بوته‌ها جهت خشک شدن نهایی و رسیدن رطوبت به ۱۲ درصد در آون به مدت ۴۸ ساعت قرارداده پس از خشک شدن جهت محاسبه عملکرد بیولوژیک کل بوته برای هر کرت توزین و یادداشت‌برداری شد. سپس به روش دستی دانه‌ها از خورجین‌ها جدا و دانه‌های برداشت شده هر کرت به طور جداگانه با ترازوی دقیق آزمایشگاهی توزین و داده‌ها به هکتار تعمیم داده شده و عملکرد دانه محاسبه گردید. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک بدست آمد. در مرحله برداشت برای اندازه‌گیری عناصر معدنی موجود در دانه ابتدا از نمونه‌های آسیاب شده عصاره هضم تهیه شد و سپس عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد ارزیابی قرار گرفتند (Waling *et al.*, 1989). برای اندازه‌گیری میزان پروتئین دانه، ابتدا میزان نیتروژن محاسبه شد. برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن پس از هضم نمونه‌ها از روش کجلدال استفاده گردید. از حاصل‌ضرب درصد نیتروژن در ضریب گیاهی ۶/۲۵ درصد پروتئین دانه بدست آمد. برای اندازه‌گیری فسفر دانه، پنج میلی‌لیتر نمونه هضم شده را با پنج میلی‌لیتر معرف زرد مخلوط کرده و حجم آن به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس میزان جذب در طول موج ۴۳۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Analytik jena Spekol 1500, Germany) اندازه‌گیری شد. میزان پتاسیم دانه به روش نشر شعله‌ای با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد. درصد روغن دانه‌های کلزا بعد از آسیاب شدن بر اساس روش AOCS با هگزان توسط دستگاه سوکسله

اندازه‌گیری شد (AOCS, 1993). پس از جمع‌آوری داده‌ها، محاسبه آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS v 9.1 انجام شد و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده تیمار کود نیتروژن، میکوریزا و اسید هیومیک در سطح یک درصد بر تعداد غلاف در بوته کلزا معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار کود نیتروژن نشان داد بین سطوح کود نیتروژن اختلاف معنی‌داری وجود دارد به‌طوری‌که بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمارهای مصرف ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به ترتیب به میزان ۲۶۹/۷ و ۲۲۹/۹ بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف کود نیتروژن) به ترتیب به میزان ۴۲ و ۳۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد نیتروژن با تأثیر در فتوسنتز سبب افزایش اجزای عملکرد در گیاه کلزا می‌شود. نیتروژن در ساختار کلروفیل نقش مهمی دارد و کلروفیل به عنوان مهم‌ترین رنگیزه فتوسنتزی نقش مهم و اساسی در فرآیند فتوسنتز دارد (Chegeni *et al.*, 2018). به نظر می‌رسد توان فتوسنتزی گیاه سبب بهبود تعداد غلاف در بوته کلزا شده است. گزارش شده که افزایش مصرف کود نیتروژن از طریق کاهش ریزش گل و بهبود توان گیاه در حفظ آن، منجر به افزایش تعداد خورجین در بوته شده است (Keyhanian *et al.*, 2012). مقایسه میانگین اثر تیمار کودی میکوریزا نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار تلقیح میکوریزا به میزان ۲۳۰/۳ و کمترین آن در تیمار عدم تلقیح کود میکوریزا به میزان ۲۰۶/۸ بدست آمد (جدول ۴). به نظر می‌رسد مصرف میکوریزا جذب آب و مواد معدنی از خاک را تسهیل می‌کند که در این حالت نیازهای ضروری گیاه برای رشد و نمو را فراهم کرده و در نتیجه تأمین نیازهای گیاه با افزایش تعداد غلاف در بوته و وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه همراه است. از طرفی محققان گزارش کردند میکوریزا سبب افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب فسفر و عناصر معدنی از خاک بخصوص از منابع غیر قابل دسترس آن‌ها می‌شود (Kristek *et al.*, 2005). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک به میزان ۲۲۷/۳ بدست آمد و کمترین آن در تیمار عدم محلول‌پاشی اسید هیومیک به میزان ۲۰۹/۴۴ بدست آمد (جدول ۴). به نظر می‌رسد هیومیک اسید با فراهم کردن جذب عناصر مورد نیاز گیاه و افزایش ذخیره مواد غذایی در دانه سبب افزایش تعداد غلاف در بوته شده است. اسید هیومیک با حفظ آب در گیاه و کاهش تعرق، تولید ترکیباتی مانند پرولین را کاهش داده و بدین‌ترتیب هزینه‌های احتمالی گیاه را کاسته و عملکرد را افزایش می‌دهد (Barekati *et al.*, 2020). گزارش شده است که کاربرد اسید هیومیک تعداد خورجین در بوته را افزایش می‌دهد (Aiyafar *et al.*, 2015).

تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس دادها نشان داد اثر ساده تیمار کود نیتروژن، میکوریزا و برهم‌کنش سه‌گانه نیتروژن، میکوریزا و اسید هیومیک در سطح احتمال پنج درصد و اثر ساده اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در غلاف کلزا معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بین سطوح کاربرد نیتروژن اختلاف معنی‌داری وجود دارد به‌طوری‌که بیشترین تعداد دانه در غلاف در تیمارهای کاربرد ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به همراه میکوریزا و محلول‌پاشی اسید هیومیک به ترتیب به میزان ۴۲/۵ و ۳۶/۹ بدست آمد که نسبت به حالت عدم مصرف کود نیتروژن و عدم کاربرد میکوریزا و اسید هیومیک به ترتیب ۳۷/۱۷ و ۲۷ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد فراهمی نیتروژن مورد نیاز گیاه و کود میکوریزا به همراه محلول‌پاشی اسید هیومیک سبب تقویت رشد و اندام‌های زایشی گیاه شده است. گزارش شده است که کود نیتروژن سبب بهبود ویژگی‌های زراعی و فنولوژیکی در کلزا می‌شود (Keyhanian *et al.*, 2012). از طرفی قارچ میکوریزا به واسطه فراهم نمودن فسفر غیر قابل جذب خاک برای گیاه به دلیل افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب بهبود رشد گیاه می‌گردد. میکوریزا آب و مواد غذایی را به میزان بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Chen *et al.*, 2004). گزارش‌ها نشان می‌دهد که هیومیک اسید باعث تداوم بافت فتوسنتز کننده و در نهایت افزایش عملکرد می‌گردد (Lotfi *et al.*, 2018).

جدول ۳- میانگین مربعات و سطوح معنی‌داری عملکرد، اجزای عملکرد و صفات کیفی کلزا تحت تیمارهای کود نیتروژن، میکوریزا و اسید هیومیک

Table 3- Mean squares and levels of significance for yield, yield components and qualitative traits of canola under nitrogen, mycorrhiza and humic acid treatments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of Grain per pod	وزن هزاردانه Thousand grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	پروتئین دانه Grain protein	روغن دانه Grain oil	پتاسیم دانه Grain potassium	فسفر دانه Grain phosphorus
تکرار Replication	2	63.59^{ns}	89.25^{ns}	0.54^{ns}	562926.14**	1851428.25**	11.91*	2.96^{ns}	19.56^{ns}	0.04**	3.33**
نیتروژن Nitrogen(N)	2	39792.02**	237.88*	3.14**	4545477.06**	23976230.12**	38.11**	35.79**	61.94*	0.07**	0.07**
خطای نیتروژن Nitrogen error	4	354.24	17.33	0.11	17581.76	85084.33	1.28	0.46	4.16	0.0009	0.0003
میکوریزا Mycorrhiza (M)	1	4950.76**	82.96*	1.5**	886701.58**	2827582.37**	20.42*	12.26**	42.16*	0.02**	0.01**
نیتروژن * میکوریزا N*M	2	149.75^{ns}	0.38^{ns}	0.12^{ns}	104348.74*	258019.14^{ns}	5.49^{ns}	0.04^{ns}	0.82^{ns}	0.0007^{ns}	0.002*
خطای میکوریزا Mycorrhiza error	6	360.01	9.08	0.07	12670.59	151921.38	3.33	0.32	4.31	0.0005	0.0003
اسید هیومیک Humic acid (HA)	1	3010.16**	25.45**	0.61*	654003.77**	1226589.47*	23.77*	3.07**	17.83*	0.007**	0.004**
نیتروژن * اسیدهیومیک N*HA	2	43.46^{ns}	1.18^{ns}	0.03^{ns}	12035.77^{ns}	37694.81^{ns}	1.81^{ns}	0.48*	0.48^{ns}	0.0001^{ns}	0.0007^{ns}
میکوریزا * اسید هیومیک M*HA	1	497.95^{ns}	0.21^{ns}	0.04^{ns}	3663.27^{ns}	109570.93^{ns}	1.11^{ns}	0.56*	4.5^{ns}	0.005^{ns}	0.0003^{ns}
نیتروژن * میکوریزا* هیومیک N*M*HA	2	91.46^{ns}	8.44*	0.01^{ns}	29172.1^{ns}	58021.96^{ns}	7.52^{ns}	0.54*	2.05^{ns}	0.0006^{ns}	0.0003^{ns}
خطا Error	12	184.02	2.05	0.09	55521.86	234140.74	3.51	0.10	3.02	0.0007	0.0001
ضریب تغییرات CV (%)	-	8.68	11.96	7.76	7.48	5.01	5.78	3.93	4.9	2.09	3.62

*:معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد :** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد Ns : غیر معنی دار.

*: Significant at 5%. **: Significant at 1%. Ns: Non-significant.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ساده کود نیتروژن، میکوریزا و اسید هیومیک بر ویژگی‌های کمی و کیفی کلزا

Table 4- Means comparison for simple effect of nitrogen fertilizer, mycorrhiza and humic acid on quantitative and qualitative characteristics of canola

تیمارها Treatments		تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of grain per pod	وزن هزاردانه Thousand grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield ($kg.h^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.h^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)	پروتئین دانه Grain protein (%)	روغن دانه Grain oil (%)	پتاسیم دانه Grain potassium (%)	فسفر دانه Grain phosphorus (%)
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer ($kg.h^{-1}$)	شاهد Control	156.21^{c}	30.31^{c}	3.33^{c}	2482.46^{c}	8073.98^{c}	30.64^{c}	15.91^{c}	32.84^{b}	1.21^{c}	0.41^{c}
	50	229.82^{b}	34.9^{b}	3.9^{b}	3272.04^{b}	10107.77^{b}	32.33^{b}	16.98^{b}	36.54^{a}	1.28^{b}	0.52^{b}
	100	269.72^{a}	39.21^{a}	4.35^{a}	3695.05^{a}	10791.41^{a}	34.2^{a}	19.29^{a}	36.94^{a}	1.37^{a}	0.57^{a}
میکوریزا Mycorrhiza	عدم تلقیح میکوریزا non-consumption mycorrhiza	206.85^{b}	33.29^{b}	3.66^{b}	2992.91^{b}	9377.46^{b}	31.64^{b}	16.81^{b}	34.38^{b}	1.26^{b}	0.48^{b}
	تلقیح میکوریزا Consumption of mycorrhiza	230.31^{a}	36.32^{a}	4.07^{a}	3306.79^{a}	9937.97^{a}	33.15^{a}	17.98^{a}	36.55^{a}	1.31^{a}	0.52^{a}
اسید هیومیک Humic acid	عدم مصرف اسید هیومیک No consumption of humic acid	209.44^{b}	33.96^{b}	3.73^{b}	3015.07^{b}	9473.13^{b}	31.58^{b}	17.1^{b}	34.76^{b}	1.27^{b}	0.49^{b}
	مصرف اسید هیومیک Consumption of humic acid	227.72^{a}	35.65^{a}	3.99^{a}	3284.64^{a}	9842.3^{a}	33.21^{a}	17.69^{a}	36.17^{a}	1.30^{a}	0.51^{a}

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters in each column show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش نیتروژن و میکوریزا و اسید هیومیک بر تعداد دانه در غلاف و پروتئین دانه کلزا

Table 5- Means comparison for interaction of nitrogen ×mycorrhiza ×humic acid on the number of grain per pod and grain protein of canola

کود نیتروژن Nitrogen fertilizer ($kg.h^{-1}$)	میکوریزا Mycorrhiza	اسید هیومیک Humic acid	تعداد دانه در غلاف Number of grain per pod	پروتئین دانه Grain protein (%)
شاهد Control	عدم تلقیح میکوریزا non-consumption mycorrhiza	عدم مصرف اسید هیومیک No consumption of humic acid	26.7g	15.17g
		مصرف اسید هیومیک Consumption of humic acid	30.4f	15.63fg
	تلقیح میکوریزا Consumption of mycorrhiza	عدم مصرف اسید هیومیک No consumption of humic acid	31.8ef	16.44de
		مصرف اسید هیومیک Consumption of humic acid	32.3ef	16.42de
50	عدم تلقیح میکوریزا non-consumption mycorrhiza	عدم مصرف اسید هیومیک No consumption of humic acid	33.2de	16.1ef
		مصرف اسید هیومیک Consumption of humic acid	33.8de	16.65de
	تلقیح میکوریزا Consumption of mycorrhiza	عدم مصرف اسید هیومیک No consumption of humic acid	35.7cd	16.85d
		مصرف اسید هیومیک Consumption of humic acid	36.9bc	18.34c
100	عدم تلقیح میکوریزا non-consumption mycorrhiza	عدم مصرف اسید هیومیک No consumption of humic acid	37.7bc	18.67c
		مصرف اسید هیومیک Consumption of humic acid	37.9bc	18.67c
	تلقیح میکوریزا Consumption of mycorrhiza	عدم مصرف اسید هیومیک No consumption of humic acid	38.8b	19.4b
		مصرف اسید هیومیک Consumption of humic acid	42.5a	20.44a

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters in each column show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده تیمار کود نیتروژن و میکوریزا در سطح احتمال یک درصد، و اسید هیومیک در سطح پنج درصد بر وزن هزار دانه کلزا معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار کود نیتروژن نشان داد وزن هزار دانه در تیمارهای مصرف ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به میزان ۴/۳۵ و ۳/۹ گرم بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف کود نیتروژن) به میزان ۲۳ و ۱۷/۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). نیتروژن از عناصر اصلی در ساخت کلروفیل است. با دسترسی بهینه به کود نیتروژن میزان کلروفیل و جذب عناصر غذایی توسط گیاه بهبود یافته و در نتیجه وزن هزار دانه افزایش می‌یابد. افزایش مصرف نیتروژن باعث می‌شود گیاه از شرایط محیطی ایجاد شده بیشتر استفاده کند و دوام سطح برگ افزایش یابد و به طبع آن وزن هزار دانه گیاه بیشتر و در نهایت عملکرد افزایش یابد (Fang *et al.*, 2018).

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار کود میکوریزا نشان داد که وزن هزار دانه در تیمار تلقیح میکوریزا ۴/۰۷ گرم بود که نسبت به تیمار عدم تلقیح کود میکوریزا به میزان ۱۱/۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد تلقیح میکوریزا با گسترش همزیستی با ریشه گیاه شده و از طریق جذب آب و مواد معدنی از خاک و هم‌چنین افزایش تولیدات فتوسنتزی باعث یک منبع ذخیره‌ای برای مقصد و افزایش ظرفیت دانه برای مخزن در کلزا شده که در نهایت وزن هزار دانه را افزایش داده است. گزارش شده است که میکوریزا سبب افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب فسفر و عناصر معدنی از خاک بخصوص از منابع غیر قابل دسترس آن‌ها می‌شود (Kristek *et al.*, 2005).

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک نشان داد که وزن هزار دانه در تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک با میانگین ۳/۹۹ گرم، نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی اسید هیومیک به میزان ۶/۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد بیشترین نقش اسید هیومیک بر توان فتوسنتزی گیاه کلزا می‌باشد. با افزایش این توان سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی به سمت دانه انتقال پیدا می‌کند. گزارش شده است که هیومیک

اسید از طریق اثرات مثبت فیزیولوژیکی از جمله اثر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و افزایش غلظت کلروفیل برگ باعث افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (Nardi *et al.*, 2002). گزارش شده است که در شرایط کاربرد و عدم کاربرد اسید هیومیک وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری متفاوت است، به‌طوری‌که کاربرد اسید سبب افزایش ۲/۸ درصدی وزن هزار دانه در مقایسه با عدم کاربرد اسید هیومیک در گیاه کلزا شد (Amiri *et al.*, 2020). هیومیک اسید با افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو سبب بهبود فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شود که در نهایت سبب افزایش تأثیر بر اجزای عملکرد در گیاه می‌شود (Kuşvuran and Babat, 2011).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده تیمار کود نیتروژن، میکوریزا و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش کود نیتروژن و میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک نشان داد که عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک با میانگین ۳۲۸۴/۶۴ کیلوگرم در هکتار، نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی اسید هیومیک به میزان ۸/۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). در یک مطالعه دوساله محققان گزارش کردند اسید هیومیک از طریق بهبود حاصلخیزی خاک و فراهمی نیتروژن، باعث افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد در کلزا شد (Nasiri *et al.*, 2021).

بررسی مقایسه میانگین برهم‌کنش نیتروژن و میکوریزا حاکی از آن بود که بیشترین عملکرد دانه در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و تلقیح و عدم تلقیح میکوریزا به ترتیب با میانگین ۳۸۳۸/۴ و ۳۵۵۱/۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که نسبت به تیمار عدم مصرف کود نیتروژن و عدم تلقیح کود میکوریزا (شاهد با میانگین ۲۲۲۶/۲ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب ۷۲/۴ و ۵۹/۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۶). احتمالاً در دسترس قرار گرفتن مواد غذایی برای رشد کلزا از طریق کود نیتروژن و تلقیح میکوریزا قدرت رشد و نمو گیاه کلزا را در طی فصل رشد افزایش داده که در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه شده است. محققان گزارش کردند مصرف کود نیتروژن به همراه تلقیح میکوریزا و ورمی کمپوست بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشته است (Karami *et al.*, 2018). محققان در پژوهشی بر روی کلزا نشان دادند افزایش مصرف نیتروژن میزان پروتئین و پروتوپلاسم را افزایش می‌دهد، بنابراین افزایش فعالیت فتوسنتزی و تأثیر کلی آن سبب رشد بیشتر گیاه می‌شود که در قالب آن تعداد گل و احتمالاً خورجین بیشتری تشکیل خواهد شد. نتایج این محققان نشان داد که عملکرد دانه و روغن با مصرف ۳۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به ترتیب با ۴۸۰۶ و ۱۳۵۳ کیلوگرم در هکتار بیشتر از حالت عدم مصرف کود و میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود (Keyhanian *et al.*, 2012).

جدول ۶- مقایسه میانگین برهم‌کنش نیتروژن و میکوریزا بر عملکرد و فسفر دانه کلزا

Table 6- Comparison of the mean interaction of nitrogen and mycorrhiza on yield and phosphorus of canola

کود نیتروژن Nitrogen fertilizer (kg.h^{-1})	میکوریزا Mycorrhiza	عملکرد دانه Grain yield (kg.h^{-1})	فسفر دانه Grain phosphorus (%)
شاهد Control	عدم تلقیح میکوریزا non-consumption mycorrhiza	2226.23 e	0.39e
	تلقیح میکوریزا Consumption of mycorrhiza	2738.71d	0.44d
50	عدم تلقیح میکوریزا non-consumption mycorrhiza	3200.82c	0.48c
	تلقیح میکوریزا Consumption of mycorrhiza	3343.28bc	0.55b
100	عدم تلقیح میکوریزا non-consumption mycorrhiza	3551.7ab	0.56ab
	تلقیح میکوریزا Consumption of mycorrhiza	3838.41a	0.58a

میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters in each column show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده تیمار کود نیتروژن و میکوریزا در سطح احتمال یک درصد و اسید هیومیک در سطح پنج درصد بر عملکرد بیولوژیک کلزا معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار کود نیتروژن نشان داد که عملکرد بیولوژیک در تیمار مصرف ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به ترتیب به میزان ۱۰۷۹۱/۴ و ۱۰۱۰۷/۸ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف کود نیتروژن با میانگین ۸۰۷۴ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب به میزان ۳۳/۶ و ۲۵/۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی است که نقش مهمی در رشد و نمو و تولید ماده خشک گیاه دارد. زمانی که نیتروژن کافی در اختیار گیاه باشد سرعت فتوسنتز افزایش می‌یابد و گیاه را قادر می‌سازد که سریع‌تر رشد نماید و زیست توده بیشتری تولید می‌کند که در افزایش بیوماس گیاه اثر گذار است (Ashraf *et al.*, 2005). محققان (Keyhanian *et al.*, 2012) گزارش کردند نیتروژن بر اندازه سلول و سطح برگ و فعالیت فتوسنتزی اثر گذار بوده و باعث دوام سطح برگ می‌شود، بنابراین گیاه با نیتروژن کافی، سطح برگ و ماده خشک بیشتری در طول دوره رشد تولید می‌کند و سبب توسعه بیشتر شاخه گل‌دهنده و گل‌های بیشتر می‌گردد، از طرفی سطح برگ بیشتر، در مرحله گل‌دهی در طی مدتی که خورجین‌ها و دانه‌های موجود در خورجین در حال پر شدن هستند اهمیت زیادی دارد زیرا سبب می‌شود تعداد گل‌های عقیم شده به حداقل رسیده و ذخیره غذایی برای خورجین‌ها افزایش یابد. مقایسه میانگین اثر تیمار کود میکوریزا نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار تلقیح میکوریزا به میزان ۹۹۳۸ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که نسبت به تیمار عدم تلقیح کود میکوریزا با میانگین ۹۳۷۷/۵ کیلوگرم در هکتار حدود ۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد قارچ میکوریزا به دلیل دارا بودن هیف‌ها و میسلیوم‌ها در اطراف ریشه گیاه سبب جذب آب و املاح معدنی از خاک می‌شود به این ترتیب قدرت جذب افزایش یافته و رشد و نمو گیاه کلزا را بهبود می‌بخشد. قارچ‌های میکوریزایی دارای رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی بوده و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش جذب آب، باعث بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Sharma, 2002). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک به میزان ۹۸۴۲/۳ کیلوگرم در هکتار بدست آمد که نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی اسید هیومیک به میزان ۳/۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد با تأثیر مثبتی که اسید هیومیک بر فرآیندهای فتوسنتزی گیاه دارد سبب افزایش توان فتوسنتزی و در نهایت افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه می‌شود. در همین رابطه گزارش شده است که اسید هیومیک به دلیل وجود ترکیبات اسیدهای آلی و هورمون‌ها سبب افزایش جذب عناصر غذایی، بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه می‌شود (Cong *et al.*, 2011).

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده تیمار کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد، و اثر ساده میکوریزا و اسید هیومیک در سطح پنج درصد بر شاخص برداشت کلزا معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که شاخص برداشت در تیمارهای مصرف ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به ترتیب به میزان ۳۴/۲ و ۳۲/۳۳ درصد بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار کود میکوریزا نشان داد که بیشترین شاخص برداشت در تیمار تلقیح میکوریزا به میزان ۳۳/۱۵ درصد بدست آمد که نسبت به تیمار عدم تلقیح کود میکوریزا ۴/۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). شاخص برداشت برآیندی از عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک می‌باشد. بدیهی است با افزایش کودهای نیتروژن و میکوریزا توان جذب و تولید مواد پرورده فتوسنتزی گیاه افزایش یافته و بیشتر به سمت دانه انتقال پیدا می‌کند در نتیجه شاخص برداشت با مصرف کود نیتروژن و میکوریزا افزایش پیدا می‌کند. نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک نشان داد که بیشترین شاخص برداشت در تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک به میزان ۳۳/۲۱ درصد بدست آمد که نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی اسید هیومیک به میزان ۵/۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). نتایج نشان داد با مصرف اسید هیومیک عملکرد دانه بهبود یافته و در نهایت سبب افزایش در میزان شاخص برداشت گردید. هرچه میزان عملکرد دانه به نسبت عملکرد بیولوژیک بیشتر باشد شاخص برداشت بیشتری بدست می‌آید. اسید هیومیک با

افزایش تولید مواد فتوسنتزی و تخصیص بیشتر آن‌ها به دانه‌های تولید شده و پر شدن بهتر دانه‌ها، سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی می‌شود (Kuşvuran and Babat, 2011; Amiri *et al.*, 2020).

پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس دادها نشان داد اثر ساده تیمار کود نیتروژن، میکوریزا و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش سه‌گانه نیتروژن، میکوریزا و اسید هیومیک در سطح احتمال پنج درصد بر پروتئین دانه کلزا معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین پروتئین دانه در تیمار کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به همراه میکوریزا و محلول‌پاشی اسید هیومیک و پس از آن در همین تیمار با عدم محلول‌پاشی اسید هیومیک به ترتیب به میزان ۲۰/۴۴ و ۱۹/۴ درصد بدست آمد که نسبت به حالت عدم مصرف کود نیتروژن و عدم کاربرد میکوریزا و اسید هیومیک ۳۴/۷ و ۲۷/۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). به نظر می‌رسد افزایش درصد پروتئین دانه در اثر کاربرد کود نیتروژن و میکوریزا و محلول‌پاشی اسید هیومیک به دلیل افزایش پیش نیازهای پروتئینی نیتروژن‌دار بوده است. از آنجایی‌که پیش‌ساز پروتئین به شدت به نیتروژن وابسته است با فراهمی نیتروژن مورد نیاز، پروتئین دانه نیز افزایش پیدا می‌کند. گزارش شده است که فراهمی نیتروژن رابطه مستقیمی با درصد پروتئین دارد (Moraditelavat *et al.*, 2007). نیتروژن پس از جذب و فرآوری در داخل گیاه به (پیش‌ماده مهم ساختن ماده زنده یا پروتوپلاسم هر سلول گیاهی) پروتئین تبدیل می‌شود، بنابراین میزان نیتروژن گیاه، روی مقدار پروتئین و پروتوپلاسم تشکیل شده اثرگذار است (Grant and Bailey, 1993). محققان گزارش کردند که اسید هیومیک از طریق افزایش محتوای نیتروژن نیز سبب افزایش رشد و نمو گیاه می‌شود (Ayas and Gulser, 2005). افزایش محتوای نیتروژن در گیاه می‌تواند سبب افزایش درصد پروتئین دانه گردد. گزارش شده است که هیومیک اسید با افزایش نفوذپذیری غشای سلول‌های ریشه، سبب بهبود جذب و انتقال نیتروژن می‌شود که در نهایت سبب افزایش میزان پروتئین می‌شود (Ayman *et al.*, 2009).

روغن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده تیمار کود نیتروژن، میکوریزا و اسید هیومیک در سطح پنج درصد بر روغن دانه کلزا معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار کود نیتروژن نشان داد که بیشترین روغن دانه در تیمار مصرف ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به ترتیب به میزان ۳۶/۹ و ۳۶/۵ درصد بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب به میزان ۱۲/۵ و ۱۱/۳ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). کاربرد بهینه کود نیتروژن سبب افزایش روغن دانه گردید که با نتایج دیگر محققان (Moraditelavat *et al.*, 2007) مطابقت دارد. نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار کود میکوریزا نشان داد که بیشترین روغن دانه در تیمار تلقیح میکوریزا به میزان ۳۶/۵۵ درصد بدست آمد که نسبت به تیمار عدم تلقیح کود میکوریزا به میزان ۶/۳ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد کود میکوریزا با تأثیر بر ویژگی‌های رشد و نمو گیاه کلزا سبب شده درصد روغن دانه افزایش پیدا کند. در همین راستا محققان گزارش کردند عملکرد روغن در گیاه آفتابگردان تلقیح شده با میکوریزا نسبت به عدم تلقیح بیشتر بود و افزایش عملکرد روغن را مرتبط با افزایش تعداد دانه‌ها، کاهش میزان پوکی و افزایش وزن هزار دانه گزارش کردند (Jamshidi *et al.*, 2009). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک نشان داد که بیشترین روغن دانه در تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک به میزان ۳۶/۱۷ درصد بدست آمد که نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی اسید هیومیک به میزان ۴/۳ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). درصد روغن دانه، صفتی ارثی با وراثت‌پذیری بالاست که تا حدودی نیز تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد (Amiri *et al.*, 2020). از مزایای مهم اسید هیومیک می‌توان به کلات‌کنندگی عناصر غذایی مختلف مانند سدیم، منیزیم، روی، پتاسیم، آهن، مس، کلسیم و سایر عناصر در جهت جبران کمبود عناصر غذایی اشاره کرد که در نهایت سبب افزایش رشد و نمو در گیاهان زراعی می‌شود (Verlinden *et al.*, 2009). پژوهش‌گران اظهار داشتند اسید هیومیک سبب افزایش روغن دانه در کلزا می‌شود (Rajpar *et al.*, 2011).

پتاسیم دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده تیمار کود نیتروژن، میکوریزا و اسید هیومیک در سطح یک درصد بر پتاسیم دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر کود نیتروژن نشان داد که بیشترین پتاسیم دانه در تیمار مصرف ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به میزان ۱/۳۷ و ۱/۲۸ درصد بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد (بدون مصرف کود نیتروژن) به میزان ۱۳/۲ و ۵/۸ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). از آنجایی‌که نیتروژن نقش مهمی در فرآیند رشد و نمو گیاه دارد محققان گزارش کردند ترکیب مصرف ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از کودهای اوره و فسفر بر روی میزان پتاسیم دانه گیاه آفتابگردان نسبت به عدم مصرف کود به طور معنی‌داری باعث افزایش آن شد (Yadavi and Yuosefpur, 2015). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار کود میکوریزا نشان داد که بیشترین پتاسیم دانه در تیمار تلقیح میکوریزا به میزان ۱/۳۱ درصد بدست آمد که نسبت به تیمار عدم تلقیح کود میکوریزا حدود ۴ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). از مهم‌ترین نقش هیف‌های میکوریزا این است که سبب جذب املاح و مواد معدنی از خاک به گیاه می‌شود؛ بنابراین با افزایش جذب، پتاسیم بیشتری به سمت اندام‌های رویشی و زایشی گیاه انتقال پیدا می‌کند. محققان گزارش کردند تلقیح با قارچ‌های میکوریزا، موجب بهبود رشد ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی از جمله فسفر و پتاسیم در گیاه می‌شود (Jokar *et al.*, 2015). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک نشان داد که بیشترین پتاسیم دانه در تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک به میزان ۱/۳ درصد بدست آمد که نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی اسید هیومیک به میزان ۲/۴ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد با افزایش هیومیک اسید رشد ریشه‌ها برای جذب عناصر از خاک بیشتر شده که توانسته میزان پتاسیم دانه را افزایش دهد. در همین راستا محققان گزارش کردند در اثر کاربرد اسید هیومیک سطح ریشه افزایش یافته و جذب عناصر غذایی از خاک افزایش می‌یابد (Chen *et al.*, 2017).

فسفر دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ساده تیمار کود نیتروژن، میکوریزا و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش کود نیتروژن و میکوریزا نیز در سطح احتمال پنج درصد بر فسفر دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش نیتروژن و میکوریزا نشان داد که بیشترین فسفر دانه در تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و تلقیح میکوریزا به میزان ۰/۵۸ درصد بدست آمد که نسبت به تیمار عدم مصرف کود نیتروژن و عدم تلقیح کود میکوریزا به میزان ۴۸/۷ درصد افزایش نشان داد (جدول ۶). نیتروژن در فتوسنتز و فسفر در تشکیل دانه نقش مهم و اساسی دارند. یکی از کاربردهای میکوریزا جذب بیشتر فسفر از خاک به دلیل ایجاد هیف و میسیلیوم‌های اطراف ریشه است که این عناصر را جذب می‌کند. همزیستی گیاه با میکوریزا با افزایش سطح جذب ریشه، عناصر غذایی به ویژه فسفر و جذب آب توسط هیف‌ها و انتقال آن به ریشه گیاه سبب بهبود وضعیت غذایی و کاهش اثرات منفی تنش بر رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Alqarawi *et al.*, 2014).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد بین سطوح کود نیتروژن اختلاف معنی‌داری وجود دارد. با این‌حال کاربرد توام کود نیتروژن و میکوریزا نتایج قابل قبول‌تری را بر عملکرد دانه نشان می‌دهد. در این پژوهش هیومیک اسید افزایش زیادی بر صفات مورد بررسی در مقایسه با تیمارهای کود نیتروژن و میکوریزا از خود نشان نداد با این‌حال توصیه می‌شود در مناطق دیگر این آزمایش به‌صورت چندساله مورد ارزیابی قرار گیرد. به‌طور کلی نتایج نشان داد عملکرد کلزا با مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و استفاده از میکوریزا عملکرد قابل قبولی از خود نشان داد هرچند که در این مطالعه بیشترین عملکرد در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن بدست آمد اما کاهش مصرف کود شیمیایی و استفاده از کود میکوریزا سبب کاهش هزینه‌ها و آسیب کمتری به محیط زیست می‌شود.

References

Aiyafar, S., Poudineh, H.M. and Forouzandeh, M. 2015. Effect of humic acid on qualitative and quantitative characteristics and essential oil of black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. *International Journal of Science*, 4: 89-102.

Akbari, T., Rostami, M., Ghabooli, M. and Movahedi, Z. 2021. Effect of piriformospora indica on reducing the negative effects of salinity stress in lemon balm (*Melissa officinalis*). *Crop Science Research in Arid Regions*, 2(2): 219-229. (In Persian).

Alqarawi, A.A., Abd Allah, E.F. and Hashem, A. 2014. Alleviation of salt-induced adverse impact via mycorrhizal fungi in Ephedra aphylla Forssk. *Journal of Plant Interactions*, 9(1): 802-810.

Amiri, M., Daneshian, J. and Zakerin, H.R. 2020. Evaluation of agronomic attributes of canola cultivars under different plant densities and application of humic acid. *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, 9(4): 83-95. (In Persian).

AOCS. 1993. Official methods and recommended practices of the American oil chemists' society, pp113-68, 4th edition, Firestone D (Ed.), American Oil Chemists' Society, AOCS press, Champaign, Illinois.

Ashraf, M., Ali, Q. and Rha, E.S. 2005. The effect of applied nitrogen on the growth and nutrient concentration of Kalonji (*Nigella sativa*). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 45(4): 459-463.

Ayas, H. and Gulser, F. 2005. The effects of sulfur and humic acid on yield components and macronutrient contents of spinach (*Spinacia Oleracea* Var. Spinoza). *Journal of Biological Sciences*, 5: 801-804.

Ayman, M., Kamar, M. and Khalid, M. 2009. Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of faba bean cultivated in clay soil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3: 731-739.

Barari Tari, D., Fathi, A., Fallah, H. and Nicknejad, Y. 2020. Effect of tillage systems and fertilization (NPK) on quantitative and qualitative traits of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 12(40): 102-115.

Barekati, F., Majidi, H.E., Shirani, R.A. and Noormohamadi, G. 2020. Physiological responses of rapeseed genotypes to delayed planting and foliar application of humic acid. *Crop Physiology Journal*, 11(44): 59-76. (In Persian).

Chegeni, Z., Zolfaghari, M., Sedighi Dehkordi, F. and Mahmoodi Sourestani, M. 2018. The Effect of mycorrhizal fungi, PGPRs and chemical fertilizer on yield and essential oil content of Dill (*Anethum graveolens* L.) seed. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(4): 93-104. (In Persian).

Chen, B., Shen, H., Li, X., Feng, G. and Christie, P. 2004. Effects of EDTA application and arbuscular mycorrhizal colonization on growth and zinc uptake by maize (*Zea mays* L.) in soil experimentally contaminated with zinc. *Plant and Soil*, 261(1): 219-229.

Chen, X., Kou, M., Tang, Z., Zhang, A., Li, H. and Wei, M. 2017. Responses of root physiological characteristics and yield of sweet potato to humic acid urea fertilizer. *Plos one*, 12(12): e0189715.

Cong, P.T., Dung, T.D., Hien, N.T., Choudhury, A.T., Rose, M.T., Kecskes, M.L. and Kennedy, I.R. 2011. Effects of a multistrain biofertilizer and phosphorus rates on nutrition and grain yield of paddy rice on a sandy soil in Southern Vietnam. *Journal of Plant Nutrition*, 34(7): 1058-1069.

Delfine, S., Tognetti, R., Desiderio, E. and Alvino, A. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy for Sustainable Development*, 25(2): 183-191.

Ezati, N., Maleki, A. and Fathi, A. 2020. Effect of drought stress and spraying of gibberellic acid and salicylic acid on the quantitative and qualitative yield of canola (*Brassica napus*). *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 14(56): 94-109. (In Persian).

Fang, X., Li, Y., Nie, J., Wang, C., Huang, K., Zhang, Y. and Yi, Z. 2018. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.). *Field Crops Research*, 219: 160-168.

FAO. 2019. Food outlook. Global Market Analysis. http://www.fao.foodoutlook.com

Fathi, A. and Zeidali, E. 2021. Conservation tillage and nitrogen fertilizer: a review of corn growth and yield and weed management. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, 1(3): 121-142.

Grant, C.A. and Bailey, L.D. 1993. Fertility management in canola production. *Canadian Journal of Plant Science*, 73(3): 651-670.

Jahan, M., Sohrabi, R., Doayee, F. and Amiri, M.B. 2013. Effect of super absorbent water application in soil and humic acid foliar application on some agroecological characteristics of bean *phaseolus vulgaris* L. in Mashhad. *Journal of Agroecology*, 3(2): 71-90. (In Persian).

Jamshidi, E., Ghalavand, A., Salehi, A., Zare, M.J. and Jamshidi, A.R. 2009. Effect of arbuscular mycorrhizal on yield, yield components and plant characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 11(2): 136-150. (In Persian).

Jokar, N.G., Nadian, H., Moghaddam, B.K. and Gharineh, M.H. 2015. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on some macro nutrient uptake in three leek genotypes with different root morphology. *Journal of Water and Soil*, 29(1): 198-209. (In Persian).

Karami, H., Maleki, A. and Fathi, A. 2018. Determination effect of mycorrhiza and vermicompost on accumulation of seed nutrient elements in maize (*Zea mays* L.) affected by chemical fertilizer. *Journal of Crop Nutrition Science*, 4(3): 15-29.

Keyhanian, A., Mobasser, H., Samdaliri, M., Bakhshipour, S. and Mohammadi, S. 2012. Effect of seed consumption and different levels of nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of rapeseed in the second crop after rice in western Mazandaran. *Crop Physiology Journal*, 4(15): 43-57. (In Persian).

Kristek, S., Kristek, A. and Pavlovic, H. 2005. The influence of mycorrhizal fungi (*Glomus* sp.) on field pea plant survival and growth in drought caused stress conditions. *Plant Soil and Environment*, 51(9): 385-389.

Kuşvuran, V.S.A. and Babat, S. 2011. The effect of different humic acid fertilization on yield and yield components performances of common millet (*Panicum miliaceum* L.). *Scientific Research and Essays*, 6(3): 663-669.

Lotfi, R., Kalaji, H.M., Valizadeh, G.R., Behrozyar, E.K., Hemati, A., Gharavi-Kochebagh, P. and Ghassemi, A. 2018. Effects of humic acid on photosynthetic efficiency of rapeseed plants growing under different watering conditions. *Photosynthetica*, 56(3): 962-970.

Moraditelavat, M.R., Siadat, S.A., Nadian, H. and Fathi, GH. 2007. Response of canola grain and oil yield, oil and protein contents to different levels of nitrogen and boron fertilizers in Ahwaz region. *Journal of Crop Science*, 9(3): 213-214. (In Persian).

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. and Vianello, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(11): 1527-1536.

Naseri, R., Soleymani Fard, A., Mirzaei, A., Darabi, F. and Fathi, A. 2020. The effect of plant growth promoting rhizohacteria on activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics and root growth of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under dry land conditions of Ilam privince. *Iranian Journal Pulses Research*, 10(2): 62-76. (In Persian).

Nasiri, A., Sam-Daliri, M., Shirani-Rad, A., Mousavi, A. and Jabbari, H. 2021. The response of growth and yield of canola genotypes to humic acid application in different plant densities. *Gesunde Pflanzen*, 73(1): 17-27.

Nikbakht, A., Kafi, M., Babalar, M., Xia, Y.P., Luo, A. and Etemadi, N.A. 2008. Effect of humic acid on plant growth, nutrient uptake, and postharvest life of gerbera. *Journal of Plant Nutrition*, 31(12): 2155-2167.

Rajpar, I., Bhatti, M.B., Zia-ul-Hassan, A.N. and Tunio, S.D. 2011. Humic acid improves growth, yield and oil content of *Brassica compestris* L. *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences*, 27(2): 125-133.

Sabbagh, S., Sarafraz, M., Taheri, M. and Bolok, H. 2020. Effect of glomus intraradices fungus on enzymatic activities and growth condition of seven wheat genotypes. *Crop Science Research in Arid Regions*, 2(1): 43-53. (In Persian).

Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers for sustainable agriculture, Agrobios. India. 12: 319-324.

Taheri, F., Maleki, A. and Fathi, A. 2021. Study of different levels of nitrogen fertilizer and irrigation on quantitative and qualitative characteristics of quinoa grain yield. *Crop Physiology Journal*, 13(50): 135-149. (In Persian).

Verlinden, G., Pycke, B., Mertens, J., Debersaques, F., Verheyen, K., Baert, G. and Haesaert, G. 2009. Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition*, 32(9): 1407-1426.

Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2): 571-586.

Waling, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G. and Van der Lee, J.J. 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi: Part 7. *Plant Analysis ProceduresWageningen Agriculture University*.

Yadavi, A. and Yuosefpur, Z. 2015. Effect of nitrogen and phosphorus Sources on soil chemical properties and elements concentration in sunflower. *Journal of Water and Soil*, 29(1): 210-224. (In Persian).

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 4, Issue 2, Autumn and Winter 2023, P. 405-420

Investigation of the application of urea fertilizer, mycorrhiza, and foliar application of humic acid on quantitative and qualitative properties of canola

Hashem Eyni[1], Mohammad Mirzaei heydari[2*], Amin Fathi[3]

[1] Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University, Ilam Branch, Ilam, Iran
[2] Department of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
[3] Ph.D. of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran

[*]Corresponding Author: Mirzaeiheydari@yahoo.com

Received: 11 March 2022 Accepted: 26 May 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.333487.1209**

Abstract

Introduction: Nutrient management plays an essential role in canola grain production. Nitrogen is essential for crop growth and yield, so nitrogen deficiency is a significant crop production limiting factor. Mycorrhizal fungi have symbiotic relationships with the roots of most crops, enhancing the growth and yield of host plants by enhancing their ability to absorb water and nutrients and resist disease. Humic acid can increase enzymes and proteins by enhancing a plant's ability to absorb nitrogen, thereby enhancing plant growth and yield. This study aimed to examine the substitution and reduction of chemical fertilizer application with mycorrhiza fertilizer and foliar application of humic acid.

Materials and Methods: This study was conducted in split-split plots arranged in a randomized complete block design with three replications in 2019-2020. Experimental treatments included three levels of nitrogen fertilizer (0, 50, and 100 kg ha^{-1} nitrogen from urea) as the main factors and mycorrhizal inoculation and foliar application of humic acid (use and non-use) as sub-factors. Each experimental plot comprised six planting lines with a distance of 40 cm. Each replication consisted of 12 plots, with a distance of 2m between replicates and 1 m between treatments. Mycorrhiza fertilizer contained 100 active fungal organs per gram and three species: *Funneliformis mosseae*, *Glomus etunicatum*, and *Rhizophagus irregularis*. A manual sprayer was used to apply 2 liters of Humic acid per hectare at the beginning of the stem and at the time of flowering (50% flowering of rapeseed).

Results and Discussion: The co-treatment with 100 kg ha^{-1} nitrogen fertilizer and mycorrhizal inoculation and non-inoculation treatments yielded the highest grain yield at 3838.4 kg ha^{-1} and 3551.7 kg ha^{-1}, respectively, an increase of 72% and 59% over the control and non-inoculation treatments. The highest seed oil content was observed in the 100 kg ha^{-1} and 50 kg ha^{-1} nitrogen fertilizer treatments, with increases of 12.5% and 11.3% over the control treatment. The application of 100 kg/ha of nitrogen with mycorrhiza and spraying with humic acid resulted in the highest grain protein at 20.44 and 19.4%, with increases of 34.7% and 27.9%, respectively, compared to not applying nitrogen fertilizer, mycorrhiza, and humic acid. The treatment with 100 kg ha^{-1} of nitrogen fertilizer and mycorrhiza inoculation produced the highest grain phosphorus at 0.58%, while the treatment with no nitrogen fertilizer and no mycorrhiza inoculation produced the lowest grain phosphorus at 48.7%.

Conclusion: The results demonstrated that there was a significant difference between the levels of nitrogen fertilizer. However, grain yield is improved with the application of nitrogen and mycorrhizal fertilizers together. Compared to nitrogen fertilizer and mycorrhiza treatments, humic acid did not result in a statistically significant increase in the studied traits. It is recommended, however, that this test be evaluated for a number of years in other regions. Overall, the simultaneous application of 50 kg ha^{-1} of nitrogen and mycorrhizal inoculation seemed acceptable for canola yield. Although in this study, 100 kg ha^{-1} of nitrogen fertilizer produced the highest yield, reducing

the use of chemical fertilizers and increasing the use of mycorrhiza fertilizers reduces costs and environmental damage.

Keywords: Grain phosphorus, Grain potassium, Harvest index, Oil percentage, 1000-grain weight