تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۲، ص ۱۴۶-۱۳۳

مقاله پژوهشی

واکنش کتان روغنی (*Linum usitatissimum* L.) به مدیریت تغذیه در نظام کشاورزی پایدار

عباس رحیمی[۱]، شیوا خالص رو[۲*]، سمیرا زارعی[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۳- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

* مسئول مکاتبه: sh.khalesro@uok.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۴/۲۶ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.344249.1243**

چکیده

امروزه اهمیت تولید محصولات سالم و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، لزوم توجه به مدیریت صحیح نهاده‌ها در سیستم‌های کشاورزی را بیش از پیش آشکار می‌سازد. در همین راستا جهت مطالعه اثر کودهای آلی و شیمیایی بر خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد و روغن کتان روغنی، یک آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در دانشگاه کردستان انجام شد. این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ده تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل شاهد، کود تخمیری، کود گاوی، کود شیمیایی، اسید هیومیک، کود گاوی + اسیدهیومیک، کود تخمیری + اسیدهیومیک، کود شیمیایی+ اسید هیومیک، کود گاوی + کود شیمیایی و کود تخمیری + کود شیمیایی بودند. نتایج نشان داد کاربرد تیمارهای تلفیقی سبب افزایش معنی‌دار صفات مورفولوژیک، اجزای عملکرد، عملکرد و محتوای روغن گردید. بالاترین مقدار عملکرد بیولوژیک (۲۴۴۰ کیلوگرم در هکتار) از تیمار تلفیقی کود تخمیری و کود شیمیایی حاصل شد و بیشترین محتوای روغن دانه (۳۰ درصد) مربوط به تیمار تلفیقی کود تخمیری و اسید هیومیک بود. بیشترین عملکرد دانه (۶۸۸/۳۳ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن (۱۸۵/۸۷ کیلوگرم در هکتار) نیز به تیمار تلفیقی اسید هیومیک+ کود شیمیایی تعلق داشت. تیمار تلفیقی مذکور، عملکرد دانه و روغن را نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۳۰/۴۶ و ۵۰/۹۸ درصد افزایش داد. در مجموع می‌توان گفت مدیریت تلفیقی نهاده‌ها علاوه بر بهبود عملکرد کتان روغنی، می‌تواند گامی مؤثر در دوره گذار و حرکت به سمت کشاورزی پایدار باشد و در ورود کمتر آلاینده‌ها به محیط زیست، نقش مهمی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: اسید هیومیک، کود تخمیری، کشاورزی پایدار، گیاهان روغنی

مقدمه

روغن‌های گیاهی، از فراورده‌های استراتژیک و راهبردی بخش کشاورزی به شمار می‌روند که علاوه بر مصارف خوراکی، در بخش صنعت نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند (Zuk *et al.*, 2015). کتان روغنی با نام علمی *Linum usitatissimum* L.، گیاهی یک‌ساله و متعلق به خانواده linaceae می‌باشد. روغن این گیاه از اسیدهای چرب ضروری به ویژه آلفالینولنیک و آلفالینولئیک سرشار می‌باشد. منحصر به فرد بودن روغن این گیاه به واسطه غنی بودن آن از اسید چرب امگا ۳ است که ۵۵ درصد از کل اسیدهای چرب آن را تشکیل داده است؛ علاوه بر این کنجاله کتان حاوی ۳۵ درصد پروتئین است و به دلیل وجود مواد مغذی بالا و اسید آمینه‌های ضروری از قبیل تریپتوفان و متیونین در جیره دام و طیور پرکاربرد است (Abd Eldaiem and El-Sherief, 2016; Orendi, 2020).

مدیریت صحیح تولید در قالب سیستم‌های کشاورزی مبتنی بر رعایت اصول زیست‌محیطی و اقتصادی برای دست‌یابی به اهداف بلندمدت به ویژه با وجود محدودیت منابع در مناطق خشک و نیمه‌خشک، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (Karimi and Tadayyon, 2018). کاربرد کودهای آلی یکی از راهکارهای مهم در زمینه حصول اهداف مذکور می‌باشد (Ano and Agwu, 2005). بنابراین استفاده از ضایعات کشاورزی و پسماندهای گیاهی برای تولید کودهای با منشا طبیعی می‌تواند در تولید محصولات سالم نقش مؤثری داشته باشد. کودهای دامی و اسید هیومیک نیز با تأثیر مطلوب بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان و حفظ سلامت خاک از دیگر راهبردهای موجود برای سیستم‌های کشاورزی به شمار می‌روند (Toscano *et al.*, 2013). بر اساس نتایج تحقیقات، استفاده از کودهای آلی سبب افزایش قابلیت دسترسی مواد مغذی می‌شوند که دلیل آن فعال کردن فرآیندهای فیزیولوژیکی و

بیوشـــیمیایی موجود در گیاه می‌باشـــد و در نهایت به افزایش جذب مواد مغذی و رشـــد گیاه منجر می‌گردد (Laila, 2004). علاوه بر این، کودهای آلی با افزایش درصد تخلخل، قدرت جذب و ظرفیت نگهداری آب و عناصـــر معدنی و آزادســـازی تدریجی آن‌ها سبب افزایش رشد گیاهان و بهبود خصوصیات کیفی آن‌ها می‌گردند (Aracon *et al*., 2005).

کودهای دامی اثرات بســـیار مثبتی بر ســـلامت خاک و ویژگی‌هـای مختلف آن دارنـد؛ این کودهـا از طریق اصـــلاح ســـاختمان و تقویت مواد ارگانیک خاک، میزان تولید را بالا می‌برنـد (Kaur *et al*., 2008). گزارش پژوهش‌گران بیـانگر وجود میکروارگانیســم‌های خاک‌زی بیشـــتر در خاک‌های حاوی کود دامی نسـبت به سـایر خاک‌ها اسـت که علت آن، بالا رفتن فعالیت بیولوژیک خاک ذکر شـــده اســـت. علاوه بر این میزان عناصـــر پرمصـــرف و نیترات در خاک‌های مذکور بیشـــتر بود (Mosaddghi *et al*., 2000). گزارش پژوهشی حاکی از آن بود که اجزای عملکرد و عملکرد دانه کتان تحت تأثیر کود دامی قرار گرفت و کود دامی توانست هم تراز با کود شیمیایی، صفات مورفولوژیک و تولید کتان را بهبود بخشـد. البته قابل ذکر اسـت که کود دامی بر خاک نیز اثر بسیار مثبتی داشته است (Zhi-Li *et al*., 2012).

اســـیدهای هیومیک نیز ترکیب پلیمری طبیعی دارند که حاصـل پوسـیدگی مواد آلی، پیت، لیگنین و .... می‌باشـند و به واسطه قابلیت‌های فراوان سبب بهبود قابلیت دسترسی به مواد مغذی برای گیاه شـــده و از آبشـــویی و تلفات آن‌ها جلوگیری می‌کند و در نتیجه موجب افزایش عملکرد و کیفیت محصـــول می‌گردد (Toscano *et al*., 2013). نتایج پژوهشـی نشـان داد کاربرد ۲۰ میلی‌گرم در لیتر اســـیدهیومیک ســـبب افزایش معنی‌دار صـفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و در نهایت عملکرد و محتوای روغن دانـه کتـان گردیـد (Bakry *et al*., 2015). بـا توجه به این‌که کاربرد کودهای ارگانیک در اوایل دوره گذار از ســـیســـتم رایج به ســـیســـتم پایدار به تنهایی و در کوتاه‌مدت نمی‌توانند به‌طور کامل تأمین‌کننده نیاز گیاهان باشـند؛ از این‌رو مدیریت تغذیه گیاهان با کاربرد ترکیبی از کودهای ارگانیک و شـــیمیایی، علاوه بر تأمین مطلوب مواد مغذی و مورد نیاز گیاه می‌تواند در تأمین ســـلامت خاک و بالا رفتن بارآوری آن در طولانی‌مدت نقش مهمی داشته باشد. محققان دیگری بیان کردند بالاترین عملکرد کمی و کیفی گیاه کتان تحت تأثیر تیمارهای ترکیبی کود دامی و فسفر و روی شیمیایی حاصل شد (Abd Eldaiem and El-Sherief, 2016).

بنابراین با توجه به اهمیت و ارزش تغذیه‌ای بالای روغن کتان و لزوم احیای آن در ســـیســـتم‌های کشـــاورزی ایران، این تحقیق جهت یافتن تیمار مدیریتی صـــحیح در تغذیه کتان روغنی با کاربرد کودهای ارگانیک، شـــیمیایی و تلفیقی در قالب سیستم کشاورزی پایدار انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشـــگاه کردســـتان با مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۸ دقیقه شـرقی، ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه شـــمالی و با ارتفاع ۱۸۶۶ متر از ســـطح دریا به اجرا درآمد. داده‌های مربوط به میزان بارندگی و دما در جدول ۱ ارائه شـــده اســـت. برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، از عمق ۰ تا ۳۰ ســـانتی‌متری نمونه‌های تصـــادفی تهیه شد و پس از مخلوط کردن آن‌ها، یک نمونه مرکب تهیه و آنالیز شد. برخی خصوصیات خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. بعد از انجام عملیات تهیه بســـتر بذر، کرت‌بندی انجام شـــد. این آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ســـال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ انجام شـــد. تیمارهای مورد بررســـی شـامل شـاهد (T1)، کود شـیمیایی (T2)، کود گاوی (T3)، کود تخمیری (T4)، اسیدهیومیک (T5)، کود گاوی + اسیدهیومیک (T6)، کود تخمیری + اســـیدهیومیک (T7)، کود شـــیمیایی + اســـیدهیومیک (T8)، کود گاوی+ کود شـــیمیایی (T9) و کود تخمیری + کود شـیمیایی (T10) بود. در تیمار کود شـیمیایی از کودهای اوره و ســـوپرفســـفات تریپل به ترتیب با مقادیر ۱۵۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار اسـتفاده شـد. کود گاوی به مقدار ۱۰ تن در هکتار اسـتفاده شـد. نتایج تجزیه کود گاوی در جدول ۳ ارائه شـــده اســـت. کود تخمیری در کارگاه مهندســـی بیوســـیســـتم دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان در طول دو ماه تولید شد. برای تولید کود تخمیری از پســـماند کدوی آجیلی، کود گاوی و آب اسـتفاده شـد و در این تیمار از ۴ تن در هکتار کود تخمیری اسـتفاده گردید. نتایج آنالیز کود تخمیری در جدول ۴ ذکر شـده اســـت. در تیمارهای تلفیقی، مقادیر کودهای مورد اســـتفاده به نصف تقلیل یافت.

جدول ۱- میزان بارندگی ماهیانه و میانگین حداقل و حداکثر دما در طول اجرای آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷

Table 1- Monthly precipitation and maximum and minimum temperature during the experimental season in 2018 -2019

	فروردین March-April	اردیبهشت April-May	خرداد May-June	تیر June-July	مرداد July-August	شهریور August-September
بارندگی Precipitation (mm)	54.6	24.2	11.7	-	-	2.3
حداقل دما Minimum temperature (°C)	2.56	9.34	14.21	16.04	24.64	16.58
حداکثر دما Maximum temperature (°C)	15.01	22.74	25.18	34.92	37.11	27.36

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2- Some physical and chemical properties of the experimental soil

پارامتر Parameter	مقدار Value	پارامتر Parameter	مقدار Value
اسیدیته pH	7.21	نیتروژن کل Total N (%)	0.04
هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	0.42	فسفر قابل تبادل Available P ($mg.kg^{-1}$)	7.5
کربن آلی O.C. (%)	0.39	پتاسیم قابل تبادل Available K ($mg.kg^{-1}$)	415

جدول ۳- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کود گاوی

Table 3- Some physical and chemical properties of the manure

پارامتر Parameter	مقدار Value	پارامتر Parameter	مقدار Value
اسیدیته pH	7.93	فسفر کل Total P (%)	0.65
هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	2.75	پتاسیم کل Total K (%)	1.1
کربن آلی O.C. (%)	26.0	آهن Total K (%)	2520
نسبت کربن به نیتروژن C/N	18.5	منگنز Manganese (ppm)	17.5
نیتروژن کل Total N (%)	1.4	مس Cupper (ppm)	182

اسید هیومیک با غلظت ۰/۵ در هزار در سه مرحله به ساقه رفتن و ۱۰ و ۲۰ روز بعد از آن محلول‌پاشی شد. اسید هیومیک از شرکت Qiugdao Future تهیه شد. کودهای سوپرفسفات تریپل، گاوی و تخمیری قبل از کاشت به خاک اضافه شدند و کود اوره به صورت سرک در زمان کاشت و در مرحله ساقه رفتن استفاده شد. کاشت در تاریخ ۱۷ اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۸ انجام شد. در هر کرت، شش خط کاشت به طول چهار متر کشت شد. فاصله بین خطوط کاشت ۳۵ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌ها ۱/۵ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد. عملیات آبیاری به صورت بارانی صورت گرفت. در مرحله رسیدگی، به طور تصادفی از هر کرت، پنج بوته انتخاب شد و صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی و فرعی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه مورد بررسی قرار گرفت. در زمان رسیدگی، از هر کرت آزمایشی، یک متر مربع با در نظر گرفتن اثر حاشیه برداشت شد و عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. روغن دانه توسط دستگاه سوکسله با حلال ان‌هگزان استخراج گردید (Leal *et al.*, 2009).

جدول ۴- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کود تخمیری

Table 4- Some physical and chemical properties of the digested fertilizer

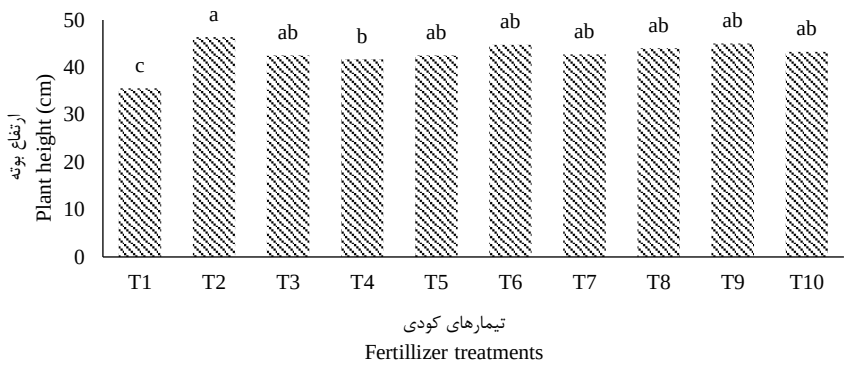
پارامتر Parameter	مقدار Value	پارامتر Parameter	مقدار Value
اسیدیته pH	7.64	نیتروژن کل Total N (%)	1.1
هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	1.96	فسفر کل Total P (%)	0.94
خاکستر Ash (%)	59.0	پتاسیم کل Total K (%)	0.86
مواد آلی O.M. (%)	38.6	آهن Total K (%)	2800
کربن آلی O.C. (%)	22.1	منگنز Manganese (ppm)	23.86
نسبت کربن به نیتروژن C/N	16.9	مس Cupper (ppm)	25.4

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری (SAS Version 9.1) و برای مقایسه میانگین از آزمون LSD استفاده شد. نمودارها نیز در نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، ارتفاع بوته در تیمارهای مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، تیمارهای مختلف کودی سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته گیاه کتان شدند. بیش‌ترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار کود شیمیایی با مقدار ۴۶/۴ سانتی‌متر بود و کمترین ارتفاع بوته با مقدار ۳۵/۵ سانتی‌متر به تیمار شاهد تعلق داشت. کاربرد کودهای آلی به صورت تلفیقی، ارتفاع بوته را نسبت به کاربرد جداگانه تیمار کود تخمیری بهبود بخشید (شکل ۱). عنصری که در مقایسه با سایر عناصر غذایی، تأثیر زیادی بر ارتفاع گیاهان دارد و سبب تحریک رشد رویشی می‌گردد، نیتروژن است (Barker and Pilbeam, 2007). بنابراین کاربرد نیتروژن به شکل‌های مختلف با تأثیر مثبت بر تقسیم شدن و بزرگ شدن سلول‌های گیاهی در ابعاد طولی، موجب افزایش رشد رویشی گیاه می‌گردد (Lawlor, 2002; Hörtensteiner and Feller, 2002). بنابراین احتمالاً کاربرد کودهای ارگانیک با منشا طبیعی و هم‌چنین کودهای شیمیایی موجب بالا رفتن جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن و فسفر و در نهایت افزایش ارتفاع بوته، بهبود رشد و فتوسنتز گیاه کتان گردیده است که با نتایج تحقیقات سایر پژوهش‌گران هم‌سو می‌باشد (Abdelaziz *et al.*, 2007).



شکل ۱- اثر کودهای آلی و شیمیایی بر ارتفاع بوته کتان روغنی

Figure 1- Effect of organic and chemical fertilizers on the plant height of flax

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد کتان روغنی تحت تأثیر کودهای ارگانیک و شیمیایی

Table 5- Analysis of variance of morphological traits and yield components of oil flax influenced by organic and chemical fertilizers

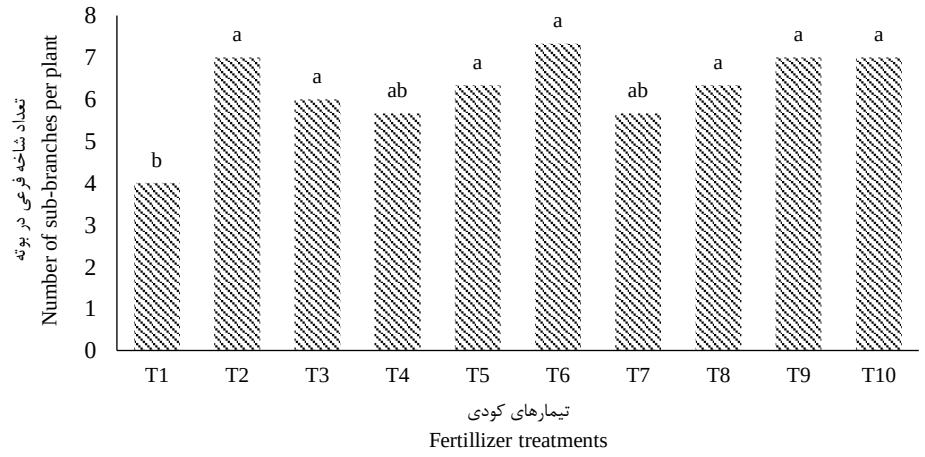
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares					
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد دانه در کپسول Grain number per capsule	شاخه اصلی Primary branch	شاخه فرعی Sub-branch	تعداد کپسول در بوته Capsule number per plant	وزن هزار دانه 1000 grain weight
تکرار Repetition	2	12.07	0.70	0.13	0.23	4.04	1.10
تیمار Treatment	9	25.64**	1.07ns	0.38ns	2.89*	36.99*	1.02 ns
خطا Error	18	6.14	1.85	0.31	1.04	11.18	0.62
ضریب‌تغییرات CV(%)	-	5.78	20.20	22.88	16.42	13.76	20.74

ns، *، ** به ترتیب بدون اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, *, ** non-significant, significant at 5 and 1% respectively

تعداد شاخه اصلی و فرعی

نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بود که اثر تیمارهای کودی بر تعداد شاخه‌های اصلی معنی‌دار نبود اما بر تعداد شاخه‌های فرعی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). در بین کل تیمارها، کود گاوی + اسیدهیومیک بیشترین اثر را بر تعداد شاخه‌های فرعی داشت و عدم استفاده از کود در تیمار شاهد موجب کاهش تعداد شاخه در کتان شد؛ به‌طوری‌که تیمار تلفیقی کود گاوی و اسید هیومیک نسبت به شاهد، مقدار صفت مذکور را ۵۴/۵۷ درصد افزایش داد؛ قابل ذکر است که تیمار برتر با سایر تیمارها به جز شاهد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۲). بر اساس گزارش سایر پژوهش‌گران، کاربرد اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه فرعی در کنجد گردید و میزان جذب عناصر غذایی آن نیز افزایش یافت (Sajadi Nik *et al.*, 2011). با توجه به این‌که افزایش فرآورده‌های فتوسنتزی سبب افزایش رشد و شاخه‌دهی می‌شود (Ayas and Gulser, 2005) می‌توان گفت کودها با تأمین عناصر غذایی و افزایش قابلیت دسترسی آن‌ها، شرایط را برای تولید شاخه‌های فرعی مساعد می‌نمایند. سایر پژوهش‌گران نیز هم‌سو با نتیجه این تحقیق، افزایش تعداد شاخه فرعی در گیاه گلرنگ تحت تأثیر اسید هیومیک را گزارش کردند (Karimi and Tadayyon, 2018).

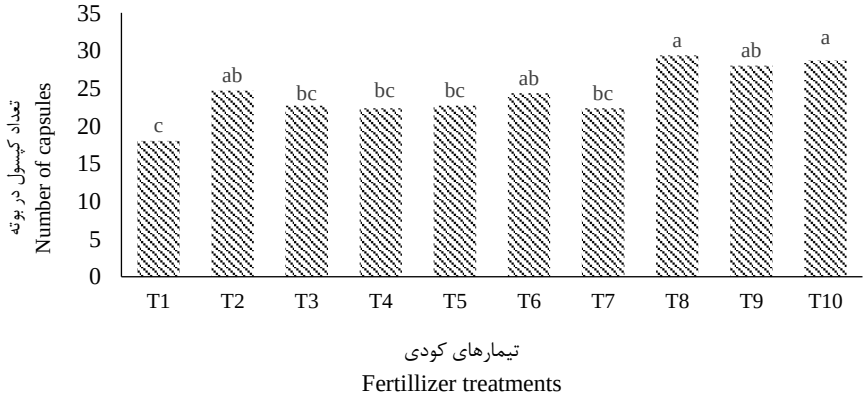


شکل ۲- اثر کودهای آلی و شیمیایی بر تعداد شاخه‌های فرعی در کتان روغنی

Figure 2- The effect of organic and chemical fertilizers on the sub-branches number of flax

تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه

اثر تیمارهای کودی بر تعداد کپسول در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود؛ اما اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه نداشت (جدول ۵). تعداد کپسول در بوته در تعیین عملکرد نهایی نقش بسزایی دارد. مواد فتوسنتزی در کپسول به مصرف می‌رسد و حرکت مواد فتوسنتزی از برگ‌ها (منبع) به دانه‌ها و اندام‌های در حال نمو (مخزن) خواهد بود که بدین وسیله عملکرد نهایی رقم می‌خورد (Green, 2000). ترکیب کود شیمیایی+ اسید هیومیک بر تعداد کپسول در بوته نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی اثر مثبت بیشتری داشت و تعداد کپسول در بوته را نسبت به تیمار شاهد، ۳۸/۵۶ درصد بیشتر کرد. تیمارهای کود شیمیایی + اسیدهیومیک، کود گاوی + کود شیمیایی، کود تخمیری + کود شیمیایی، کود گاوی + اسید هیومیک و کود شیمیایی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۳). استدلال منطقی برای افزایش تعداد کپسول در بوته در تیمارهای ترکیبی می‌تواند قابلیت دسترسی بیشتر به عناصر پرمصرف و کم‌مصرف باشد که با گزارش سایر پژوهش‌گران مبنی بر اثر مثبت کودهای ارگانیک و اسید هیومیک بر تعداد کپسول در بوته کنجد (Kumar *et al*., 2009) و تعداد طبق در بوته (Zandi *et al*., 2021) گلرنگ هم‌خوانی دارد. در پژوهش دیگری نیز گزارش شد کاربرد کودهای نیتروژنه در کتان روغنی، مقدار وزن هزار دانه را افزایش نداد (Hocking and Pinkerton, 1999) که هم‌راستا با یافته‌های این تحقیق می‌باشد.



شکل ۳- اثر کودهای آلی و شیمیایی بر تعداد کپسول در بوته کتان روغنی

Figure 3- Effect of organic and chemical fertilizers on the capsule number per plant of flax

عملکرد بیولوژیک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر تیمارهای کودی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین نیز حاکی از آن بود که بالاترین میزان عملکرد بیولوژیک در اثر کاربرد تلفیقی کود تخمیری و شیمیایی (با مقدار ۲۴۴۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. این تیمار، بیشترین تأثیر را نسبت به سایر تیمارها بر عملکرد بیولوژیک داشت که البته با سایر تیمارهای مورد بررسی به جز تیمار کاربرد کود گاوی به تنهایی و تیمار شاهد، فاقد اختلاف آماری بود. نتایج نشان داد حداقل مقدار عملکرد بیولوژیک به تیمار شاهد (با مقدار ۲۰۴۶ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشت (شکل ۴). احتمالاً ترکیب تیمارهای شیمیایی همراه با کودهای تخمیری و گاوی، سبب افزایش رشد کلی گیاه شده و در نهایت تمام مشخصه‌های مؤثر بر عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. هم‌چنین استفاده توام از اسیدهیومیک همراه با کود گاوی و کود تخمیری، میزان عملکرد بیولوژیک را بهبود بخشید. به زعم محققین، اسیدهیومیک با افزایش میزان نیتروژن گیاه میزان شاخ و برگ و بیوماس هوایی گیاه را بیشتر کرده و در نهایت عملکرد بیولوژیک را بالا می‌برد (Ayas and Gulser, 2005). مصرف ترکیبی کودهای با منشا طبیعی و غیر طبیعی، بستر مناسبی را برای رشد گیاهان فراهم می‌سازد، کاربرد این کودها نه تنها مکمل هم بوده بلکه هیچ گونه تداخل اثری بین آن‌ها وجود ندارد. نتایج مشابهی در گیاهان مختلف مانند انیسون (Hosseinpour *et al*., 2012) چای ترش

(Karimian *et al.*, 2020) و کنجد (Sajadi anik *et al.*, 2011) گزارش شده است که با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد. محققین معتقدند یکی از دلایل بالا بودن تولید در نظام‌های تلفیقی، این است که خاک عناصر بیشتری را با توجه به نیاز گیاه در اختیار آن قرار می‌دهد (Mooleki *et al.*, 2004).

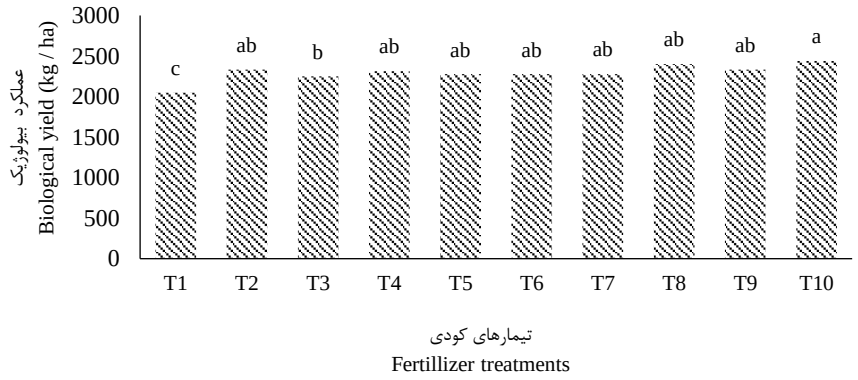
جدول ۶- تجزیه واریانس عملکرد کتان روغنی تحت تأثیر کودهای ارگانیک و شیمیایی

Table 6- Analysis of variance of flax yield influenced by organic and chemical fertilizers

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares			
		عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	درصد روغن Oil percent	عملکرد روغن Oil yield
تکرار Repetition	2	10983.23	728.4	0.52	4.78
تیمار Treatment	9	33990.68*	11754.68**	44.96**	2987.37**
خطا Error	18	6144.5	474.10	1.30	97.27
ضریب‌تغییرات CV(%)	-	4.55	3.59	4.64	6.59

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

*, ** significant at 5 and 1% respectively



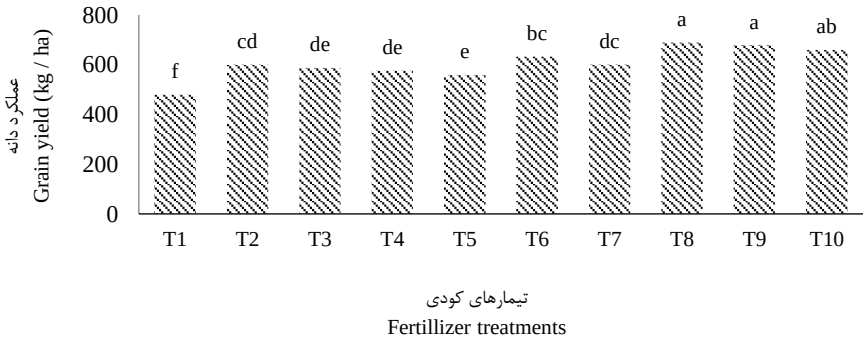
شکل ۴- اثر کودهای ارگانیک و شیمیایی بر عملکرد بیولوژیک در کتان روغنی

Figure 4- Effect of organic and chemical fertilizers on biological yield of flax

عملکرد دانه

نتایج بدست آمده حاکی از این بود که عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۶). همه تیمارهای آزمایشی، عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد افزایش دادند. از این میان، تیمارهای برتر مربوط به کاربرد تلفیقی کود شیمیایی+ اسید هیومیک و کود شیمیایی + کود گاوی بود که با تیمار تلفیقی کود شیمیایی و کود تخمیری در یک گروه آماری قرار داشتند و عملکرد دانه را نسبت به شاهد به ترتیب ۳۰/۴۶، ۲۹/۴۳ و ۲۷/۳۶ درصد افزایش دادند (شکل ۵). تیمار تلفیقی کود شیمیایی+ اسید هیومیک، عملکرد دانه را در مقایسه با تیمارهای جداگانه کود شیمیایی، کود گاوی، کود تخمیری و اسید هیومیک به ترتیب ۱۲/۸۳، ۱۴/۶۷، ۱۶/۴۶ و۱۸/۷۴ درصد افزایش داد (شکل ۵). سایر پژوهش‌گران نیز با مدیریت تلفیقی کودها در کلزا دریافتند که کاربرد آن‌ها موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد (Esmaili Behbahani *et al.*, 2019). بر اساس نظر پژوهش‌گران اسید هیومیک با افزایش رشد گیاه به ویژه ریشه‌ها، شاخص‌های مختلف از قبیل تولید اسمیلات، دریافت عناصر، نفوذپذیری بافت‌ها و بیوماس گیاهی و در نهایت عملکرد گیاهان را افزایش می‌دهد (Canellas *et al.*, 2015). نتیجه تحقیقی

دیگر حاکی از افزایش معنی‌دار جذب عناصر فسفر و پتاسیم و عملکرد دانه در نخود است (Nejad *et al*., 2011). بر اساس این نتایج می‌توان گفت جایگزینی حتی بخشی از کود شیمیایی توسط کودهای با منشا طبیعی علاوه بر بهبود عملکرد از لحاظ اکولوژیکی و اقتصادی بسیار حائز اهمیت است. از سوی دیگر کود آلی می‌تواند موجب بهبود کیفیت خاک و سلامت محصولات شود.

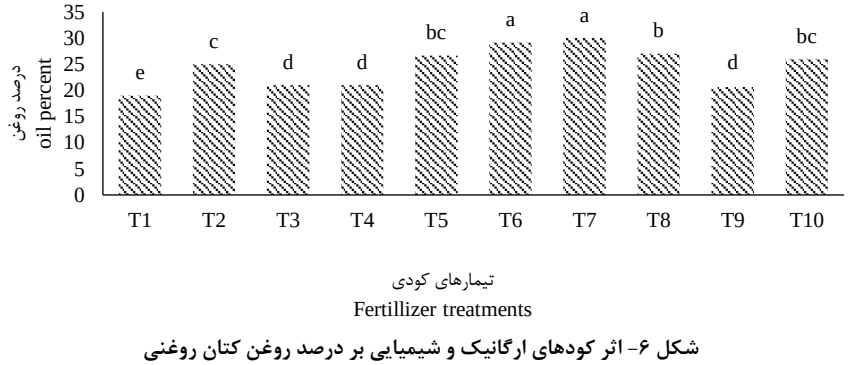


شکل ۵- اثر کودهای ارگانیک و شیمیایی بر عملکرد دانه در کتان روغنی

Figure 5- Effect of organic and chemical fertilizers on grain yield of flax

درصد روغن

تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر درصد روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین این صفت نشان داد که همه تیمارهای آزمایشی موجب افزایش درصد روغن نسبت به تیمار شاهد شدند. در بین تیمارهای آزمایشی بالاترین میزان درصد روغن مربوط به تیمار کود تخمیری + اسیدهیومیک و کمترین درصد روغن مربوط به شاهد بود. تیمار تلفیقی کود تخمیری و اسید هیومیک، در مقایسه با تیمارهای جداگانه کود شیمیایی، کود گاوی، اسید هیومیک و کود تخمیری مقدار این صفت را به ترتیب ۱۶/۶۷، ۳۰، ۱۱/۱۳ و ۳۰ درصد افزایش دادند (شکل ۶). علاوه براین، نتایج نشان داد که تیمارهای تلفیقی کود تخمیری + اسیدهیومیک، کود گاوی + اسیدهیومیک، کود شیمیایی+ اسیدهیومیک، اسیدهیومیک و کود تخمیری + کود شیمیایی نسبت به شاهد به ترتیب ۳۶/۶۶، ۳۴/۸۴، ۲۹/۶۳، ۲۸/۷۳ و ۲۶/۹۲ درصد محتوای روغن را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ۶). کودهای آلی و تلفیقی با تأمین آب و عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف سبب بهبود جذب و افزایش رشد رویشی گیاهان شده و با افزایش تولید مواد فتوسنتزی، زمینه لازم برای افزایش تولید روغن را فراهم می‌کنند (Verlinden *et al*., 2009; Khodaii joghan *et al*., 2012; Mamnabi *et al*., 2020). در همین راستا سایر پژوهش‌گران اعلام کردند محتوای روغن سویا (Walker, 2001)، منداب (Rajpar *et al*., 2011) و دانه کنجد (Esmaili Behbahani *et al*., 2019) تحت تأثیر مصرف کودهای ارگانیک قرار گرفت که هم‌سو با نتایج این تحقیق است.

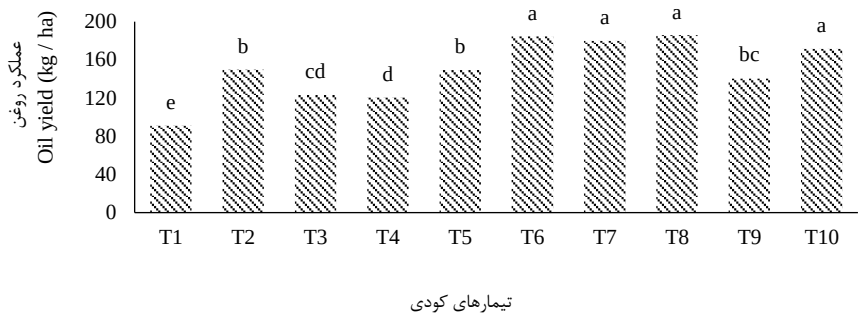


شکل ۶- اثر کودهای ارگانیک و شیمیایی بر درصد روغن کتان روغنی

Figure 6- Effect of organic and chemical fertilizers on oil percentage of flax

عملکرد روغن

عملکرد روغن یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی است که به‌منظور ارزیابی عملکرد گیاه کتان روغنی در نظر گرفته می‌شود زیرا که ماده مؤثره این گیاه روغن استحصال شده در بذرها است. نتایج به‌دست آمده حاکی از این بود که اثر کودها بر عملکرد روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). اسید هیومیک + کود شیمیایی بالاترین عملکرد روغن (۱۸۵/۹ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد و تیمار شاهد (۹۱/۱ کیلوگرم در هکتار) کمترین مقدار را داشت. تیمارهای تلفیقی کود شیمیایی + اسیدهیومیک (۱۸۵/۹ کیلوگرم در هکتار)، کود گاوی + کود شیمیایی (۱۸۴/۴ کیلوگرم در هکتار)، کود تخمیری + اسیدهیومیک (۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) و کود تخمیری + کود شیمیایی (۱۷۱/۴ کیلوگرم در هکتار) عملکرد روغن را در مقایسه با شاهد به ترتیب ۵۰/۹۹، ۵۰/۵۹، ۴۹/۳۸ و ۴۶/۸۴ درصد بهبود بخشیدند (شکل ۷).



شکل ۷- اثر کودهای ارگانیک و شیمیایی بر عملکرد روغن کتان روغنی

Figure 7- Effect of organic and chemical fertilizers on oil yield of flax

تیمار تلفیقی کود شیمیایی + اسید هیومیک عملکرد روغن را نسبت به تیمارهای جداگانه کود شیمیایی، کود گاوی، کود تخمیری و اسید هیومیک به ترتیب ۱۹/۳۹، ۳۳/۶۹، ۳۰/۰۱ و ۱۹/۶۴ درصد افزایش داد (شکل ۷). عملکرد روغن برایندی از حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد روغن می‌باشد که بهبود شرایط زراعی و تغذیه گیاه نقش مؤثری در افزایش آن‌ها دارد (Liu *et al*., 2016). بنابراین می‌توان گفت در این پژوهش، تیمارهای تلفیقی با تقویت اثرات مثبت یکدیگر شرایط مساعدتری را برای رشد کتان فراهم نموده‌اند و در نتیجه عملکرد دانه و روغن بیشتری را تولید کرده‌اند. نتایج مطالعات پیشین نیز نشان داد استفاده از کودهای تلفیقی باعث افزایش عملکرد روغن کنجد (Sajadi Nik *et al*., 2011) و آفتابگردان گردید (Yousefpoor and Yadavi, 2014) که موید نتیجه پژوهش حاضر است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این آزمایش حاکی از این بود که صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن کتان روغنی، تحت تأثیر استفاده از تیمارهای کودی قرار گرفتند. تیمارهای تلفیقی کود تخمیری + کود شیمیایی و اسید هیومیک+ کود شیمیایی در زمره برترین تیمارها در افزایش عملکرد و روغن بودند. از این‌رو می‌توان گفت مدیریت تغذیه کتان روغنی در قالب سیستم کشاورزی پایدار می‌تواند ضمن تأمین نیازهای گیاه، پایین آوردن مقدار کاربرد کودهای شیمیایی و رعایت اصول اقتصادی و اکولوژیکی، گامی مؤثر در دست‌یابی به اهداف کشاورزی پایدار باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه کردستان جهت حمایت مالی و فراهم نمودن امکانات برای انجام این پژوهش که مربوط به پایان نامه دانشجویی است، قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

References

Abdelaziz, M., Pokluda, R. and Abdelwahab, M. 2007. Influence of compost, microorganisms and NPK fertilizer upon growth, chemical composition and essential oil production of *Rosmarinus officinalis* L. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 35(1): 86-90.

Abd Eldaiem, M.A.M. and El-Sherief, M.A.B. 2016. Effect of organic, phosphorus and zinc fertilization on yield and quality of flax. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 3: 161-173.

Ano, O.A. and Agwu, J.A. 2005. Effect of animal manure on selected soil chemical properties. *Nigerian Journal of Soil Science*, 15: 14-19.

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Metzger, J.D. and Lucht, C. 2005. Effects of vermicompost produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*, 49(4): 297-306

Ayas, H. and Gulser, F. 2005. The effect of sulfur and humic acid on yield components and macronutrient contents of spinach. *Journal of Biological Sciences*, 5: 801-804.

Bakry, A.B., Mervat, S.S. and El-karamany, M.F. 2015. Effect of humic acid and sulfur on growth, some biochemical constituents, yield and yield attributes of flax grown under newly reclaimed sandy soils. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 10: 247-259.

Barker, A. and Pilbeam, D. 2007. Handbook of plant nutrition (Books in soils, plants, and the environment). CRC press. 613 p.

Canellas, L.P., Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Jones, D.L., Nebbioso, A., Mazzei, P. and Piccolo, A. 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196: 15-27.

Esmaili Behbahani, R., Fateh, E. and Aynehband, A. 2019. Evaluation of growth characteristics of flax (*Linum usitstissimum* L.) with application of organic and nitrogen fertilizers. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(1): 137-150. (In Persian)

Green, A. 2000. Variation for oil quantity and quality in flaxseed. *Australian Journal of Agricultural Research*, 32: 599-607

Hocking, P.J. and Pinkerton, A. 1999. Phosphorus nutrition of linseed (*Linum usitatisimum* L.) as affected by nitrogen supply effects on vegetative development and yield components. *Field Crops Research*, 32: 101-114.

Hosseinpour, A., Habibi, H. and Fotokian, M.H. 2012. Effect of chemical and biological nitrogen on quality and quantity of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Journal of Aromatic and Medicinal Plants*, 28(3): 551-566. (In Persian)

Hortensteiner, S. and Feller, U. 2002. Nitrogen metabolism and remobilization during senescence. *Experimental Botany*, 53(370): 927-937

Karimi F. and Tadayyon A. 2018. Effect of humic acid spraying on yield and some morphological characteristic of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions. *Applied Research in Field Crops*, 31(1): 19-38. (In Persian).

Karimian, M.A., Mir, B., Bidranameni, F. and Keshtehgar, A. 2020. Effect of manure and intercropping

patterns on quantitative and qualitative yield of rosolle (*Hibiscus sabdariffa*) and cowpea (*Phasaeolous vulgaris*). *Crop Science Research in Arid Regions*, 2(1): 113-125. (In Persian).

Kaur, T., Brar, B.S. and Dhillon, N.S. 2008. Soil organic matter dynamics as affected by long-term use of organic and inorganic fertilizers under maize–wheat cropping system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 81: 59-69.

Khodaei Joghan, A., Ghalavand, A., Aghaalikhani, M., Gholamhoseini, M. and Dolatabadian, A. 2012. How organic and chemical nitrogen fertilizers, zeolite, and combinations influence wheat yield and grain mineral content. *Journal of Crop Improvement*, 26: 116-129.

Kumar, S., Pandey, P. and Maheshwari, D.K. 2009. Reduction in dose of chemical fertilizers and growth enhancement of sesame (*Sesamum indicum* L.) with application of rhizospheric competent *Pseudomonas aeruginosa* LES4. *European Journal of Soil Biology*, 45: 334-340

Laila, K.M.A. 2004. Changes in nitrogen content in different soil layers after application of composted and fresh chicken manure and nitrogen mineral during maize and wheat cultivation in sandy soil. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*, 42: 1415-1430

Lawlor, D.W. 2002. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *Experimental Botany*, 370: 773-787.

Leal, F., Rodrigues, A., Fernandes, D., Nunes, F.M., Cipriano, J., Ramos, J., Teixeira, S., Vieira, S., Carvalho, L.M. and Pinto-Carnide, O. 2009**.** Invitro multiplication of *Calendula arvensis* for secondary metabolites extraction. *Acta Horticulture*, 812: 251-256.

Liu, L., Guan, L.L. and Wang, L. 2016. A review of fatty acids and genetic characterization of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed oil. *Organic Chemistry Current Research*, 5(1): 160-174.

Mamnabi, S., **Nasrollahzadeh, S., Ghassemi-Golezani, K. and Raei, Y.** 2020. Morpho-physiological traits, grain and oil yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) affected by drought stress and chemical and bio-fertilizers. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(3): 359-377. (In Persian).

Mooleki, S.P., Schoenau, J.J., Charles, J.L. and Wen, G. 2004. Effect of rate, frequency and incorporation of feedlot cattle manure on soil nitrogen availability, crop performance and nitrogen use efficiency in east-central Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 84: 199-210.

Mosaddghi, M.R., Hajabbasi, M.A., Hemmat, A. and Afyni, M. 2000. Soil compatibility as affect by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. *Soil Tillage Research*, 55: 87-97.

Nejad, T.S., Hosseini, S.M. and Hyvari, M. 2011. Calculate changes of bean germination process in the presence of various compounds of biological fertilizer humic acid mixed with micro and macro elements. *Journal of American Science*, 7: 10-14.

Orendi, A. 2020. Flax cultivation in the southern Levant and its development during the Bronze and Iron Age. *Quaternary International*, 545: 63-72.

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

Sajadi Nik, R., Yadavi, A., Balouchi, H.R. and Farajee, H. 2011. Effect of chemical (urea), organic (vermicompost) and biological (nitroxin) fertilizers on quantity and quality yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Agricultural Science and Sustainable Agriculture*, 21(3): 87-101. (In Persian).

Toscano, P., Cassacchia, T., Diacono, M. and Montemurro, F. 2013. Composted olive mill by-products: compost characterization and application on olive orchards. *Agricultural Science and Technology*, 15: 627-638.

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

Walker, A.J. 2001. The effects of soil fertilizer, nitrogen and moisture on yield, oil and protein of flaxseed. *Field Crop Research*, 932: 101-114.

Yousefpoor, Z. and Yadavi, A. 2014. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative yield of sunflower. *Agricultural Science and Sustainable Agriculture*, 24(1): 95-112. (In Persian).

Zandi, N., Khalesro, S.H., Badakhshan, H. and Heidari, G.H. 2021. Effect of humic acid foliar application on the yield and morphological traits of some safflower cultivars. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(4): 35-48. (In Persian).

Zhi-Li, Y., Li-Zhuo, G., Zi-Sen, F., Jian-Chun, Y., Jun-Shan, G., Ji-Zu, L., Ji-Zhong, Y. and Jun-Yi, N. 2012. Effect of different organic manures on oil flax dry matter accumulation, distribution and yield. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 20: 988-995.

Zuk, M., Richter, D., Matula, J. and Szopa, J. 2015. Linseed, the multipurpose plant. *Industrial Crops and Products*, 75: 165-177.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 1, Spring and Summer 2023, P. 133-146

Response of flax (*Linum usitatissimum* L.) to nutrition management in the sustainable agricultural system

Abas Rahimi[1], Shiva Khalesro[2*], Samira Zareei[3]

[1] M.Sc. in Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
[2] Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
[3] Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
[*]Corresponding Author: sh.khalesro@uok.ac.ir

Received: 26 May 2022 Accepted: 17 July 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.344249.1243**

Abstract

Introduction: Conventional agriculture has altered the dynamic balance of agroecosystems by decreasing soil fertility, reducing biodiversity, and putting human and animal health at risk due to chemical residue in agricultural products. To reduce these negative environmental impacts, sustainable agricultural systems have been promoted to protect resources and biodiversity. One of the most effective strategies is the integrated management of organic and chemical fertilizers in sustainable agricultural systems. Flax is an oil plant of the Linaceae family that is extensively used in the modern pharmaceutical and food industries. Flax seeds contain protein and oil. Considering the negative effect of excessive use of chemical fertilizers on the quality of medicinal and oil plants, most food and pharmaceutical companies prefer materials derived from sustainable and organic systems. Therefore, this study was carried out to investigate the effects of integrated application of organic and chemical fertilizers on yield components, yield, and oil content of flax.

Materials and Methods: The field experiment was laid out in the 2018–2019 growing seasons at the Research field of the University of Kurdistan, Iran (longitude 47° 18' E, latitude 35° 19' N, and altitude 1865 m). The region has a semi-arid climate, according to the Köppen climate classification. The experiment was carried out in a randomized complete block design with ten treatments and three replications. The experimental treatments included control, chemical fertilizer, farmyard manure, digested fertilizer, humic acid, farmyard manure + humic acid, digested fertilizer + humic acid, chemical fertilizer + humic acid, farmyard manure + chemical fertilizer, and digested fertilizer + chemical fertilizer. Each experimental plot consisted of six rows, 4 m long, with a 35 cm row spacing. The amount of manure, urea, superphosphate triple, and digested fertilizer was 10 tons/ha, 150 kg/ha, 50 Kg/ha, and 4 tons/ha, respectively. Fifty percent of fertilizers were applied in the integrated treatments. The concentration of humic acid was 0.5 per thousand. The site was irrigated immediately after sowing the seeds, and a drip irrigation system was used once a week. Weeding was done by hand as required. Quantitative traits were measured at the maturity stage. Seed samples were collected after the harvest process. To extract the flax oil, a Soxhlet extraction with n-hexane solvent was used. The obtained data underwent analysis of variance (ANOVA) using SAS statistical software (SAS Version 9.1), where means were compared using LSD.

Results and Discussion: The results showed that treatments had a significant effect on the most measured traits in this study. The integrated treatments significantly increased plant height, capsule number per plant, sub-branches number, biological yield, grain yield, oil percentage, and oil yield. The traits consisting of grain number per capsule, primary branches, and 1000 grain weight of flax were not affected significantly by the treatments. The highest values of biological yield (2440 kg/ha) and grain oil content (30%) were recorded in the integrated treatments of digested fertilizer + chemical fertilizer and digested fertilizer +humic acid, respectively. The integrated treatments of digested fertilizer + humic acid, farmyard manure + humic acid, chemical fertilizer + humic acid, and digested fertilizer + chemical fertilizer significantly increased grain oil content by 36.66, 34.84, 29.63, 28.73, and 26.92 % compared to control, respectively. The highest values of grain yield

(688.3 kg/ha) and oil yield (185.9 kg/ha) were obtained in the integrated treatment of humic acid and chemical fertilizer. The lowest of the mentioned characteristics belonged to the control treatment. The integrated treatments of humic acid + chemical fertilizer and farmyard manure + chemical fertilizer significantly increased grain yield by 30.46 and 29.43% compared to control, respectively. The integrated treatment of chemical fertilizer and humic acid increased oil yield by 19.39, 33.69, 30.01, and 16.44% compared to chemical fertilizer, farmyard manure, digested fertilizer, and humic acid, respectively. Environmental conditions and plant nutrition are effective factors in the growth and yield of crops. It can be said that combined treatment increased the positive effect of organic fertilizers, and there were synergistic interactions between them.
Conclusion: The integrated treatments of organic and chemical fertilizers improved the flax characteristics compared to chemical fertilizer application alone. Overall, reasonable management of fertilizers not only improved flax yield but also protected environmental safety.

Keywords: Digested fertilizer, Humic acid, Oil plants, Sustainable agriculture