J. Crop Prod. Process. 2025, 15(2), 61-73; DOI: 10.47176/jcpp.15.2.20336

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Original Article

The Effect of Different Sources of Chemical, Organic, Biological and Integrated Fertilizers on Chlorophyll, Nutrient Content and Grain Yield of Linseed *(Linum ustatissimum* L.*)*

Mojgan Shokri[1], Alireza Yadavi[2*], Mohsen Movahhedi Dehhnavi[2], Amin Salehi[3] and Razieh Karami[4]

1, 2, 3 and 4. MSc of Agronomy, Professor, Associate Professor and PhD Student in Crop Ecology, Respectively, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

Extended Abstract

Introduction

Linseed (*Linum usitatissimum* L.) is a valuable medicinal and oilseed crop, rich in oil (30–48%), omega-3 fatty acids, vitamin E, and high-quality proteins. Its seeds contain essential amino acids and possess anti-inflammatory and anti-cancer properties. Recently, linseed cultivation has gained renewed interest in Iran. However, conventional agriculture has led to unstable ecosystems due to heavy reliance on synthetic inputs such as pesticides and chemical fertilizers. This unsustainable approach necessitates alternative nutrient management strategies that are more eco-friendly. Biofertilizers, which contain beneficial bacteria and fungi (e.g., nitrogen-fixing Azotobacter, phosphate-solubilizing bacteria), offer an effective solution for enhancing soil fertility, nutrient uptake, and plant productivity while minimizing environmental harm. Vermicompost, rich in organic matter and nutrients, and nano-fertilizers, with slow-release properties, also contribute to improved crop growth and nutrient efficiency. This study aimed to investigate the effects of different fertilizer sources—chemical, organic, biological, and integrated—on total chlorophyll, nutrient content (N, P, K, Zn, Fe), and yield components of linseed. The objective was to identify sustainable fertilizer regimes that enhance productivity while reducing chemical input.

Materials and Methods

The experiment was conducted in a randomized complete block design with 13 treatments in three replications in the spring and summer of 2013 at the research farm of the Faculty of Agriculture, Yasouj University. The experimental treatments were: T1-control (no fertilizer), T2-application of 90 kg/ha of urea fertilizer, T3-application of 10 tons/ha of vermicompost fertilizer, T4-application of 5 tons/ha of vermicompost fertilizer, T5-application of Barvar1 biofertilizer, T6-application of biofertilizer of nanoparticles of zinc, copper, iron and nitrogen-fixing bacteria, T7-application of 45 kg/ha of urea fertilizer along with 5 tons/ha of vermicompost, T8-application of 45 kg/ha of urea fertilizer along with Barvar1 biofertilizer, T9-application of 45 kg/ha of urea fertilizer along with biofertilizer of nanoparticles of zinc, copper, iron and nitrogen-fixing bacteria, T10-application of 5 tons/ha of vermicompost fertilizer along with biofertilizer of nanoparticles of zinc, copper, iron and nitrogen-fixing bacteria, T11-application of 5 tons per hectare of vermicompost along with Barvar1 biofertilizer, T12-application of 45 kg/ha of urea, 5 tons/ha of vermicompost and Barvar1 biofertilizer, T13-application of 45 kg per hectare of urea, 5 tons per hectare of vermicompost along with biofertilizer of nanoparticles of zinc, copper, iron and nitrogen-fixing bacteria.

Results and Discussion

The results of this study revealed that the application of different fertilizer sources had a significant influence on the growth, nutrient composition, and yield performance of linseed. Among the 13 treatments evaluated,

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

the highest seed yield was recorded in the urea-only treatment (T2), reaching 1120.1 kg/ha. However, several integrated and organic treatments, particularly T13 (45 kg/ha urea + 5 t/ha vermicompost + nano-biofertilizer), T11, and T3 (vermicompost 10 t/ha), produced statistically similar results, indicating that comparable productivity could be achieved with lower chemical inputs when supplemented by organic or biological fertilizers. Total chlorophyll content was notably improved by organic treatments, especially T3, which produced the highest chlorophyll concentration (2.37 mg/g fresh weight). This suggests that vermicompost significantly enhances photosynthetic capacity, likely due to its high levels of organic matter, micronutrients, and beneficial microbial populations that improve soil structure and nutrient availability. Interestingly, T2, T7, and T12 also showed elevated chlorophyll levels, comparable to T3, demonstrating the effectiveness of moderate chemical applications when integrated with organic sources. Nitrogen accumulation in seeds also followed a similar trend, with T2 resulting in the highest nitrogen percentage (3.34%), followed closely by T3 and T13. The efficiency of nano-fertilizers in enhancing nitrogen availability through slow-release mechanisms and increased uptake efficiency may explain these improvements. This observation highlights the physiological advantages conferred by bio- and nano-fertilizers in enhancing nutrient absorption and utilization. Phosphorus content peaked in T10 (5 t/ha vermicompost + nano-fertilizer), but treatments T2, T9, T11, and T13 performed similarly. These findings indicate the crucial role of organic matter and microbial activity in improving phosphorus availability in the rhizosphere. Likewise, potassium content was highest in T13 (5793 mg/kg), reflecting the synergistic effect of integrated nutrient management. Other treatments, including T2, T3, and various combinations, produced similar potassium levels. Micronutrient enhancement was another notable outcome. The highest iron and zinc concentrations were observed in T3, followed closely by T13. This suggests that vermicompost and biofertilizers not only supply micronutrients directly but also improve their bioavailability through mechanisms such as rhizosphere acidification and siderophore production by rhizobacteria. Although T2 yielded the highest oil output per unit area (39.7 g/m^2), several other treatments, particularly integrated ones like T13, achieved statistically similar yields. Interestingly, the oil percentage in seeds did not significantly differ across treatments, implying that the increased oil yield was primarily driven by enhanced seed productivity rather than changes in oil concentration. Overall, the combined use of urea with vermicompost and nano-biofertilizers enhanced both quantitative and qualitative traits in linseed, affirming the potential of integrated nutrient management to support high yields, improve seed nutrient density, and promote sustainable production systems. These results suggest that balanced fertilization strategies can optimize productivity while preserving ecological integrity and soil health.

Conclusions

The integrated application of chemical, organic, and biological fertilizers significantly improved yield, chlorophyll content, and nutrient accumulation in linseed. Among the treatments, T13 (45 kg/ha urea + 5 t/ha vermicompost + nano-biofertilizer) is recommended as a sustainable fertilization strategy, offering reduced chemical input without compromising yield or quality.

Keywords:, Nano bio-fertilizer, Nitrogen, Oil yield, Sustainable production Vermicompost

Received: Des. 30, 2025; Revised: Apr. 16, 2025; Accepted: Apr. 23, 2025; Published Online: Jun. 16, 2025.
* Corresponding Author: Yadavi@yu.ac.ir

How to Cite: Shokri, M., Yadavi, A., Movahhedi Dehhnavi, M., Salehi A., Karami, R.The Effect of Nano Selenium and Sodium Selenate on Growth and Photosynthesis Parameters of Spinach (*Spinacia Oleracea* L.) Virofly Variety. *J. Crop Prod. Process*. 2025, 15(2), 61-73 (*In Persian*). DOI: 10.47176/jcpp.15.2.20336

Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۲، صص. ۷۳-۶۱، DOI: 10.47176/jcpp.15.2.20336

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی

صفحه خانگی نشریه: https://jcpp.iut.ac.ir/

مقاله پژوهشی

تأثیر منابع مختلف کودهای شیمیایی، آلی، زیستی و تلفیقی بر کلروفیل ، محتوای عناصر و عملکرد دانه کتان روغنی (*Linum ustatissimum* L.)

مژگان شکری[۱]، علیرضا یدوی[۲*]، محسن موحدی‌دهنوی[۲] ، امین صالحی[۳] و راضیه کرمی[۴]

چکیده– سامانه‌های کشاورزی متداول به‌دلیل اتکای بیش از حد به نهاده‌های کمکی مانند سموم و کودهای شیمیایی، موفقیت چندانی در مدیریت پایدار منابع نداشته و منجر به ایجاد زیست‌بوم‌های ناپایدار شده‌اند. امروزه، برای کاهش مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی، توجه به کودهای آلی و زیستی افزایش یافته است. در این راستا، این پژوهش با هدف ارزیابی تولید پایدار گیاه دارویی روغنی کتان روغنی و تأثیر منابع مختلف کودی (شیمیایی، آلی، زیستی و تلفیقی) بر عملکرد دانه و محتوای عناصر غذایی آن انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۳ تیمار و ۳ تکرار در سال زراعی ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج اجرا شد. تیمارها شامل شاهد (بدون کود)، کود اوره، ورمی‌کمپوست، کودهای زیستی (بارور۱ و نانو ذرات روی، مس، آهن همراه با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن) و ترکیبات تلفیقی این کودها بودند. نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف کودی تأثیر معناداری بر محتوای کلروفیل کل، عملکرد دانه، عملکرد روغن و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی و آهن دانه کتان روغنی داشتند. کمترین مقادیر این صفات در تیمار شاهد (بدون کود) مشاهده شد. بیشترین مقدار کلروفیل (۲/٤ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار *T*۳ (۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست) ثبت شد. بالاترین عملکرد دانه (۱۱۲ گرم بر مترمربع) و عملکرد روغن (۳۹/۷ گرم بر مترمربع) متعلق به تیمار ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (*T*۲) بود که البته با تیمار تلفیقی ٤٥ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود زیستی نانو (*T*۱۳) تفاوت معناداری نداشت. بیشترین درصد نیتروژن دانه (۳/۳٤ درصد) در تیمار *T*۲ مشاهده شد. تیمار *T*۱۰ (۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود زیستی نانو) بیشترین محتوای فسفر دانه (٤۰۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را به خود اختصاص داد. همچنین، تیمار *T*۱۳ بیشترین غلظت پتاسیم دانه (۵۷۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را نشان داد. بیشترین غلظت آهن (۲٦٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روی (۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز در تیمار *T*۳ (۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست) ثبت شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که استفاده از کودهای آلی و زیستی به‌تنهایی یا در ترکیب با کودهای شیمیایی می‌توانند به‌طور معناداری عملکرد و کیفیت دانه کتان روغنی را بهبود بخشند. اگرچه تیمار ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره بالاترین عملکرد دانه را داشت، اما تیمارهای تلفیقی مانند ٤٥ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود زیستی نانو نیز عملکرد مشابهی را با مصرف کمتر کود شیمیایی نشان دادند. این موضوع اهمیت استفاده از کودهای تلفیقی را به‌عنوان راهکاری پایدار برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و حفظ محیط زیست برجسته می‌کند. همچنین، بهبود غلظت عناصر غذایی دانه در تیمارهای حاوی ورمی‌کمپوست و کودهای زیستی نشان‌دهنده نقش مؤثر این کودها در افزایش کیفیت محصول است. بنابراین، تیمار تلفیقی (*T*۱۳) به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای تولید پایدار کتان روغنی پیشنهاد می‌شود. این روش نه‌تنها عملکرد مطلوبی را تضمین می‌کند، بلکه با کاهش مصرف کودهای شیمیایی، گامی مهم در جهت حفظ محیط زیست و کشاورزی پایدار محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تولید پایدار، عملکرد روغن، کود زیستی نانو، نیتروژن، ورمی‌کمپوست.

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۲۷، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۳، اولین انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۲٦

۱، ۲، ۳ و ٤- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، استاد، دانشیار و دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

*: نویسنده مسئول، رایانامه: Yadavi@yu.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۳ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد حیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

کتان روغنی یا بزرک با نام علمی (*Linum ustatissimum* L.) یک گیاه چند منظوره دارویی- صنعتی است که بذر آن حاوی ۳۰-۴۸ درصد روغن، امگا ۳ و ویتامین E می‌باشد (٤٥). دانه‌های کتان همچنین حاوی ۲۰ تا ۲۵ درصد پروتئین بوده که به‌دلیل داشتن اسید آمینه‌های ضروری (لوسین، ایزولوسین، متیونین و ترپتوفان) از اهمیت خاصی برخوردار هستند (١٤). به‌دلیل وجود ترکیبات مختلف و مفید در کتان روغنی، امروزه مصارف دارویی زیادی برای این گیاه شناخته شده است. ترکیبات کتان علاوه بر اثرات ضد تورم (۲۷) مصونیت بدن را در برابر بیمارها افزایش می‌دهد. استفاده از روغن آن سبب کاهش تشکیل کلون‌های سرطانی می‌شود (۳۷).

با توجه به اینکه به تازگی کشت کتان روغنی در کشور مجددا مورد توجه قرار گرفته است و با توجه به اهمیت این گیاه راهبردهای بهبود عملکرد آن شامل روش‌های به‌نژادی و به‌زراعی است (٤٠). روش‌های کشاورزی متداول در جهان امروزه موفقیت قابل‌قبولی در استفاده و مدیریت منابع نداشته و اتکا بیش از اندازه به نهاده‌های کمکی نظیر سموم و کود شیمیایی، باعث ایجاد زیست بوم‌های ناپایدار شده است (۱). یکی از راه‌های فایق آمدن بر این مشکلات استفاده از کودهای زیستی است. به‌طوری‌که استفاده از کودهای زیستی برای حفظ توازن حاصلخیزی خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (٤٣). کودهای زیستی حاوی باکتری‌ها و قارچ‌های مفیدی هستند که هر یک به منظوری خاص مانند تثبیت نیتروژن اتمسفری و رها سازی یون‌های فسفات، پتاسیم و آهن از ترکیبات نامحلول تولید می‌شوند. باکتری‌های مورد نظر معمولاً در اطراف ریشه مستقر شده و گیاه را در جذب عناصر هم‌یاری می‌کنند (۳۱). سنتز زیستی هورمون‌های محرک رشد (۱۰)، جذب سایر عناصر، کاهش ابتلا به بیماری‌ها، بهبود ساختمان خاک، رشد گیاه و افزایش کمی و کیفی محصول از دیگر مزایای مثبت استفاده از این میکروارگانیسم‌ها در تولید محصولات زراعی است (٤٢).

نیتروژن یک ماده غذایی معدنی است که گیاهان به مقدار زیاد به آن نیاز دارند. یون‌های نیترات و آمونیوم دو شکل اصلی نیتروژن هستند که به وسیله گیاهان جذب می شوند (۳۲). نتایج پژوهش پرهیزکار خانجانی و همکاران (٢٤) نشان داده است که با افزایش سطح نیتروژن، عملکرد دانه در کتان روغنی افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد روغن به میزان ۹۳۹ کیلوگرم در هکتار، با مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌دست آمد. کودهای آلی به‌ویژه کود ورمی‌کمپوست درمقایسه با کودهای شیمیایی دارای مقادیر زیادی مواد آلی هستند و به‌عنوان منابع غنی از عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن، فسفر و پتاسیم به شمار می‌روند که این عناصر را به مرور در اختیار گیاهان قرار می‌دهند و با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه، موجبات افزایش رشد اندام هوایی و تولید ماده خشک را فراهم می‌کنند (۳۸).

امروزه کاربرد کودهای نانو در کشاورزی نویدبخش رهایی از محدودیت‌های فنی استفاده از کودها شده است. نانوکودها به دلیل آزادسازی آهسته و کنترل شده عناصر در ناحیه مناسبی از ریشه دارای راندمان مصرف بالایی هستند و در بهبود کارایی جذب، افزایش راندمان به‌دلیل سرعت جذب بیشتر و عدم اتلاف کودها به وسیله آبشویی، کاهش جذب فلزات سنگین و افزایش تحمل به تنش‌های غیر زیستی نقش دارند (۲، ١٦ و ۲۳).

پژوهش رضوانی‌مقدم و سیدی (۳۰) از افزایش معنی‌دار درصد فسفر دانه درنتیجه اعمال کمپوست و ورمی‌کمپوست در مقایسه با تیمار شاهد گزارش دادند. آن‌ها بیان کردند که با توجه به ارتباط مستقیم زیست توده گیاه با مقدار کل عناصر معدنی در زیست توده، افزایش مقدار عناصر فسفر و پتاسیم می‌تواند ناشی از تحریک رشد رویشی گیاه در پی مصرف کودهای آلی باشد که منجر به افزایش عملکرد گیاه می‌شود. افزایش غلظت پتاسیم برگی در پی مصرف ورمی‌کمپوست در پژوهش حسین‌زاده و همکاران (۱۳) نیز بیان شده است. بیشترین محتوای کلروفیل a و b، کلروفیل کل و کاروتنوئید از

جدول ۱. خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	هدایت الکتریکی(دسی-زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد)	ازت کل (درصد)	فسفرقابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن قابل جذب	روی قابل جذب
				(میلی‌گرم بر کیلوگرم)			
سیلتی رسی	۱/۷	۰/۷	۰/۱۷	۸	۲۸۷	۱۱/۲	۰/٦٤

تیمار ۱۰ درصد ورمی‌کمپوست و کاربرد قارچ مایکوریزا در گیاه استویا حاصل شد (۳۹). امین‌پور و همکاران (٤) با بررسی اثر ورمی‌کمپوست بر غلظت کلروفیل در برگ ذرت نشان داد که با کاربرد ورمی‌کمپوست از صفر تا ۱۰ تن در هکتار محتوای کلروفیل از ۱/۳٦ به ۱/۹۳ میلی‌گرم بر گرم افزایش یافت. رجبی‌خمسه و دانش‌شهرکی (۲۷) از افزایش محتوای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی بذر کتان با تیمار ازتوباکتر نسبت به شاهد گزارش دادند. ایشان بیان کردند که باکتری‌های محرک رشد از طریق کاهش اسیدیته خاک و تولید اسیدهای آلی نقش مهمی در دسترسی و انتقال عناصر کم مصرف دارند. محققان گزارش دادند که باکتری‌های محرک رشد گیاه از طریق انحلال فسفر و کمک به چرخه زیست- زمین- شیمیایی سبب تأمین مواد مغذی برای رشد گیاه و درنتیجه افزایش عملکرد کتان روغنی می‌شود (۲۱). استفاده کارآمد از نیتروژن در کشاورزی می‌تواند باعث افزایش عملکرد، کاهش هزینه تولید و آلودگی-های زیست محیطی شود. لذا با توجه به نبود اطلاعات کافی در زمینه تأثیر منابع مختلف کود نیتروژن بر جذب عناصر ماکرو و میکرو در دانه کتان روغنی در شهر یاسوج، این پژوهش به این منظور انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار سال ۱۳۹۲ در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشگاه یاسوج در ارتفاع ۱۸۷۰ متری از سطح دریا و با مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی اجرا شد. آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۱۳ تیمار در ۳ تکرار انجام شد. تیمار-های آزمایش شامل موارد زیر بود: T۱-شاهد (بدون مصرف کود)، T۲- کاربرد ۹۰ کیلوگرم در هکتار اوره، T۳- کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، T٤-کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، T۵-کاربرد کود زیستی بارور۱ (حاوی ازتوباکتر (۱۰۰ گرم در هکتار) T٦- کاربرد کود زیستی نانو ذرات عناصر روی، مس، آهن و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن (۱ کیلوگرم در هکتار)، T۷- کاربرد ٤۵ کیلوگرم در هکتار اوره به‌همراه ۵ تن درهکتار ورمی‌کمپوست، T۸- کاربرد ٤۵ کیلوگرم در هکتار اوره به‌همراه کود زیستی بارور۱، T۹- کاربرد ٤۵ کیلوگرم در هکتار اوره به‌همراه کود نانو ذرات، T۱۰- کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌همراه کود نانو ذرات، T۱۱- کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌همراه کود زیستی بارور۱، T۱۲- کاربرد ٤۵ کیلوگرم در هکتار اوره، ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌همراه کود زیستی بارور۱، T۱۳- کاربرد ٤۵ کیلوگرم در هکتار اوره، ۵ تن در هکتار ورمی-کمپوست به‌همراه کود نانو ذرات.

قبل از شروع آزمایش برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه برداری و برای تجزیه به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج آزمون خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است. کرت‌های آزمایش با ابعاد ۲ در ۲/۵ متر شامل ۳ ردیف کاشت به فاصله ٦۰ سانتی‌متر بود که روی هر پشته ۲ ردیف کاشت به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از هم ایجاد شد و بذور با تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع در ۲۵ فروردین ماه کاشته شدند. قبل از کاشت، بذور مربوط به تیمارهای کود بارور۱ (حاوی ازتوباکتر) و کود نانو، مطابق با دستورالعمل شرکت تولید کننده (زیست

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی کود ورمی کمپوست مورد استفاده

نیتروژن (درصد)	پتاسیم (درصد)	فسفر (درصد)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن/کربن	اسیدیته	آهن(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	مواد آلی (درصد)
۲/۱۰	۰/۴۹	۰/۶۰	۱۹/۱	۱۶/۷	۸/۲۰	۲۸۴۰	۵۸/۹

فناور سبز) به‌صورت بذرمال تلقیح شدند. برای این منظور یک بسته از کود زیستی ازتوبارور-۱ را در آب موردنیاز برای مرطوب کردن بذر رقیق شد. بذرها در سایه روی نایلون تمیز قرار داده شد. محلول رقیق شده با آبپاش و به‌تدریج روی بذرها پاشیده و خوب مخلوط شد. در تیمارهای مصرف کود اوره، نیمی از کود اوره به کار برده شده قبل از کاشت و بقیه را در مرحله‌ی ۵ برگی به خاک اضافه شد. ورمی‌کمپوست به‌کار رفته در آزمایش با استفاده از کود گاوداری صنعتی بدون ضایعات زباله‌های صنعتی و شهری از شرکت دشت کیان مرودشت تهیه شد که گونه‌ی کرم خاکی به نام *Eisenia foetid* در آن به‌کار رفته است. خصوصیات شیمیایی کود ورمی‌کمپوست استفاده شده در جدول ۲ آورده شده است. کود ورمی‌کمپوست قبل از کاشت با خاک مخلوط شد. عملیات آبیاری به‌صورت جوی و پشته‌ای و بر اساس نیاز گیاه هر ۷ روز یک‌بار انجام گرفت. عملیات دفع علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و در مراحل مختلف رشد گیاه انجام شد. برداشت کتان روغنی در هفته‌ی آخر مرداد ماه ۱۳۹۲ انجام، و برای تعیین غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در بذر کتان، یک نمونه ۳۳ گرمی از هر کرت به‌طور تصادفی تهیه شد. نمونه‌های فراهم شده را پس از خشک کردن در آون در دمای ۷۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۶ ساعت به‌وسیله آسیاب برقی پودر کرده و درنهایت به روش هضم توسط اسیدسولفوریک، اسیدسالیسیک، آب اکسیژنه و سلنیم، عصاره آن‌ها تهیه شد و برای اندازه‌گیری کلیه عناصر موردنظر در بذر کتان از این عصاره استفاده شد. نیتروژن کل به روش تیتراسیون بعد از تقطیر با دستگاه کجلدال مدل Auto 1030 Analyzer Tecator، پتاسیم کل به روش نشر شعله‌ای با دستگاه فلیم فتومتر مدلJenWay PFP7 و فسفر کل به روش کالیمتری (رنگ زرد مولیبدات وانادات) با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل AE-UV1606 , اندازه‌گیری شد (۸). مقدار کلروفیل اندام هوایی در مرحله گل‌دهی با روش پیشنهادی آرنون (۵) اندازه‌گیری شد. عملکر دانه نیز از دو ردیف وسط با احتساب نوار حاشیه از مساحت ۲/۵ متری اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری درصد روغن دانه از روش سوکسله (۱۵) استفاده شد. از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن، عملکرد روغن به‌دست آمد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

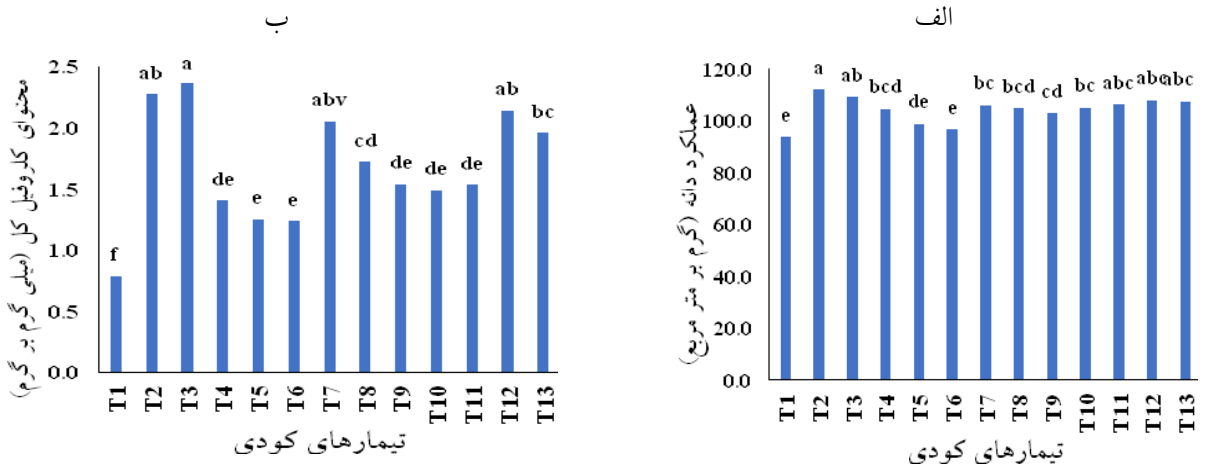
نتایج

عملکرد دانه: تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۱۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۹۳۰ کیلوگرم در هکتار) میزان عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به تیمار T۲ و تیمار شاهد (بدون مصرف کود) بود (شکل ۱ الف). افزایش عملکرد دانه در پی مصرف کود نیتروژن در پژوهش پرهیزکارخاجانی و همکاران (۲۴) و حیدری و همکاران (۱۲) نیز گزارش شده است. تأثیر تیمار T۳، T۱۱، T۱۲ و T۱۳ بر عملکرد دانه تقریباً با تیمار T۲ برابری می‌کنند. شارما و همکاران (۳۶) دلیل افزایش عملکرد و اجزا عملکرد کتان در پی مصرف تلفیقی ورمی‌کمپوست و تریکودرما را بهبود جذب آب، عناصر غذایی و افزایش ماده آلی خاک دانستند. ترشح هورمون‌های محرک رشد گیاه و افزایش جذب عناصر غذایی توسط باکتری‌های موجود در کود زیستی (۲۹)، در تحریک رشد گیاه، افزایش ماده خشک، افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کتان مؤثر بوده است.

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر عملکرد، محتوای کلروفیل برگ، عناصر دانه، درصد روغن و عملکرد روغن کتان روغنی

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	کلروفیل کل	محتوای نیتروژن دانه	محتوای فسفر دانه	محتوای پتاسیم دانه	محتوای آهن دانه	محتوای روی دانه	درصد روغن	عملکرد روغن
تکرار	۲	۱۱/۸	۰/۱۰	۷۴/۵	۱۴۸۸۶	۱۵۰۶۶	۱۷۰	۱۴/۸	۱/۹	۲/۲
تیمار	۱۲	۷۹/۲**	۰/۶۴**	۷۹/۲**	۲۲۱۲۷۲۶**	۵۷۶۵۷۵**	۷۱۶۶**	۵۳۱**	۴/۸ns	۲۴/۸**
خطا	۲۴	۱۲/۴	۰/۰۵	۱۷/۸	۱۳۸۰۸۱	۱۵۹۰۸۳	۷۹۷	۴۶/۱	۵	۶/۷
ضریب تغییرات (درصد)		۳/۳۷	۱۳/۶۰	۱۹/۵	۱۲/۱۸	۷/۵۶	۹/۳۴	۱۶/۲	۶/۵	۷/۳

** معنی‌داری در سطح احتمال خطای یک درصد را نشان می‌دهد.

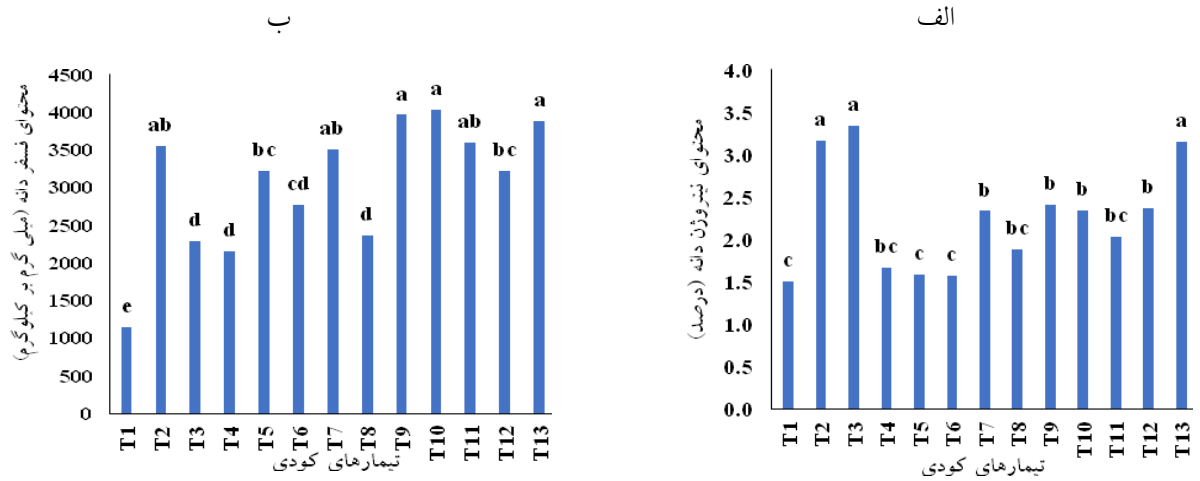


شکل ۱. اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر عملکرد دانه (الف) و محتوای کلروفیل کل (ب) کتان روغنی

ستون‌های داری حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند

محتوای کلروفیل کل: با معنی‌دار شدن تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر محتوای کلروفیل کل (a+b) (جدول ۳)، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل کل (۲/۳۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر) از تیمار T۳ و کمترین آن (۰/۷۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) از تیمار شاهد به‌دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که تیمار T۲ ، T۷ و T۱۲ بر محتوای کلروفیل کل در کتان تقریباً با تیمار T۳ برابری می‌کنند (شکل ۱ ب). این نتایج با نتایج پژوهش محققان در گیاهان انیسون (۷) و استویا (۳۹) مطابقت داشت. رد پای ورمی‌کمپوست در تیمارهای برتر از نظر محتوای کلروفیل ناشی از نقش ورمی کمپوست در افزایش ماده آلی خاک و فراهم‌سازی عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی، آهن، مس و منگنز) است (۱۸). نصراله‌زاده و همکاران (۲۰) بیان کردند که کودهای آلی در ترکیب با کودهای شیمیایی با افزایش عناصر غذایی مانند نیتروژن، آهن و منیزیم که در کلروفیل سازی مؤثر است و محتوای کلروفیل برگ را افزایش می‌دهد.

محتوای نیتروژن دانه: تأثیر تیمارهای مختلف کودی روی محتوای نیتروژن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان درصد نیتروژن به میزان (۳/۳۴ درصد) از تیمار T۲ که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای T۳ و



شکل ۲. اثر منابع مختلف کود نیتروژن برمحتوای نیتروژن دانه (الف) و محتوای فسفر دانه (ب)کتان روغنی

ستون‌های داری حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند

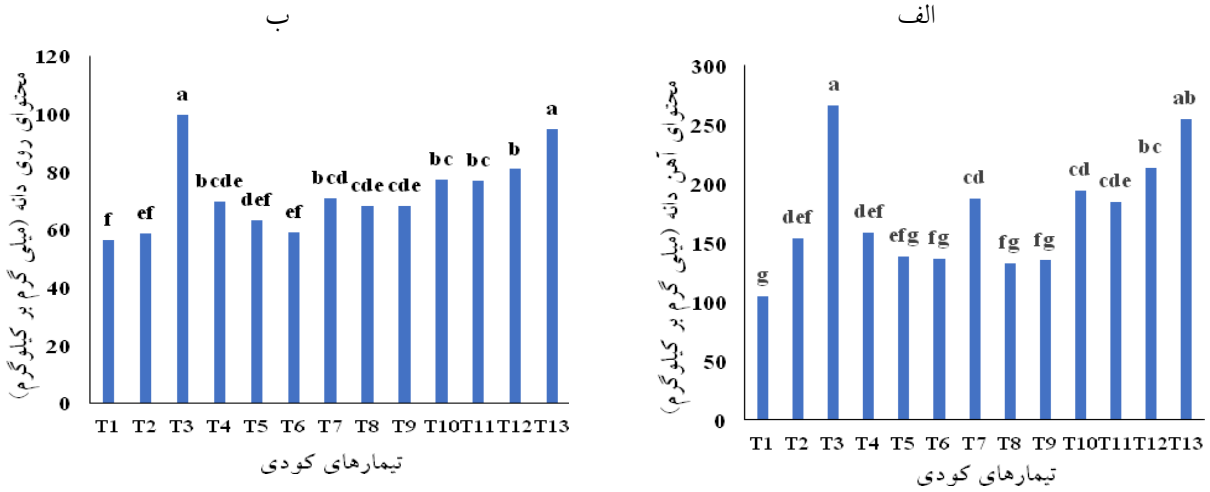
T۱۳ نداشت و کمترین آن به میزان (۱/۵۰ درصد) مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۲ الف). نیکبخت و همکاران (۲۲) از افزایش محتوای نیتروژن در برگ گیاه هندوانه ابوجهل در پی محلول پاشی کود نانو گزارش داد. ساختار نانو کلاته نیتروژن، به‌دلیل تخلخل ریز مولکول‌ها و غنی بودن آن‌ها از گروه‌های عاملی فعال نیتروژن، توانایی رهاسازی آرام نیتروژن در خاک را برای استفاده گیاه دارند (۳۵). تأمین به موقع و متوازن عناصر غذایی، قابلیت دسترسی گیاه به عناصر پر مصرف، بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی در خاک و ایجاد محیط مناسب برای رشد ریشه در پی مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی از طریق اثرات مثبت فیزیولوژیکی از جمله اثر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی، باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (۱۹).

محتوای فسفر دانه: تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف کودی روی محتوای فسفر دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۳). مقایسه میانگین داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که بیشترین محتوای فسفر دانه (٤٠٢٥ میلی‌گرم در گیلوگرم) از تیمار T۱۰ به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای T۲، T۹، T۱۱ و T۱۳ نداشت. کمترین میزان فسفر دانه (۱۱٤۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۲ ب). کودهای نانو به‌دلیل آن که در دسترس بودن عناصر غذایی را برای برگ‌های گیاه تسهیل می‌کنند، کارآیی مصرف عناصر را افزایش می‌دهد (۳). غلامی‌گنجه و صالحی (۹) از افزایش فسفر دانه زیره با کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست در ترکیب با مایکوریزا گزارش دادند. آن‌ها بیان کردند که مصرف ورمی‌کمپوست از طریق بهبود فراهم کردن جذب عناصر غذایی و فعالیت میکروبی خاک، باعث افزایش زیست توده گیاه و درنتیجه افزایش غلظت فسفر جذب شده توسط گیاه می‌شود. رحیم‌زاده و همکاران (۲۵) بیان کردند که باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن بر عمل ATP_{ase} و پمپ الکتروژنیک در غشا سلول‌های ریشه اثر گذاشته و با ازدیاد تراوش پروتونی از ریشه، نیروی محرکه لازم برای جذب سایر یون‌ها را فراهم می‌نمایند لرکی و همکاران (۱۷) بر تأثیر کودهای نانو پتاس برجذب و تجمع کادمیوم در بخشهای مختلف گیاه اشاره داشتند در حالی که نیکبخت و همکاران (۲۲) از بی‌تأثیر بودن کودهای نانو در افزایش محتوای فسفر و پتاسیم برگ گزارش کردند.

محتوای پتاسیم دانه: تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف کودی روی پتاسیم دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۳). نتایج

شکل ۳. اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر محتوای پتاسیم دانه کتان روغنی

ستون‌های داری حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند



شکل ٤. اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر محتوای آهن (الف) و محتوای روی (ب)دانه کتان روغنی

ستون‌های داری حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند

مقایسه میانگین داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که بیشترین محتوای پتاسیم دانه (۵۷۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) از تیمار T۱۳ و کمترین آن (٤۰۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار شاهد بود. همچنین تأثیر تیمارهای T۲ ، T۳ ، T٤ ، T۷ ، T۸ ، T۹ ، T۱۰، T۱۱ و T۱۲ بر محتوای پتاسیم دانه تقریباً با تیمار T۱۳ برابری می‌کند (شکل ۳). برخی از محققان از افزایش غلظت پتاسیم برگی در پی مصرف ورمی‌کمپوست گزارش دادند (۲٦ و ۳۸). بهبود جذب آب، عناصر غذایی و افزایش ماده آلی خاک در پی مصرف ورمی‌کمپوست (۳٦)، ترشح هورمون‌های محرک رشد گیاه و افزایش جذب عناصر غذایی توسط باکتری‌های موجود در کود زیستی (۲۵) و توانایی رهاسازی آرام نیتروژن در خاک با کمک کودهای نانو (۳۵) نقش مهمی در افزایش محتوای پتاسیم دانه دارد.

محتوای آهن دانه: تیمارهای مختلف کودی بر محتوای آهن دانه معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان غلظت آهن در بذر (۲٦٦ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار T۳ بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار T۱۳ نداشت و کمترین میزان محتوای آهن (۱۰٤ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ٤ الف). جذب عناصر کم مصرف ممکن است مربوط به توانایی تولید

سیدروفور توسط کودهای زیستی باشد که گیاهان از آن به‌عنوان عاملی برایی تأمین آهن مورد نیاز خود استفاده می‌کنند (۲۸). هیدرولیز کود اوره در خاک و تولید $NH4^+$ و اکسیداسیون یون آمونیوم به تولید NO_3^- و آزاد شدن H^+ سبب اسیدی شدن موقت پخش کود می‌شود که این امر باعث افزایش دسترسی گیاه به یون Fe^{++} می‌شود. میکروارگانیسم‌های موجود در کود زیستی نیتروکسین (ازتوباکتر و آزوسپریلیوم) تولیدکننده هیدروژن سیانید هستند. سیانید یک لیگاند مناسب برای پیوند شدن با آهن است و یک کمپلکس پایدار تولید می‌نماید. لذا قادر است تحرک آهن را در ریزوسفر افزایش دهد (٤٤). آهن به‌عنوان یک عنصر کلیدی در عمل تعداد زیادی از آنزیم‌های کلیدی نقش مهمی دارد. ورمی‌کمپوست دارای مقادیر زیادی از مواد هیومیکی است که موجب بهبود فراهمی عناصر غذایی خاص به‌ویژه آهن و روی می‌شود (۲۸).

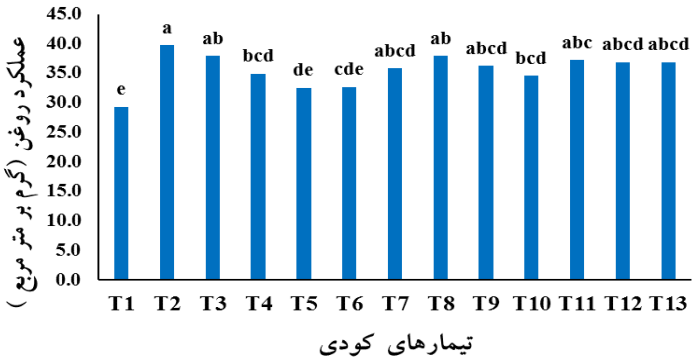
محتوای روی دانه: تأثیر تیمارهای مختلف کودی روی غلظت روی در دانه کتان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۳). مقایسه میانگین داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که بیشترین محتوای روی (۹۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار T۳ بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار T۱۳ نداشت و کمترین میزان محتوای روی دانه کتان (٥٦ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ٤ ب). روی عنصر ضروری و کم‌مصرف است که در ساختار آنزیم‌هایی مانند اکسیدو- ردوکتازها، ترانسفرازها، ایزومرازها، هیدرولازها و لیگازها شرکت داشته و بنابراین در سنتز پروتئین‌ها و کربوهیدات ها، متابولیسم سلول، محافظت غشا ازرادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرآیندهای مرتبط با امر سازگاری گیاهان به تنش‌ها، نقش مهمی ایفا می‌کند (۱۱). نتایج پژوهش وجودی- مهربانی و همکاران (٤١) از از نقش مثبت ورمی‌کمپوست در افزایش محتوای روی در اندام هوایی شاهی گزارش داد. رضوانی و همکاران (۳۰) بیان داشتند که کودهای زیستی با تولید سیدروفور و اسیدهای آلی سطح جذب ریشه گیاه را بالا برده و باعث انتقال بیشتر عناصر غذایی ریزمغذی از خاک به‌ویژه عنصر روی می‌شود.

درصد روغن دانه

بر اساس تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش، درصد روغن دانه تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی قرار نگرفت (جدول۳). که این نتیجه با نتایج پژوهش پرهیزکار خاجانی و همکاران (٢٤) و شاکری و همکاران (٣٤) مطابقت داشت. آنها گزارش دادند که افزودن کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن دانه ندارد. محققین بر این باورند که درصد روغن تحت کنترل عوامل ژنتیکی بوده اما افزایش کود در زمان مناسب می‌تواند به درصد روغن کمک نماید (٦).

عملکرد روغن

با توجه به تأثیر معنی‌دار انواع مختلف کودها بر میزان عملکرد روغن (جدول ۳)، تحلیل مقایسه‌ای میانگین‌ها نشان داد که بالاترین میزان روغن تولیدی (۳۹/۷ گرم بر مترمربع) مربوط به تیمار T۲ بوده، در حالی‌که کمترین مقدار (۲۹/۳ گرم بر مترمربع) از تیمار شاهد حاصل شد (شکل ٥). از آنجا که محاسبه عملکرد روغن بر اساس حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد روغن موجود در دانه انجام می‌شود، افزایش عملکرد دانه و ثبات نسبی درصد روغن آن، منجر به رشد کمی تولید روغن شد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از انواع کودهای نیتروژنه، اگرچه تأثیر قابل‌توجهی بر درصد روغن نداشته، اما در صورت هدف‌گیری افزایش کل روغن تولیدی در واحد سطح، به‌کارگیری این کودها در مقادیر مناسب ضروری است. این یافته‌ها با تحقیقات پیشین پرهیزکارخاجانی و همکاران (٢٤) و سجادی‌نیک و همکاران (۳۳) هم‌خوانی دارد. علاوه بر این، تیمارهای T۳، T۸ ، T۹، T۱۱ ، T۱۲ و T۱۳ از نظر عملکرد روغن تفاوت معناداری با تیمار T۲ نشان ندادند. در تمامی این تیمارها، استفاده از ورمی‌کمپوست، کود زیستی بارور۱ (حاوی ازتوباکتر) و کود نانو، منجر به کاهش مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه شد. بنابراین، با استناد به این نتایج می‌توان بیان کرد که به‌کارگیری ورمی‌کمپوست، کودهای زیستی



شکل ۵. اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر عملکرد روغن کتان روغنی

ستون‌های داری حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند

و نانو، توانایی کاهش مصرف کودهای شیمیایی و حفظ بهره‌وری گیاه کتان روغنی را دارند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که تیمارهای کودی مختلف، تأثیر قابل‌توجهی بر محتوای عناصر کتان روغنی دارد. کاربرد تلفیقی کود شیمیایی نیتروژن با تیمارهای مختلف کودهای زیستی و نانو منجر به افزایش عملکرد دانه، عملکرد روغن، محتوای کلروفیل و عناصر مورد اندازه‌گیری شد. به‌نظر می‌رسد که وجود مقادیر بیشتر فسفر در کود ورمی‌کمپوست موجب افزایش رشد و حجم سامانه ریشه‌ای شده که به جذب بیشتر پتاسیم در کنار آن جذب نیتروژن کمک می‌کند. علاوه بر این، مقادیر بالای عناصر غذایی و ماده آلی در این کود سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شده که دسترسی گیاه را به عناصر غذایی افزایش می‌دهد و از سویی وجود هورمون‌های محرک رشد در این کود بر رشد و افزایش زیست توده گیاه تأثیر مطلوبی می‌گذارد. اما بنا بر اهمیت مسائل زیست محیطی با به کارگیری تناوب و جایگزین کردن بخشی از کودهای شیمیایی با کودهای زیستی می‌توان از تیمارهای تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی استفاده کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار T۱۳ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود نانو) نقش قابل‌ملاحظه‌ای در افزایش بسیاری از صفات مورد اندازه‌گیری داشت.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان از دانشگاه یاسوج به جهت فراهم نمودن شرایط انجام این تحقیق سپاسگزاری می نمایند.

منابع

1-Adediran, J. A., L. B. Taiwo, M. O. Akande, R. A. Sobulo and O. J. Idowu. 2004. Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. *Journal of Plant Nutrition* 27: 1163-1181.

2-Alavi Matin, S. M., A. Rahnama and M. Meskarbashi. 2015. Effects of type and rate of potassium fertilizer on agronomic and physiological traits of two durum wheat varieties under salt stress. *Cereal Research* 5(2): 177-187. (In Farsi).

3-Alimohammadi, M., E. Panahpour and A. Anseri. 2018. Evaluation of the effect of nano-nitrogen chelate fertilizer on germination and green cover of sugarcane seedlings by digital images. *Journal of Soil Research Soil and Water Sciences* 32: 483-494. (In Farsi).

4-Amyanpoori, S., M. Ovassi and E. Fathinejad. 2015. Effect of Vermicompost and Triple superphosphate on yield of Corn (*Zea mays* L.). *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* 3: 494-499.

5-Arnon, D. I. 1949. Copper enzyme in isolated chloroplast and polyphenoloxidase in *beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1-15.
6-Asadi, S., E. Rezaei-chiyaneh and R. Amirnia. 2019. Effect of planting pattern and fertilizer source on agronomic characteristics of linseed (*Linum usitatissimum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) in intercropping under rained conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences* 21(1): 16-30. (In Farsi).
7-Behzadi, Y. and A. Salehi. 2017. Effects of biological, organic, and chemical fertilizers on uptake of N, P, K, grain yield, and essential oil yield in anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plant*s 32: 1027-1036. (In Farsi).
8-Emami, A. 1996. Methods of plant decomposition of soil and water research institute. *Technical Journal* 982(2): 128-128.
9-Gholami Ganjeh, S. and A. Salehi. 2015. Effects of different levels of vermicompost and biofertilizers on essential oil content and uptake of some elements in cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 31: 822-830. (In Farsi).
10-Glick, B. R., M. D. Penrose and J. A. Li. 1998. Model for the lowering of plant ethylene concentration by plant growth promoting bacteria. *The Journal of Theoretical Biology* 190: 63-68.
11-Hemantaranjan, A. 1996. Physiology and biochemical significance of zinc in plants. pp. 151-178, In A. Emanteranjan, (ed), Advancement in Micronutrient Research Scientific Publishers, Joudhpur, Rajasthan, India.
12-Heydari, R., M. Movahhedi Dehnavi, A. Yadavi and A. Khoshroo. 2020. Interaction of nitrogen and density on yield, nutrients content and nitrogen use efficiency in linseed (*Linum usitatisimum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science* 51: 159-170. (In Farsi).
13-Hosseinzadeh, S. R., H. Amiri and A. Ismaili. 2017. Effect of vermicompost levels on morphologic traits and nutrient concentration of chickpea under water stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 10. 531-545 (In Farsi).
14-Iran Nejad, H., M. Poshtkoohi, M. Javanmardi and R. Amiri. 2009. Performance of different linseed cultivars in Varamin region of Iran. *Journal of Crops Improvement* 11: 11-17. (In Farsi).
15-Johnson, C. M. and A. Ulric. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. *California Agricultural Experiment Station* 766: 52-78.
16-Larki, S., A. Rahnama and A. Aynehband. 2015a. Application of potassium fertilizers on physiological traits and cadmium accumulation in grain of two durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. Durum (Desf.) Husn.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences* 17(3): 223-235. (In Farsi).
17-Larki, S., A. Rahnama and A. Aynehband. 2015b. The effect of potassium on cadmium distribution and accumulation in different t organs of durum wheat. *Plant Productions* 38(3): 79-92.
18-Mendoza-Hernández, D., F. Fornes and R. M. Belda. 2014. Compost and vermicompost of horticultural waste as substrates forcutting rooting and growth of rosemary. *Horticultural Science* 178: 192-202.
19-Nardi, S., D. Pizzeghello, A. Muscolo and A. Vianello. 2009. Physiological effects of vermicomposting and humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 527-536.
20-Nasrolahzadeh, S., A. Shirkhani, S. Zehtab Salmasi and R. Choukan. 2016. Effects of biofertilizer and chemical fertilizer on maize yield and leaf characters in different irrigation conditions. *Applied Field Crops Research* 29: 72-86. (In Farsi).
21-Neetu, N., A. Aggarwal, A. Tanwar and A. Alpa. 2012. Influence of *Arbuscular mycorrhiza* fungi and *Pseudomonas flurescens* at different superphosphate levels on linseed (*Linum usitatissimum* L.) growth response. *The Chilean Journal of Agricultural Research* 72: 237-243.
22-Nikbakht, M., M. Solouki and M. Aran. 2021a. Effects of foliar application of nano-nitrogen and urea fertilizers on quantity and quality properties of bitter apple (*Citrullus colocynthis* L.) *Iranian Journal of Field Crop Science* 23: 155-168. (In Farsi).
23-Nikbakht, M., M. Solouki and M. Aran. 2021b. Effects of foliar application of nano-nitrogen and urea fertilizers on quantity and quality properties of bitter apple (*Citrullus colocynthis* L.). *Journal of Crops Improvement* 23: 155-168. (In Farsi).
24-Parhizkar-Khajani, F., H. Irannezhad, R. Amiri, H. Oraki and M. Majidian. 2012. Effects of different levels of nitrogen, phosphorus and potassium on quantitative and qualitative characteristics of oil flax. *The European Journal of Clinical Pharmacology* 5: 37-51.
25-Rahim Zadeh, S., Y. Sohrabi, G. Heidari, A. Ayouzi, T. Hosseini and S. Mohammadi. 2013. The effect of bio-chemical fertilizers on the absorption of macro and micro elements and the percentage of essential oil of Moldavian balm medicinal plant (*Dracocephalum moldavica L.*). *Iranian Journal of Field Crops Researc*h 11: 179-190. (In Farsi).

26-Rahimi, A. and E. Babakhanzadeh Sejirani. 2020. Effect of vermicompost and some commonly used elements on growth, absorption of nutrients and quantity and quality of savory essential oil (*Satureja hortensis* L.). *Journal of plant production research* 27: 133-149.
27- Rajabi Khamseh, S. and A. Danesh Shahraki. 2019. The effect of bacterial inoculation on the concentration of nutrients in oil flaxseed and farm soil under different levels of irrigation. *Journal of Plant Production Research* 26: 191-207. (In Farsi).
28-Rashidi, M., N. Abbasi and M. Zarea. 2018. Effect of phosphorus bio-fertilizers and chemical on element accumulations, chlorophyll content, seed yield and root growth of three local Mung bean (*Vigna radiata* L.) Populations. *Journal of Crop Plants Ecophysiology* 4(48): 650-631.
29-Rashtbari, M. and H. A. Alikhani. 2012. Effect and efficiency of municipal solid waste compost and vermincompost on morpho-physiological properties and yield of canola under drought stress. *Journal of Agriculture and Sustainable Production* 22: 114-127. (In Farsi).
30-Rezvani Moghaddam, P. and S. M. Seyedi. 2014. The role of organic and biological fertilizers in the uptake of phosphorus and potassium in (*Nigella sativa L.*). *Journal of Horticultural Science* 28: 43-53. (In Farsi).
31-Rodrigues, M. A., A. C. Ladeira and A. Arrobas. 2018. Azotobacter-enriched organic manures to increase nitrogen fixation and crop productivity. *European Journal of Agronomy* 93: 88-94.
32-Sadeghi, F. and A. Tadayon. 2014. Evaluation of chemical, organic and biological nitrogen on agronomic traites of different linseed ecotypes (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Crop Improvment* 16: 487-503. (In Farsi).
33-Sajadi Nik, R., A. R. Yadavi, H. R. Balouchi and H. Farajee. 2012. Effect of chemical (urea), organic (vermicompost) and biological (nitroxin) fertilizers on quantity and quality yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 21(2): 5-13. (In Farsi).
34-Shakeri, A., M. Amini Dehqi, S. Tabatabai and M. Modares Sanavi. 2011. Investigation of the effect of chemical fertilizer and biofertilizer on grain yield, oil percentage and rye agronomic characteristics of sesame cultivars. In: Proceeding of 5th National Conference on New Ideas in Agriculture. February 16, Islamic Azad University of Isfahan, Khorasgan. pp: 125-130. (In Farsi).
35-Sharma, P. D. 2008. Nutrient management Challenges and options. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 55: 395-403.
36-Sharma, R. L., S. Abraham, T. Mishra, R. Bhagat and O. Prakash. 2016. Effect of ecofriendly inputs on linseed varieties for yield performance and disease resistance against linseed wilt. *The Bioscan* 11: 1311-1313.
37-Silska, G. 2017. Genetic resources of flax (*Linum usitatissimum* L.) as very rich source of α-linolenic acid. *Herba Polonica* 63: 26-33.
38-Tasdighi, H., A. Salehi, M. Movahhedi Dehnavi and Y. Behzadi. 2015. Survey of yield, yield components and essential oil of *(Matricaria chamomilla L.)* with application of vermicompost and different irrigation levels. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 25: 61-78. (In Farsi).
39-Valinezhad, Z., A. Gholizadeh, M. Naeemi, E. Gholamalalipour Alamdari and M. Zarei. 2019. Effects of vermicompost and mycorrhizal fungus on quantitative and qualitative traits of medicinal plant *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 35: 484-500. (In Farsi).
40-Valipour, M., A. Rahnama, P. Hassibi and A. Monsefi. 2025. Evaluation of morphological traits and yield and yield components of oilseed flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes in response to deficit irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Science* 18(2): 1-19. (In Farsi).
41-Vojodi Mehrabani, L., R. Valizadeh Kamran and M. B. Hassanpour Eghdam. 2017. The effects of relative substitution of organic fertilizers on elements content, some physiological traits and yield of (*Lepidium sativum* L.). *Journal of Knowledge of Agriculture and Sustainable Production* 27: 63-72. (In Farsi).
42-Wu, S. C., Z. H. Caob, Z. G. Lib, K. C. Cheunga and M. H. Wonga. 2005. Effects of bio-fertilizer containing N-fixer, P and K solubilize and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma* 125: 155-166.
43-Yousefpoor, Z. and A. R. Yadavi. 2013. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative yield of sunflower. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 24: 95-112. (In Farsi).
44-Zamber, M. A., B. K. Konde and K. R. Sonar. 1984. Effect of Azotobacter chroococcum and Azosprillum brasilense inoculation under graded levels of nitrogen on growth and yield of wheat. *Plant and Soil* 79: 61-67.
45-Zuk, M., D. Richter, J. Matuła and J. Szopa. 2015. Linseed, the multipurpose plant. *Industrial Crops and Products* 75: 165-177.