

Original Article

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

Mojgan Shokri¹, Alireza Yadavi^{2*}, Mohsen Movahhedi Dehnavi², Amin Salehi³ and Razieh Karami⁴

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

Received: Des. 30, 2024; Revised: Apr. 16, 2025; Accepted: Apr. 23, 2025; Published Online: Jun. 16, 2025.

* Corresponding Author: Yadavi@yu.ac.ir

evaluated, 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/m²), 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.

Conclusion: 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.

How to Cite: Shokri M., Yadavi A., Movahhedi Dehnavi M., Salehi A., Karami R. The Effect of Different Sources of Chemical, Organic, Biological and Integrated Fertilizers on Chlorophyll, Nutrient Content and Grain Yield of Linseed (*Linum usitatissimum* L.). *J. Crop Prod. Process.* 2025, 15(2), 61-74 (In Persian). DOI: [10.47176/jcpp.15.2.20336](https://doi.org/10.47176/jcpp.15.2.20336)





مقاله پژوهشی

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

مژگان شکری^{۱*}، علیرضا یدوی^{۲*}، محسن موحدی‌دهنوی^۲، امین صالحی^۳ و راضیه کرمی^۴

چکیده - سامانه‌های کشاورزی متداول به دلیل 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 (بارور ۱ 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 (۲/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در تیمار T۳ (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 (T۲) بود که البته با تیمار تلفیقی ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود زیستی نانو (T۱۳) تفاوت معناداری نداشت. بیشترین درصد نیتروژن دانه (۳/۳۴ درصد) در تیمار T۲ مشاهده شد. تیمار T۱۰ (۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود زیستی نانو) بیشترین محتوای فسفر دانه (۴۰۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را به خود اختصاص داد. همچنین، تیمار T۱۳ بیشترین غلظت پتاسیم دانه (۵۷۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را نشان داد. بیشترین غلظت آهن (۲۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روی (۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز در تیمار T۳ (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 ۴۵ 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 (T۱۳) به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای تولید پایدار کتان روغنی پیشنهاد می‌شود. این روش نه تنها 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: ۱۴۰۴/۰۳/۲۶

۱، ۲، ۳ و ۴. 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 صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر

مجاز است:



مقدمه

کتان روغنی یا بزرک با نام علمی (*Linum usitatissimum*) یک گیاه چند منظوره دارویی- صنعتی است که بذر آن حاوی ۳۰-۴۸ درصد روغن، امگا ۳ و ویتامین E می باشد (۴۵). دانه های کتان همچنین حاوی ۲۰ تا ۲۵ درصد پروتئین بوده که به دلیل داشتن اسید آمینه های ضروری (لوسین، ایزولوسین، متیونین و ترپتوفان) از اهمیت خاصی برخوردار هستند (۱۴). به دلیل 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 بیماریها افزایش می دهد. استفاده از روغن آن سبب کاهش تشکیل کلون های سرطانی می شود (۳۷).

با توجه به اینکه به تازگی کشت کتان روغنی در کشور مجدداً مورد توجه قرار گرفته است و با توجه به اهمیت این گیاه راهبردهای بهبود عملکرد آن شامل روش های به نژادی و به زراعی است (۴۰). روش های کشاورزی متداول در جهان امروزه موفقیت قابل قبولی در استفاده و مدیریت منابع نداشته و اتکا بیش از اندازه به نهاده های کمکی نظیر سموم و کود شیمیایی، باعث ایجاد زیست بوم های ناپایدار شده است (۱). یکی از راه های فایده آمیز بر این مشکلات استفاده از کودهای زیستی است. به طوری که استفاده از کودهای زیستی برای حفظ توازن حاصلخیزی خاک از اهمیت ویژه ای برخوردار هستند (۴۳). کودهای زیستی حاوی باکتری ها و قارچ های مفیدی هستند که هر یک به منظوری خاص مانند تثبیت نیتروژن اتمسفری و رها سازی یون های فسفات، پتاسیم و آهن از ترکیبات نامحلول تولید می شوند. باکتری های مورد نظر معمولاً در اطراف ریشه مستقر شده و گیاه را در جذب عناصر هم یاری می کنند (۳۱). سنتز زیستی هورمون های محرک رشد (۱۰)، جذب سایر عناصر، کاهش ابتلا به بیماری ها، بهبود ساختمان خاک، رشد گیاه و افزایش کمی و کیفی محصول از دیگر مزایای مثبت استفاده از این میکروارگانیسم ها در تولید محصولات زراعی است (۴۲).

نیتروژن یک ماده غذایی معدنی است که گیاهان به مقدار زیاد به آن نیاز دارند. یون های نیترات و آمونیوم دو شکل اصلی نیتروژن هستند که به وسیله گیاهان جذب می شوند (۳۲). نتایج پژوهش پرهیزکار خانجانی و همکاران (۲۴) نشان داده است که با افزایش سطح نیتروژن، عملکرد دانه در کتان روغنی افزایش یافت، به طوری که بیشترین عملکرد روغن به میزان ۹۳۹ کیلوگرم در هکتار، با مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به دست آمد. کودهای آلی به ویژه کود ورمی کمپوست در مقایسه با کودهای شیمیایی دارای مقادیر زیادی مواد آلی هستند و به عنوان منابع غنی از عناصر غذایی به خصوص نیتروژن، فسفر و پتاسیم به شمار می روند که این عناصر را به مرور در اختیار گیاهان قرار می دهند 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 می کنند (۳۸).

امروزه کاربرد کودهای نانو در کشاورزی نویدبخش رهایی از محدودیت های 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 به دلیل سرعت جذب بیشتر و عدم اتلاف کودها به وسیله آبشویی، کاهش جذب فلزات سنگین و افزایش تحمل به تنش های غیر زیستی نقش دارند (۲، ۱۶ و ۲۳).

پژوهش رضوانی مقدم و سیدی (۳۰) از افزایش معنی دار درصد فسفر دانه در نتیجه اعمال کمپوست و ورمی کمپوست در مقایسه با تیمار شاهد گزارش دادند. آن ها 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 می تواند ناشی از تحریک رشد رویشی گیاه در پی مصرف کودهای آلی باشد که منجر به افزایش عملکرد گیاه می شود. افزایش غلظت پتاسیم برگی در پی مصرف ورمی کمپوست در پژوهش حسین زاده و همکاران (۱۳) نیز بیان شده است. بیشترین محتوای کلروفیل a و b، کلروفیل کل و کاروتنوئید از

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک محل آزمایش

هدایت الکتریکی (دسی-زیمنس بر متر)	کربن آلی (درصد)	ازت کل (درصد)	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن قابل جذب	روی قابل جذب
۱/۷	۰/۷	۰/۱۷	۸	۲۸۷	۱۱/۲	۰/۶۴

تیمار ۱۰ درصد ورمی کمپوست و کاربرد قارچ میکوریزا در گیاه استویا حاصل شد (۳۹). امین پور و همکاران (۴) با بررسی اثر ورمی کمپوست بر غلظت کلروفیل در برگ ذرت نشان داد که با کاربرد ورمی کمپوست از صفر تا ۱۰ تن در هکتار محتوای کلروفیل از ۱/۳۶ به ۱/۹۳ میلی گرم بر گرم افزایش یافت. رجبی خمسه و دانش شهرکی (۲۷) از افزایش محتوای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی بذر کتان با تیمار ازتوباکتر نسبت به شاهد گزارش دادند. ایشان بیان کردند که باکتری های 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 باکتری های محرک رشد گیاه از طریق انحلال فسفر و کمک به چرخه زیست-زمین-شیمیایی سبب تأمین مواد مغذی برای رشد گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد کتان روغنی می شود (۲۱). استفاده کارآمد از نیتروژن در کشاورزی می تواند 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 روش ها

این آزمایش در بهار سال ۱۳۹۲ در مزرعه ای 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 ورمی کمپوست، T۴- کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست، T۵- کاربرد کود زیستی بارورا (حاوی ازتوباکتر (۱۰۰ گرم در هکتار) T۶- کاربرد کود زیستی نانو ذرات عناصر روی، مس، آهن و باکتری های تثبیت کننده نیتروژن (۱ کیلوگرم در هکتار)، T۷- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره به همراه ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست، T۸- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره به همراه کود زیستی بارورا، T۹- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره به همراه کود نانو ذرات، T۱۰- کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست به همراه کود زیستی بارورا، T۱۱- کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست به همراه کود زیستی بارورا، T۱۲- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره، ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست به همراه کود زیستی بارورا، T۱۳- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره، ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست به همراه کود نانو ذرات.

قبل از شروع آزمایش برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک نمونه برداری و برای تجزیه به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج آزمون خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است. کرت های آزمایش با ابعاد ۲ در ۲/۵ متر شامل ۳ ردیف کاشت به فاصله ۶۰ سانتی متر بود که روی هر پشته ۲ ردیف کاشت به فاصله ۲۵ سانتی متر 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 بارورا (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 (میلی گرم بر کیلوگرم)	مواد آلی (درصد)
۲/۱۰	۰/۴۹	۰/۶۰	۱۹/۱	۱۶/۷	۸/۲۰	۲۸۴۰	۵۸/۹

اسپکتروفتومتر مدل AE-UV1606، اندازه‌گیری شد (۸). مقدار کلروفیل اندام هوایی در مرحله گل‌دهی با روش پیشنهادی آرنون (۵) اندازه‌گیری شد. عملکرد 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 حاصل ضرب 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

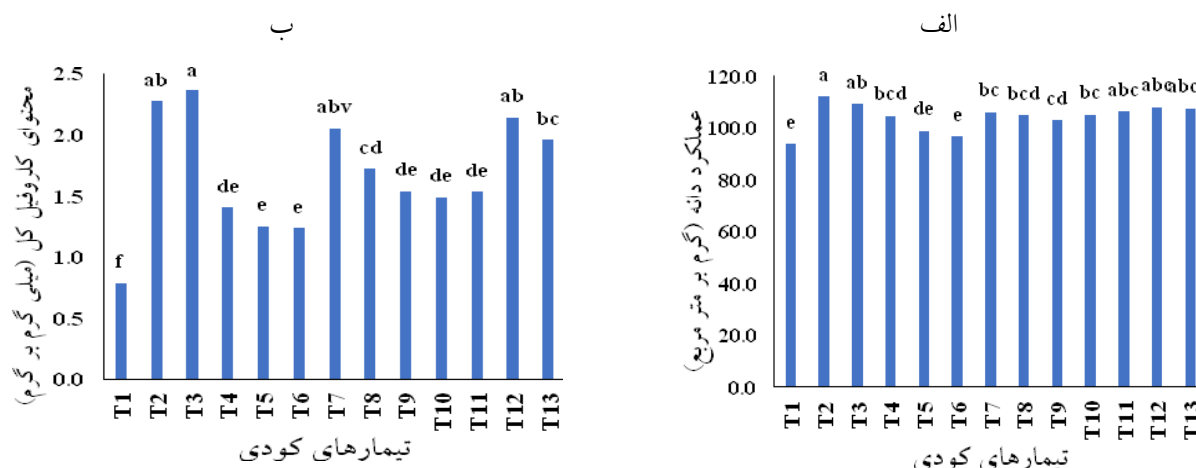
عملکرد دانه: تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۱۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۹۳۰ کیلوگرم در هکتار) میزان عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به تیمار T۲ و تیمار شاهد (بدون مصرف کود) بود (شکل ۱ الف). افزایش 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 ورمی کمپوست و ترکیب کودها 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.

فناور سبز) به‌صورت بذرمال تلقیح شدند. برای این منظور یک بسته از کود زیستی از توبارور-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 مرحله ۵ برگگی به خاک اضافه شد. ورمی کمپوست 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 ورمی کمپوست استفاده شده در جدول ۲ آورده شده است. کود ورمی کمپوست 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 در نهایت 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 کج‌دال مدل Auto 1030 Analyzer Tecator، پتاسیم کل به روش نشر شعله‌ای با دستگاه فلیم فتومتر مدل JenWay PFP7 و فسفر کل به روش کالیمتری (رنگ زرد مولیبدات وانات) با دستگاه

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**	۴/۸ ^{ns}	۲۴/۸**
خطا	۲۴	۱۲/۴	۰/۰۵	۱۷/۸	۱۳۸۰۸۱	۱۵۹۰۸۳	۷۹۷	۴۶/۱	۵	۶/۷
ضرب تدریج تغییرات (درصد)		۳/۳۷	۱۳/۶۰	۱۹/۵	۱۲/۱۸	۷/۵۶	۹/۳۴	۱۶/۲	۶/۵	۷/۳

** معنی داری در سطح احتمال خطای یک درصد را نشان می دهد.



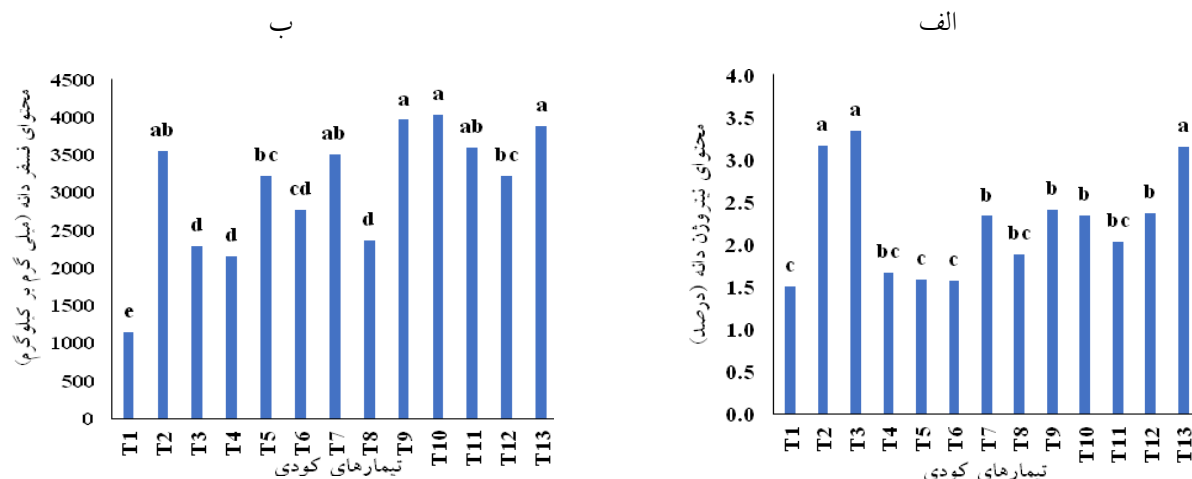
شکل ۱. اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر عملکرد دانه (الف) و محتوای کلروفیل کل (ب) کتان روغنی

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

افزایش ماده آلی خاک و فراهم سازی عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی، آهن، مس و منگنز) است (۱۸). نصراله زاده 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 می دهد.

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

محتوای کلروفیل کل: با معنی دار شدن تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر محتوای کلروفیل کل (a+b) (جدول ۳)، نتایج مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل کل (۲/۳۷ میلی گرم در گرم وزن تر) از تیمار T۳ و کمترین آن (۰/۷۹ میلی گرم در گرم وزن تر) از تیمار شاهد به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که تیمار T۲، T۷ و T۱۲ بر محتوای کلروفیل کل در کتان تقریباً با تیمار T۳ برابری می کنند (شکل ۱ ب). این نتایج با نتایج پژوهش محققان در گیاهان انیسون (۷) و استویا (۳۹) مطابقت داشت. رد پای ورمی کمپوست در تیمارهای برتر از نظر محتوای کلروفیل ناشی از نقش ورمی کمپوست در



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

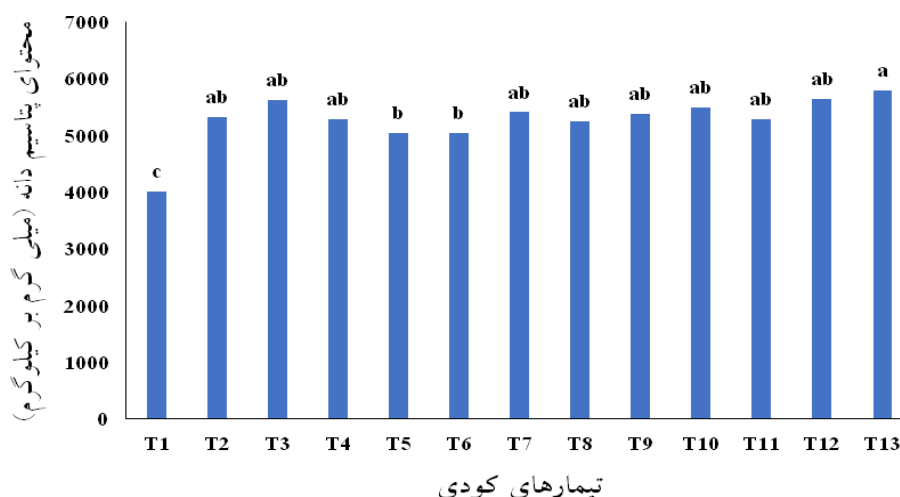
ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند

کیلوگرم) مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۲ ب). کودهای نانو به دلیل آن که در دسترس بودن عناصر غذایی را برای برگ‌های گیاه تسهیل می‌کنند، کارایی مصرف عناصر را افزایش می‌دهد (۳). غلامی‌گنجه و صالحی (۹) از افزایش فسفر دانه زیره با کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست در ترکیب با مایکوریزا گزارش دادند. آن‌ها بیان کردند که مصرف ورمی کمپوست از طریق بهبود فراهم کردن جذب عناصر غذایی و فعالیت میکروبی خاک، باعث افزایش زیست توده گیاه و در نتیجه افزایش غلظت فسفر جذب شده توسط گیاه می‌شود. رحیم‌زاده و همکاران (۲۵) بیان کردند که باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن بر عمل $ATPase$ 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 بر جذب 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 معنی دار بود (جدول ۳). نتایج

T13 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، به دلیل 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 معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که بیشترین محتوای فسفر دانه (۴۰۲۵ میلی گرم در کیلوگرم) از تیمار T10 به دست آمد که تفاوت معنی داری با تیمارهای T2، T9، T11 و T13 نداشت. کمترین میزان فسفر دانه (۱۱۴۹ میلی گرم در



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

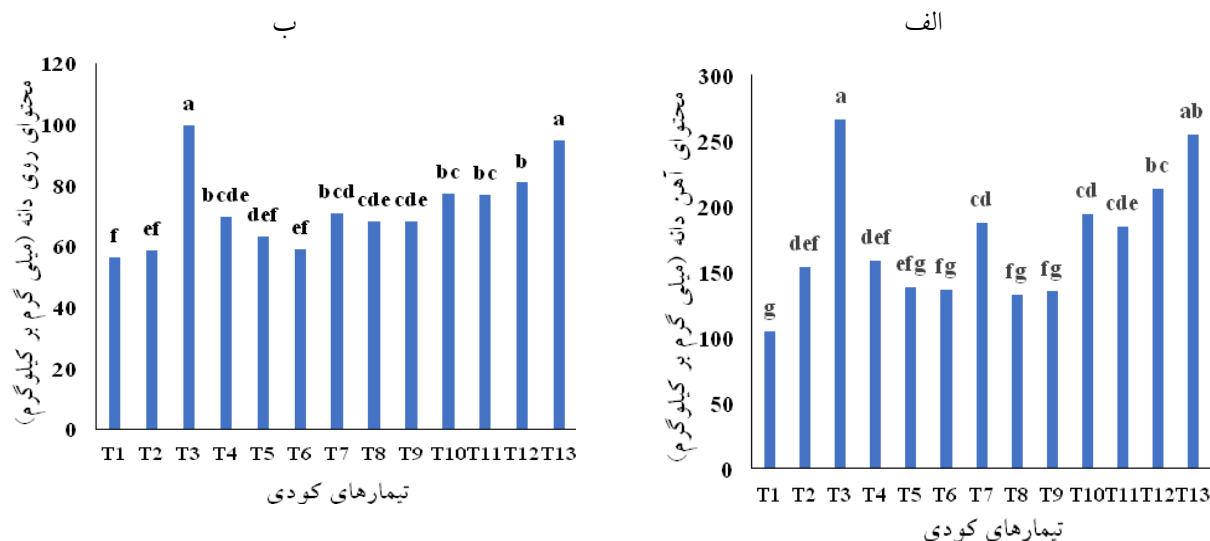
ستون‌های داری حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند

سیدروفور توسط کودهای زیستی باشد که گیاهان از آن به‌عنوان عاملی برای تأمین آهن مورد نیاز خود استفاده می‌کنند (۲۸). هیدرولیز کود اوره در خاک و تولید NH_4^+ 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. میکروارگانیزم‌های 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 (۴۴). 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 (جدول ۳). 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 (۵۶ میلی‌گرم در

مقایسه میانگین داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که بیشترین محتوای پتاسیم دانه (۵۷۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) از تیمار T۱۳ و کمترین آن (۴۰۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار شاهد بود. همچنین تأثیر تیمارهای T۲، T۳، T۴، 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 برگ در پی مصرف ورمی‌کمپوست گزارش دادند (۲۶ و ۳۸). بهبود جذب آب، عناصر غذایی و افزایش ماده آلی خاک در پی مصرف ورمی‌کمپوست (۳۶)، 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 (۲۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار T۳ بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار T۱۳ نداشت و کمترین میزان محتوای آهن (۱۰۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۴ الف). جذب عناصر کم مصرف ممکن است مربوط به توانایی تولید



شکل ۴. اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر محتوای آهن (الف) و محتوای روی (ب) دانه کتان روغنی

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

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 (۶).

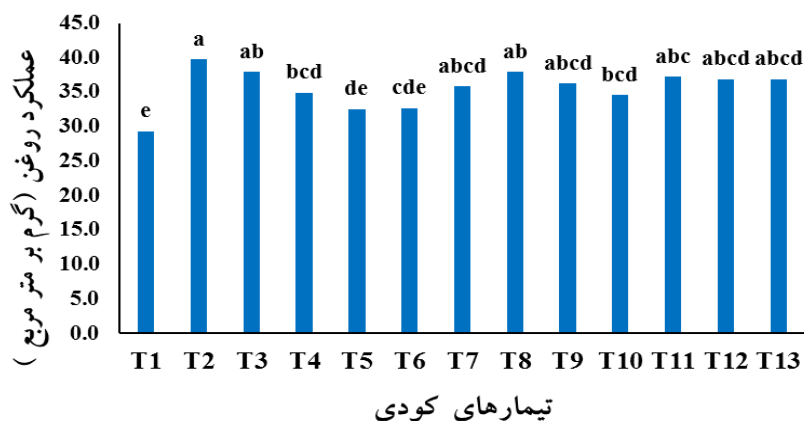
عملکرد روغن

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 ۵). 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 (۲۴) و سجادی‌نیک و همکاران (۳۳) هم‌خوانی دارد. علاوه بر این، تیمارهای T۳، T۸، T۹، T۱۱، T۱۲ و T۱۳ از

کیلوگرم) مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۴ ب). روی عنصر ضروری و کم‌مصرف است که در ساختار آنزیم‌هایی مانند اکسیدو- ردوکنازها، ترانسفرازها، ایزومرازها، هیدرولازها و لیگازها شرکت داشته و بنابراین در سنتز پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها، متابولیسم سلول، محافظت غشا از رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرآیندهای مرتبط با امر سازگاری گیاهان به تنش‌ها، نقش مهمی ایفا می‌کند (۱۱). نتایج پژوهش وجودی-مهربانی و همکاران (۴۱) 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 (جدول ۳). که این نتیجه با نتایج پژوهش پرهیزکارخاجانی و همکاران (۲۴) و شاکری و همکاران (۳۴) مطابقت داشت. آنها گزارش دادند که افزودن کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست تأثیر



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.

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 T13 (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 می‌نمایند.

نظر عملکرد روغن تفاوت معناداری با تیمار T2 نشان ندادند. در تمامی این تیمارها، استفاده از ورمی‌کمپوست، کود زیستی بارور (حاوی ازتوباکتر) و کود نانو، منجر به کاهش مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه شد. بنابراین، با استناد به این نتایج می‌توان بیان کرد که به کارگیری ورمی‌کمپوست، کودهای زیستی 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. به نظر 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،

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. Rahnema 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 rainfed 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 Plants* 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. Rahnema and A. Ayneband. 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. Rahnema and A. Ayneband. 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 fluorescens* 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 Research* 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 traits of different linseed ecotypes (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Crop Improvement* 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-Silka, 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 Azospirillum 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.