نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۳ شماره ۳ / پاییز ۱۴۰۲/ صفحات ۶۱-۴۷

The effect of Different Sources of Nitrogen Fertilizer on Yield and Yield Components of linseed *(Linum usitatissimum* L.*)*

Mojgan Shokri[1], Alireza Yadavi[2*], Amin Salehi[2], Mohsen Movahedi Dehnavi[3], Razeih Karami[4]

Received: 02 August 2022 Accepted: 03 November 2022
1- MSc of Agronomy, University of Yasouj, Iran.
2-Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Iran.
3- Prof, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Iran.
4- PhD Student in Crop Ecology, Dept. of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Iran.
*Corresponding Author Email: Yadavi@yu.ac.ir

Abstract

Background and Objective: The experiment was performed to investigate the effect of different sources of nitrogen fertilizer on yield and yield components of linseed Norman variety.

Materials and Methods: The experiment was conducted in the form of a randomized complete block design with 13 treatments in 3 replications in April 2012 in farm of Yasouj University. Experimental treatments during : T_1-control (without fertilizer application), T_2- application of 90 kg.ha^{-1} urea, T_3- application of 10 tons.ha^{-1} of vermicompost, T_4- application of 5 tons.ha^{-1} of vermicompost, T_5- application of Barvar1 biofertilizer (containing sAzotobacter (100 g.ha^{-1}) T_6- application of biofertilizer nanoparticles of zinc, copper, iron and nitrogen-fixing bacteria (1 kg.ha^{-1}), T_7- application of 45 kg.ha^{-1} urea + 5 tons.ha^{-1} of vermicompost, T_8- application of 45 kg.ha^{-1} of urea + Barvar1 biofertilizer, T_9- application of 45 kg.ha^{-1} of urea + nano biofertilizer, T_{10}- application of 5 tons.ha^{-1} of vermicompost + nano biofertilizer, T_{11}- application of 5 tons.ha^{-1} of vermicompost + Barvar1 biofertilizer, T_{12}- application of 45 kg.ha^{-1} of urea + 5 tons.ha^{-1} of vermicompost + biofertilizer Barvar1, T_{13}- application of 45 kg.ha^{-1} of urea + 5 Tons.ha^{-1} of vermicompost + nano biofertilizer.

Results: The results showed that different fertilizer treatments caused a significant increase in morphological traits, yield and yield components, biological yield, oil yield and protein percentage of linseed compared to the control.

Conclusion: The combined treatment of 45 kg.ha^{-1} of urea + 5 tons.ha^{-1} of vermicompost + nano fertilizer had a significant role in increasing yield and yield component of linseed.

Keywords: Grain Yield, Linseed, Nano Fertilizer, Nitrogen, Vermicompost

CC BY NC

DOI: 10.22034/saps.2022.52274.2896

تأثیر منابع مختلف کودی نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد کتان روغنی (*Linum usitatissimum* L.)

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۲
۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
۲-دانشیار، گروه زراعت واصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
۳-استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
۴-دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج
*مسئول مکاتبه: Email: Yadavi@yu.ac.ir

چکیده

اهداف: آزمایش به منظور بررسی تأثیر منابع مختلف کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد کتان روغنی رقم نورمن انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۳ تیمار در ۳ تکرار در فروردین ماه ۱۳۹۲ در مزرعه دانشگاه یاسوج انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل: T۱-شاهد (بدون مصرف کود)، T۲-کاربرد ۹۰ کیلوگرم در هکتار اوره، T۳-کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، T۴-کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، T۵-کاربرد کود بارور۱ (حاوی ازتوباکتر (۱۰۰ گرم در هکتار) T۶- کاربرد کود زیستی نانو ذرات عناصر روی، مس، آهن + باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن (۱ کیلوگرم در هکتار)، T۷- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن درهکتار ورمی‌کمپوست ، T۸- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + کود زیستی بارور۱، T۹-کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + کود نانو، T۱۰-کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود نانو، T۱۱-کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود زیستی بارور۱، T۱۲-کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره+ ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود زیستی بارور۱، T۱۳-کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره+ ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود نانو.

یافته‌ها: نتایج نشان دادند که تیمارهای مختلف کودی نسبت به شاهد بد.ن مصرف کود افزایش معنی داری در صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزا عملکرد، عملکرد بیولوژیک، عملکرد روغن و درصد پروتئین دانه کتان روغنی ایجاد نمودند.
نتیجه‌گیری: تیمار تلفیقی ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست + کود نانو نقش قابل ملاحظه‌ای در افزایش عملکرد و اجزائ عملکرد کتان روغنی داشتند.

واژه های کلیدی: عملکرد دانه، کتان روغنی، کود نانو، نیتروژن، ورمی‌کمپوست

مقدمه

کتان یکی از گیاهان مهم روغنی و دارویی است که در سطح جهان از اهمیت خاصی برخوردار است. کتان روغنی یا بزرک با نام انگلیسی Seed flax و نام علمی (*Linum ustatissimum* L.) گیاهی یک‌ساله، دولپه و خود گرده‌افشان (خواجه‌پور ۲۰۰۴) است که از دانه‌های آن برای تولید روغن استفاده می‌شود (لودویکوا و گیرگا ۲۰۱۵). دانه کتان ۳۳ تا ۴۵ درصد روغن و ۲۰ تا ۲۵

درصد پروتئین دارد (بهانواریا و همکاران ۲۰۱۳). همچنین دارای امگا-۳، ویتامین E و سایر ترکیبات فعال زیستی است، که اخیراً نیز به کاربرد دارویی آن توجه زیادی شده است. روغن کتان دارای اثرات ضد تورم و برطرف کننده دردهای میگرن است (زوک و همکاران ۲۰۱۵).

نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی و عامل کلیدی دستیابی به عملکرد مطلوب در محصولات زراعی می‌باشد و نقش مهمی در افزایش عملکرد دارد (لگاری و همکاران ۲۰۱۶). به طوری که مهم‌ترین نهاده تولید و محدود کننده‌ترین عنصر در تولید محصولات کشاورزی در گستره جهانی است (خلدبرین و اسلام‌زاده ۲۰۰۲). استفاده از کودهای شیمیایی در یک قرن اخیر موجب افزایش عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی شده است. اما استفاده زیاد و نامتعادل آن‌ها، منجر به افزایش هزینه‌های تولید، بازدهی کم و پیامدهای زیست محیطی شده که پایداری بوم نظام‌های زراعی را به خطر انداخته است (ستاری‌آرانی و همکاران ۲۰۱۸). یکی از راه‌های اساسی برای فائق آمدن به این مشکلات استفاده از کودهای زیستی است که به دلیل حفظ توازن حاصلخیزی خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (خاتون و همکاران ۲۰۲۰).

کودهای زیستی بر مبنای گزینش انواعی از ریز موجودات مفید (متشکل از باکتری‌ها و قارچ‌ها) هستند که کارآیی بالایی را از نظر تولید مواد محرک رشد و فراهم-سازی عناصر غذایی به شکل قابل جذب دارند (لوا و وبلی ۱۹۹۵). تثبیت نیتروژن (جی و همکاران ۲۰۱۹) رهاسازی یون‌های فسفات، پتاسیم و آهن از ترکیبات نامحلول (احمد و همکاران ۲۰۱۸)، کمک به جذب عناصر غذایی، ترشح هورمون‌ها (سیتار و همکاران ۲۰۱۹) کاهش پاتوژن‌های گیاهی (هو و همکاران ۲۰۱۷)، تحریک رشد گیاه و افزایش کمی و کیفی محصول (خاتون و همکاران ۲۰۲۰) از ویژگی‌های این کودها می‌باشد. رجبی‌خمسه و دانش‌شهرکی ۲۰۲۰) در بررسی اثر تلقیح باکتریایی بر عملکرد دانه کتان روغنی گزارش دادند که تیمار باکتریایی ترکیب سویه‌های مختلف (*Bacillus amyloliquefaciens*، *Bacillus* sp strain1 و *Azotobacter chroococcum*) بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشت. بررسی سطوح مختلف کود نیتروژن (اوره) در ترکیب با کود زیستی و سطوح مختلف گوگرد، نشان داد که بیشترین عملکرد و درصد پروتئین دانه کتان روغنی با کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به همراه کود زیستی حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره به همراه کاربرد کود زیستی نداشت (لاوانیا و همکاران ۲۰۱۵). آن‌ها همچنین گزارش دادند که با افزایش کاربرد کود نیتروژن، میزان روغن دانه کاهش یافت در حالی که مصرف گوگرد باعث افزایش روغن دانه در کتان روغنی شد.

استفاده از ورمی‌کمپوست یکی از راه‌های افزایش ماده آلی خاک است. ورمی‌کمپوست نوعی کمپوست تهیه شده به کمک کرم‌های خاکی است که در نتیجه تغییر، تبدیل و هضم نسبی ضایعات آلی، ضمن عبور از دستگاه گوارش این جانوران به دست می‌آید (پرابها و همکاران ۲۰۰۷). نتایج حاصل از پژوهش واسنت و همکاران ۲۰۲۰) نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست بر اجزای رشد گیاه (ریشه، اندام هوایی، شاخص سطح برگ) و اجزا عملکرد (تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف و عملکرد بذر) گیاه کنجد اثر معنی‌داری دارد. تمامی صفات ذکر شده در تیمار ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست و ۵۰ درصد NPK افزایش یافت. درزی و همکاران ۲۰۱۱) بیان کردند که با مصرف ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست بیشترین ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را در گیاه انیسون حاصل شد.

گزارشات زیادی در مورد اثرات سودمند استفاده از کودهای نانو (افزایش کارآیی مصرف عناصر غذایی، افزایش مقدار محصول و کاهش آلودگی خاک) وجود داد (لیو و لال ۲۰۱۵). فناوری نانو علم مربوط به اجزا بسیار ریز است که در بسیاری از زمینه‌ها از جمله علوم زیستی کاربرد دارد. برخی خصوصیات نانو ذرات‌ها مانند سطح مخصوص بالا، ویژگی‌های مغناطیسی یکسان و وضعیت الکترونی خاص باعث شده که این ذرات در مقایسه با مواد معمولی واکنش‌پذیری بهتری داشته باشند (آگراوال و راتور ۲۰۱۴). بنزون و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی مصرف توأم کود نانو با کودهای معمول در زراعت گندم،

تأثیر معنی‌دار نانو ذرات را بر تعداد پنجه بارور در هر بوته گزارش کردند.

استفاده کارآمد از نیتروژن در کشاورزی میتواند باعث افزایش عملکرد، کاهش هزینه تولید و آلودگی‌های زیست محیطی گردد. با توجه به نبود اطلاعات کافی در زمینه تأثیر منابع مختلف کود نیتروژن بر خصوصیات به زراعی کتان روغنی ، این پژوهش به منظور بررسی منابع مختلف کود نیتروژن بر خصوصیات زراعی کتان روغنی در یاسوج انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار و تابستان 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 گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۱۳ تیمار در ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل موارد زیر بود: T۱-شاهد (بدون مصرف کود)، T۲- کاربرد ۹۰ کیلوگرم در هکتار اوره، T۳- کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، T۴-کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، T۵-کاربرد کود بارور۱ (حاوی ازتوباکتر (۱۰۰ گرم در هکتار به صورت بذرمال)) T۶- کاربرد کود زیستی نانو ذرات عناصر روی، مس، آهن و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن (۱ کیلوگرم در هکتار)، T۷- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره به همراه ۵ تن درهکتار ورمی‌کمپوست، T۸- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره به همراه کود زیستی بارور۱، T۹- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره به همراه کود نانو ذرات، T۱۰- کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه کود نانو ذرات، T۱۱- کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی-کمپوست به همراه کود زیستی بارور۱، T۱۲- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره، ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه کود زیستی بارور۱، T۱۳- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره، ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه کود نانو ذرات.

در مرحله‌ی آماده سازی زمین پیش از کاشت، نمونه-ای مرکب از خاک مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری به صورت تصادفی تهیه گردید. نتایج آزمون خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارایه شده است. عملیات کاشت در بیست و پنجم فروردین ماه به صورت جوی و پشته در کرت‌های با ابعاد ۲ در ۲/۵ متر شامل ۳ ردیف کاشت به فاصله ۶۰ سانتی‌متر انجام گرفت. روی هر پشته ۲ ردیف کاشت به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از هم ایجاد شد و بذور با تراکم ۱۰۰ بوته در متر کاشته شدند. قبل از کاشت، بذور مربوط به تیمارهای کود بارور۱ (حاوی ازتوباکتر) و کود نانو، مطابق با دستورالعمل شرکت تولید کننده (زیست فناور سبز) به صورت بذرمال تلقیح شدند. برای این منظور یک بسته از کود زیستی ازتوبارور-۱ را در آب مورد نیاز برای مرطوب کردن بذر رقیق شد. بذرها در سایه روی نایلون تمیز قرار داده شد. محلول رقیق شده با آبپاش و به تدریج 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. ورمی-کمپوست به‌کار رفته در آزمایش با استفاده از کود گاوداری صنعتی بدون ضایعات زباله‌های صنعتی و شهری از شرکت دشت کیان مرودشت تهیه گردید 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 ورمی-کمپوست قبل از کاشت با خاک مخلوط شد. عملیات آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای و بر اساس نیاز گیاه هر ۷ روز یک‌بار انجام گرفت. عملیات دفع علف‌های هرز به صورت وجین دستی و در مراحل مختلف رشد گیاه انجام شد. برداشت کتان روغنی در سی‌ام مرداد ماه ۱۳۹۲ انجام، و برای تعیین صفات عملکرد زیستی و عملکرد دانه، ۱/۵ متر مربع از هر واحد آزمایش با رعایت اثر حاشیه برداشت شد. در مرحله رسیدگی با انتخاب ۱۵ بوته به صورت تصادفی ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها برای تجزیه و تحلیل داده‌ها لحاظ گردید. جهت اندازه‌گیری درصد روغن دانه از روش سوکسله (جانسون و اولریچ ۱۹۵۹) استفاده شد. از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن، عملکرد

روغن به دست آمد. برای اندازه‌گیری درصد پروتئین ابتدا میزان نیتروژن دانه به روش کلدال تعیین و از طریق حاصل‌ضرب درصد نیتروژن دانه گیاه در عدد ۶/۲۵ درصد پروتئین دانه برآورد شد (امامی ۱۹۹۷). آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

جدول ۱-خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

بافت خاک	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی (%)	ازت کل (%)	فسفرقابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	آهن قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	روی قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)
Sicl	۰/۷	۱/۷	۰/۱۷	۸	۲۸۷	۱۱/۲	۰/۶۴

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی کود ورمی کمپوست مورد استفاده

مواد آلی (%)	Fe ($mg.kg^{-1}$)	PH	C/N	OC (٪)	P (٪)	K (٪)	N (٪)
۵۸/۹	۲۸۴۰/۲۰	۸/۲۰	۱۶/۷۰	۱۹/۱۵	۰/۶۰	۰/۴۹	۲/۱۰

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف کودی روی ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۴۹/۳۳ سانتی‌متر) مربوط به تیمار T۲ (۹۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره) و کمترین ارتفاع بوته (۳۱/۸۱ سانتی‌متر) مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۱). حیدری و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود نشان دادند که مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن، ارتفاع بوته کتان روغنی را نسبت به شاهد ۱۷/۸ درصد افزایش داد. شاکری و همکاران (۲۰۱۲) نیز از افزایش ارتفاع کنجد در پی افزایش مصرف کود نیتروژن گزارش دادند. مصرف مقادیر بالای کود نیتروژن با گسترش سطح ریشه و افزایش جذب آب و عناصر از خاک، موجب تحریک رشد رویشی گیاه شده و از طریق افزایش سطح برگ و سطح فتوسنتزی گیاه، میزان آسمیلات‌هایی را که در اختیار گیاه قرار می‌دهد، افزایش داده و در نتیجه از طریق تقسیم و طویل شدن سلول‌ها، موجب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (میرزاشاهی و نورقلی‌پور ۲۰۲۰) که با نتایج واسنت و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. هم‌چنین مشاهده شد که تیمارهای T۴ (۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست) و T۱۱ (۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود زیستی بارور۱) و T۹ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + کود نانو) از نظر ارتفاع بوته، عملکردی تقریباً مشابه با تیمار T۲ دارند، به طوری که دارای حرف مشترک با هم می‌باشند. درزی و همکاران (۲۰۱۱) نیز در پژوهش خود از اثر مثبت ورمی‌کمپوست در افزایش ارتفاع بوته کنجد گزارش دادند. مصرف ورمی‌کمپوست در دراز مدت باعث افزایش سطح ماده آلی و بهبود ساختمان خاک شده و افزایش عملکرد گیاه زراعی را در پی دارد (مندوز-هرناندز و همکاران ۲۰۱۴). لذا تیمار T۴ با توجه به عدم مصرف کودهای شیمیایی می‌تواند جایگزین مناسبی برای تیمارT۲ باشد. از دلایل مهمی که می‌توان برای تأثیر کودهای بیولوژیک در افزایش ارتفاع بوته برشمرد این است که مصرف این کودها منجر به افزایش طول میانگره‌ها شده که این امر می‌تواند مربوط به تحریک تولید هورمون‌های گیاهی تولید شده توسط این کودها باشد (کارتیکیان و همکاران ۲۰۰۸).

تعداد شاخه در بوته

تأثیر تیمارهای مختلف کودی روی تعداد شاخه در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین تعداد شاخه در بوته (۱۳/۲۳) مربوط به تیمار T۱۳ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار

ورمی‌کمپوست + کود زیستی نانو ذرات) و کمترین (۷/۰۳) مربوط به تیمار شاهد بود که با تیمارهای T۱۲ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی-کمپوست + کود زیستی بارور۱)، T۱۱ (۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + بارور۱)، T۱۰ (۵ تن در هکتار ورمی-کمپوست + کود نانو)، T۸ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + کود زیستی بارور۱)، T۷ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست)، T۳ (۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست) و T۲ (۹۰ کیلوگرم در هکتار اوره) دارای حروف مشترک بود (شکل ۲). به طور کلی افزایش کاربرد نیتروژن به دلیل افزایش سطح سبز فتوسنتز کننده موجب افزایش جذب و انتقال مواد فتوسنتزی و تولید هورمون‌های تحریک کننده رشد در مریستم‌های انتهایی و مریستم جانبی می‌شود و در نتیجه مجموعه این عوامل سبب افزایش تولید شاخه‌های جانبی در سطح بالا نیتروژن می‌گردد (فتحی و همکاران ۲۰۰۲). لذا فراهم سازی نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق تیمارهای زیستی نه شیمیایی علاوه بر افزایش عملکرد در کاهش مشکلات زیست محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی مؤثر است. غنی بودن کود ورمی‌کمپوست، انواع عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را تأمین می‌کند.

تعداد کپسول در بوته

بر اساس تجزیه واریانس حاصل از داده‌های آزمایش تأثیر تیمارهای مختلف کودی روی تعداد کپسول در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که بیشترین تعداد کپسول در بوته (۳۰/۳۳) مربوط به تیمارT۲ (۹۰ کیلوگرم در هکتار اوره) و کمترین آن (۸/۲۶) مربوط به تیمار شاهد می‌باشد (شکل ۳). افزایش تعداد دانه در کپسول در پی مصرف کود نیتروژن در پژوهش پرهیزکارخانجانی و همکاران (۲۰۱۲) و حیدری و همکاران (۲۰۲۰) گزارش شده است. آن‌ها این افزایش را به رشد سبزینه‌ای گیاه و افزایش تولید ماده ذخیره‌ای و تعداد شاخه‌های فرعی نسبت دادند که در نهایت سبب افزایش تعداد دانه کپسول در بوته می-شود. نتایج نشان داد که تیمارهای T۳ (۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست)، T۱۱(۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود زیستی بارور۱)، T۱۲ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود زیستی بارور۱) و T۱۳ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود نانو) با تیمارT۲ دارای حروف مشترک بودند. سجادی‌نیک و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهش خود گزارش دادند که بیشترین تعداد کپسول در بوته مربوط به کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه تلقیح با کود زیستی نیتروکسین بوده است. نصیری و جوانمرد (۲۰۲۱) عملکرد بالاتر در تیمارهای دارای ورمی‌کمپوست را به بهبود ساختمان فیزیکی خاک، وجود هورمون‌های رشد گیاه و سطوح بالای آنزیم‌ها و افزایش جمعیت میکروبی نسبت دادند.

تعداد دانه در کپسول

تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد زیستی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که بیشترین تعداد دانه در کپسول (۸/۶۳) مربوط به تیمار T۱۲ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی-کمپوست + کود زیستی بارور۱) بود که البته بین این تیمار و تیمارهای T۱۳ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود نانو)، T۱۱ (۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود زیستی بارور۱) و T۴ (۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست) از لحاظ تعداد دانه در کپسول تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و کمترین تعداد دانه در کپسول (۶/۸۶) مربوط به تیمار T۶ (کود نانو ذرات) بود (شکل ۳). واسنت و همکاران، (۲۰۲۰) در پژوهش خود بیان کردند که از کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست و ۵۰ درصد NPK بیشترین تعداد دانه در کپسول حاصل شد. افزایش تعداد دانه در کپسول کنجد در پی کاربرد تلفیقی کودهای زیستی (اوره و نیتروکسین) در پژوهش نصراله زاده اصل و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شده است. رد پای ورمی‌کمپوست در تیمارهای برتر از نظر تعداد دانه در کپسول ناشی از افزایش ماده آلی خاک و ایجاد بستری مناسب برای فعالیت ریزجانداران مفید خاکزی و افزایش فعالیت بیولوژیک خاک در محیط ریشه است که تأثیر مثبتی بر رشد گیاه دارد. کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و کودهای زیستی با تأمین نیتروژن

مورد نیاز گیاه، کمک به جذب بهینه آب، عناصر غذایی، تولید هورمون‌های رشد و برخی ویتامین‌ها، رشد گیاه را تقویت کرده که نتیجه آن به صورت افزایش عملکرد نمایان می‌گردد (رضایی‌چیانه و همکاران ۲۰۱۷).

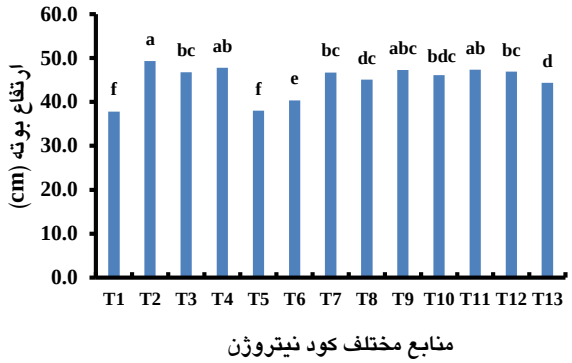
وزن هزار دانه

نتایج آزمایش بیانگر معنی داری اثر تیمارهای کودی به کار رفته بر وزن هزار دانه کتان روغنی بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه (۵ گرم) مربوط به تیمار T۲ (۹۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره) و کمترین وزن هزار دانه (۴/۲ گرم) مربوط به تیمار شاهد (شکل ۵). افزایش وزن هزار دانه، با توجه به افزایش طول دوره‌ی پر شدن دانه در اثر کاربرد منابع نیتروژن، قابل توجیه است. افزایش میزان مواد غذایی قابل دسترس گیاه به‌وسیله کاربرد کودهای شیمیایی توانسته است تا حدی به افزایش وزن هزار دانه منجر شود. نتایج به‌دست آمده با نتایج پژوهش حیدری و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد. سجادی‌نیک و همکاران (۲۰۱۲) نیز در پژوهش خود گزارش دادند که با افزایش سطح مصرف کود نیتروژن از ۲۵ کیلوگرم در هکتار به ۵۰ کیلوگرم در هکتار، وزن هزار دانه کنجد به طور معنی-داری افزایش یافت. وزن هزار دانه تیمارهای T۳ (۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست)، T۴ (۵ تن در هکتار ورمی-کمپوست)، T۵ (کود زیستی بارور۱)، T۷ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست)، T۹ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + کود نانو)، T۱۱(۵ تن ورمی-کمپوست + کود زیستی بارور۱) و T۱۳ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست + کود نانو) با تیمار T۲ برابری می‌کند، به صورتی که با تیمارT۲ دارای حرف مشترک می‌باشند. افزایش وزن هزار دانه در این تیمارها را می‌توان به هم افزایی کاربرد ورمی‌کمپوست با کودهای زیستی در این تیمارها ربط داد. بهبود میزان فتوسنتز و تولید زیست توده گیاهی باعث شده است که شرایط مناسبی برای دسترسی به عناصر غذایی در خاک فراهم شود که منجر به بهبود رشد و دوام پرشدن دانه و نهایتاً افزایش وزن هزاردانه می‌گردد (نصیری و جوانمرد ۲۰۲۱). کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و ورمی‌کمپوست با افزایش کیفیت محصول و سلامت خاک در دراز مدت می‌توانند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشند.

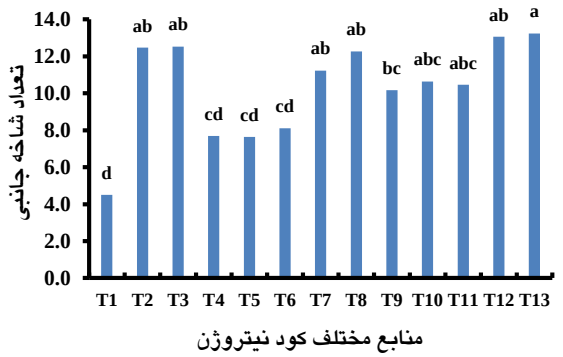
جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات منابع مختلف کود نیتروژن بر صفات مورفولوژیک و عملکرد کمی و کیفی کتان روغنی

تیمارها	ارتفاع بوته	تعداد شاخه در بوته	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	وزن هزار دانه	عملکرد زیستی	عملکرد دانه	درصد روغن	عملکرد روغن	درصد پروتئین
T۱	۳۷/۸^{f}	۷^{d}	۸/۲^{g}	۷/۱^{cde}	۴/۲^{e}	۲۶۰/۲^{e}	۹۳/۷^{e}	۳۱/۱^{b}	۲۹۳/۲^{d}	۸/۸۵^{d}
T۲	۴۹/۳^{a}	۱۲/۴^{ab}	۳۰/۳^{a}	۷/۷^{bc}	۵^{a}	۴۰۱/۵^{a}	۱۱۲^{a}	۳۵/۵^{a}	۳۹۷/۴^{a}	۲۲/۳۲^{a}
T۳	۴۶/۷^{bc}	۱۲/۵^{ab}	۱۹/۸^{cde}	۷/۹^{bc}	۴/۷۷^{abc}	۳۵۹/۳^{abc}	۱۰۹^{ab}	۳۴/۷^{ab}	۳۷۹/۱^{ab}	۲۲/۷۳^{a}
T۴	۴۷/۷^{ab}	۱۳^{ab}	۲۷^{ab}	۶/۴^{e}	۴/۷^{bcd}	۳۴۸/۶^{bcd}	۱۰۴/۶^{bcd}	۳۳/۳^{ab}	۳۴۸/۸^{bc}	۱۰/۸۲^{cd}
T۵	۳۸^{f}	۷/۶^{cd}	۸/۸^{g}	۸/۶^{a}	۴/۴^{cde}	۳۰۴/۴^{cde}	۹۸/۹^{ed}	۳۲/۹^{ab}	۳۲۵/۴^{cd}	۹/۸۱^{d}
T۶	۴۷/۳^{e}	۸^{cd}	۱۱/۴^{fg}	۷/۸^{bc}	۴/۶^{cde}	۲۹۴/۴^{cde}	۹۶/۷^{e}	۳۳/۷^{ab}	۳۲۶/۹^{cd}	۹/۵۰^{d}
T۷	۴۶/۷^{bc}	۱۱/۲^{ab}	۱۵^{efg}	۷/۷^{bc}	۴/۸^{ab}	۴۰۰/۵^{a}	۱۰۶/۱^{bc}	۳۴/۷^{ab}	۳۵۸/۲^{abc}	۱۵/۴۹^{bc}
T۸	۴۵^{cd}	۱۲/۲^{ab}	۲۶/۷^{abc}	۷^{ed}	۴/۴^{cde}	۳۴۲/۴^{bcd}	۱۰۷/۹^{abc}	۳۵/۱^{a}	۳۷۸/۹ ^{ab}	۱۲/۳۱ ^{cd}
T۹	۴۷/۲^{bc}	۱۰/۱^{bc}	۲۱/۹^{bcd}	۷/۳^{bcd}	۴/۸^{ed}	۳۲۸/۲^{bcd}	۱۰۷/۵^{abc}	۳۵/۱^{a}	۳۶۲/۱ ^{abc}	۱۵/۵۰ ^{bc}
T۱۰	۴۶/۱^{cd}	۷/۷^{cd}	۱۸/۸^{cde}	۷^{cd}	۴/۸^{ed}	۳۳۸/۱^{bcd}	۱۰۵^{bc}	۳۲/۹^{ab}	۳۴۵/۶ ^{bc}	۱۵/۳۴ ^{bc}
T۱۱	۴۷/۳^{ab}	۱۳/۲^{a}	۲۷/۴^{ab}	۸^{ab}	۴/۵^{bcd}	۲۹۷/۴^{cde}	۱۰۶/۳^{abc}	۳۴/۹^{a}	۳۷۲/۴ ^{ab}	۱۳/۴۳ ^{bcd}
T۱۲	۴۶/۸^{bc}	۱۰/۶^{abc}	۲۳/۷^{abc}	۷/۴^{bcd}	۴/۶^{cde}	۳۹۸/۸^{a}	۱۰۴/۸^{bc}	۳۵/۱۲^{a}	۳۶۸/۳ ^{bc}	۱۶/۰۱ ^{b}
T۱۳	۴۴/۳^{d}	۱۰/۴^{bc}	۱۶^{efg}	۸^{ab}	۴/۸^{ab}	۳۷۱/۱^{ab}	۱۰۲/۹^{cd}	۳۳/۲^{ab}	۳۶۸/۷ ^{bc}	۲۱/۱۷ ^{a}

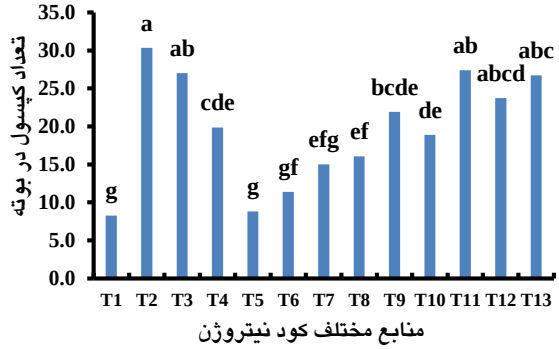
۱ T- شاهد ۲ T- کاربرد ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره ۳ T- کاربرد ۱۰ تن ورمی‌کمپوست ۴ T- کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست ۵ T- کاربرد کود بارور۱ T۶ – کاربرد کود نانو ۷ T- کاربرد ۴۵ کیلو گرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست ۸ T- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار+ بارور۱ ۹ T- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره+ نانو ۱۰ T- کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود نانو ۱۱ T- کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + بارور۱ ۱۲ T- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + بارو۱ ۱۳ T- کاربرد ۴۵ کیلو گرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست + کود نانو (در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند).



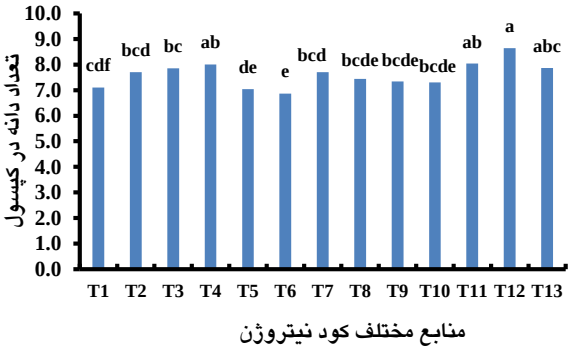
شکل ۱- اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر ارتفاع بوته کتان روغنی



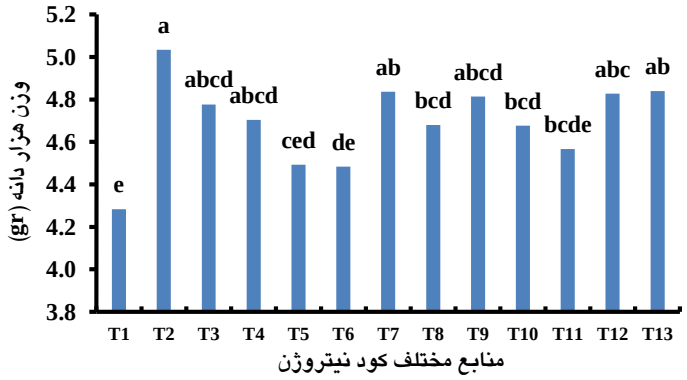
شکل ۲- اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر تعداد شاخه جانبی کتان روغنی



شکل ۳- اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر تعداد کپسول در بوته کتان روغنی



شکل ۴- اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر تعداد دانه در کپسول کتان روغنی



شکل ۵- اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر وزن هزار دانه کتان روغنی

T۱-شاهد (بدون مصرف کود)، T۲-کاربرد ۹۰ کیلوگرم در هکتار اوره، T۳-کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، T۴-کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، T۵-کاربرد کود بارور۱ (حاوی ازتوباکتر (۱۰۰ گرم در هکتار) T۶- کاربرد کود زیستی نانو ذرات عناصر روی، مس، آهن و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن (۱ کیلوگرم در هکتار)، T۷- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره به همراه ۵ تن درهکتار ورمی‌کمپوست ، T۸-کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره به همراه کود زیستی بارور۱، T۹-کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره به همراه کود زیستی نانو ذرات، T۱۰-کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه کود زیستی نانو ذرات، T۱۱-کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه کود زیستی بارور۱، T۱۲-کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره، ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه کود زیستی بارور۱، T۱۳-کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره، ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه کود زیستی نانو ذرات.

عملکرد زیستی

با توجه به معنی‌داری اثر تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد زیستی (جدول ۳)، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد زیستی (۴۰۱۰/۵۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمارT۲ (۹۰ کیلوگرم در هکتار اوره) و کمترین عملکرد آن (۲۶۰۰/۲۲ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار شاهد (بدون مصرف کود) می‌باشد (شکل ۶). افزایش عملکرد زیستی با مصرف کود نیتروژن در نتایج پژوهش حیدری و همکاران (۲۰۲۱) در کتان روغنی مشاهده شد. آن‌ها گزارش دادند که افزایش کود نیتروژن، احتمالا موجب توسعه پوشش گیاهی، افزایش فعالیت فتوسنتزی، ارتفاع بیشتر، برخورداری بهتر از تابش خورشیدی و افزایش تجمع ماده خشک می‌شود که عوامل مؤثری در افزایش عملکرد زیستی می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، تیمارهای T۳ (۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست)، T۴ (۵ تن در هکتار ورمی-کمپوست)، T۷ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست) و بالاخص تیمار T۱۳ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود نانو) از نظر عملکرد زیستی، عملکردی تقریباً مشابه با تیمار T۲ داشتند، به صورتی که با تیمار T۲ دارای حرف مشترک می‌باشند. با توجه به اینکه عملکرد زیستی از مجموع وزن تمام اندام‌هایی هوایی به دست می‌آید، پس هر عاملی که باعث وزن اندام‌هایی هوایی گیاه شود منجر به افزایش عملکرد زیستی خواهد شد. از این رو ورمی‌کمپوست با افزایش میزان ماده آلی خاک و فراهم‌سازی عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی، آهن، مس و منگنز) (مندوز هرناندز و همکاران ۲۰۱۴) و کودهای زیستی (کود زیستی بارور۱) با فراهم-سازی عنصر نیتروژن و بهبود رشد گیاه (جهان و محلاتی ۲۰۱۳) باعث افزایش عملکرد زیستی می‌شود، که با نتایج آواد و همکاران (۲۰۲۰) در کلزا مطابقت دارد.

عملکرد دانه

تیمارهای مختلف کودی تأثیر معنی‌داری را بر عملکرد دانه به همراه داشت (جدول ۳) به طوریکه مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۱۱۲۰/۱۰۳ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۹۳۰/۷۲۳ کیلوگرم در هکتار) میزان عملکرد دانه به ترتیب مربوط به تیمار T۲ (کاربرد ۹۰ کیلوگرم در هکتار اوره) و تیمار شاهد (بدون مصرف کود) بود (شکل ۷). عملکرد دانه با افزایش مصرف کود نیتروژن، به دلیل رشد سبزینه‌ای گیاه و افزایش تولید ماده ذخیره‌ای، تعداد شاخه‌های فرعی، افزایش میزان باروری گل‌ها و تعداد کپسول در افزایش می‌یابد (هوکینگ و پینرتون ۱۹۹۱). نتیجه به دست آمده با نتایج پژوهش رحیمی و نورمحمدی (۲۰۱۰)، پرهیزکارخاجانی و همکاران (۲۰۱۲) و حیدری و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. تأثیر تیمار T۳ (۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست) و تیمار T۱۱ (۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و کود زیستی بارور۱)، تیمارT۱۲ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود زیستی بارور۱) و T۱۳ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست + کود نانو) بر عملکرد دانه تقریباً با تیمار T۲ برابری می‌کند. کربلایی-ولی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند که استفاده از ورمی‌کمپوست بیشترین عملکرد دانه را در کتان روغنی حاصل کرد. شارما و همکاران (۲۰۱۶) از افزایش عملکرد و اجزا عملکرد کتان در پی مصرف تلفیقی ورمی‌کمپوست و تریکودرما گزارش دادند. اسماعیلی‌بهبهانی و همکاران (۲۰۲۰) بیشترین عملکرد دانه در کتان روغنی (۲۷۰۶/۶۷ کیلوگرم در هکتار) را به تیمار تلفیقی (اوره + ورمی-کمپوست + هیومیک اسید) نسبت دادند. رضایی‌چیانه و همکاران (۲۰۱۷) و شارما و همکاران (۲۰۱۶) افزایش عملکرد گیاهان زراعی در پی مصرف ورمی‌کمپوست را به بهبود جذب آب، عناصر غذایی و افزایش ماده آلی خاک نسبت دادند. ترشح هورمون‌های محرک رشد گیاه و افزایش جذب عناصر غذایی توسط باکتری‌های موجود در کود زیستی، در تحریک رشد گیاه، افزایش ماده خشک، افزایش عملکرد و اجزای عملکرد کتان مؤثر بوده است (رحیمی و همکاران ۲۰۲۰). کودهای نانو نیز با ماندگاری طولانی مدت، یون آمونیوم را در منطقه ریزوسفر ریشه به ویژه در شرایط خاک‌های آهکی با حاکم شدن شرایط اسیدی، در اختیار گیاه قرار داده و

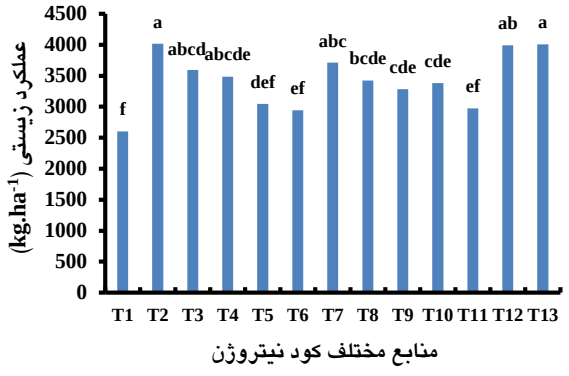
باعث افزایش عملکرد گیاه زراعی می‌شوند (رستم‌زاده و همکاران ۲۰۱۳). پژوهشگران دلیل افزایش عملکرد در سیستم‌های تلفیقی را ناشی از مطابقت بیشتر نیتروژن قابل دسترس خاک با نیازهای گیاه می‌دانند (مولکی و همکاران ۲۰۰۴)، به‌طوری که در اوایل رشد که نیاز غذایی کم است، میزان نیتروژن معدنی آن‌ها کمتر از کود شیمیایی است، ولی در مراحل رشد زایشی به علت تداوم فرآیند معدنی شدن، جذب تا مدت زمان طولانی‌تری ادامه پیدا می‌کند.

درصد روغن دانه

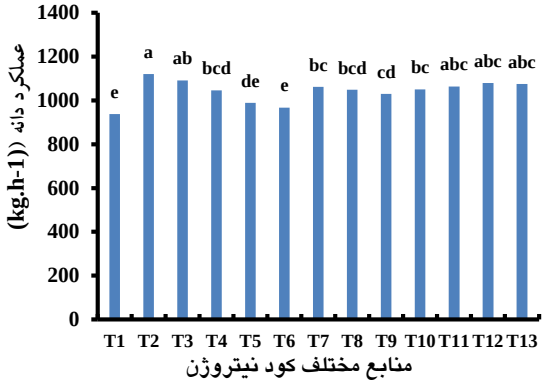
بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش، درصد روغن دانه تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی قرار نگرفت (جدول۳). که این نتیجه با نتایج پژوهش پرهیزکارخاجانی و همکاران (۲۰۱۲) و شاکری و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. آن‌ها گزارش دادند که افزودن کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن دانه 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 (اسدی و همکاران ۲۰۱۹). الاسباغ و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که با افزایش مصرف نیتروژن، پیش‌سازهای پروتئینی نیتروژن‌دار بیشتر شده که منجر به تشکیل پروتئین در تهیه مواد فتوسنتزی می‌شود و در نتیجه مواد لازم برای تبدیل به روغن کاهش می‌یابد. این در حالی است که اسدی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش دادند که بیشترین درصد و عملکرد روغن بزرک در کشت مخلوط با نخود از مصرف ورمی‌کمپوست حاصل شد.

عملکرد روغن

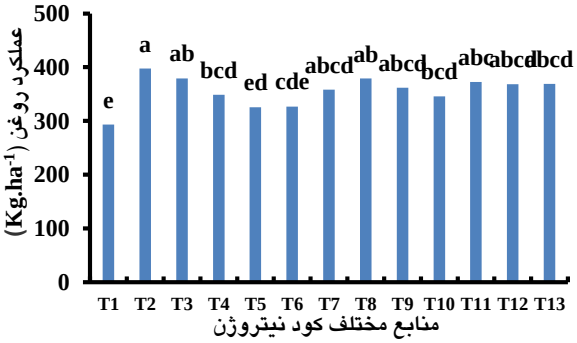
با معنی‌دار شدن تأثیر تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد روغن (جدول ۳)، نتایج مقایسه میانگین‌های داده-ها نشان داد که بیشترین عملکرد روغن (۳۹۷/۳ کیلوگرم در هکتار) از تیمار T۲ (۹۰ کیلوگرم در هکتار اوره) و کمترین عملکرد روغن (۲۹۳/۲ کیلوگرم در هکتار) از تیمار شاهد به دست آمده است (شکل ۸). با توجه به این که عملکرد روغن در هکتار از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن دانه به دست می‌آید، متناسب با افزایش عملکرد دانه و تقریباً ثابت بودن درصد روغن آن، مقدار روغن از نظر کمی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین می‌توان بیان کرد که مصرف منابع مختلف کودی نیتروژن اگر چه تأثیری بر درصد روغن نداشته‌اند ولی چنان‌چه هدف دستیابی به مقدار کل روغن در واحد سطح باشد، کاربرد این کودها در مقادیر مطلوب ضروری می‌باشد. این نتایج با نتایج حاصل از پژوهش پرهیزکارخاجانی و همکاران (۲۰۱۲) و سجادی‌نیک و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. هم‌چنین تیمارهای T۳ (۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست)، T۸ (۲۴ کیلوگرم در هکتار اوره + کود زیستی بارور۱)، T۹ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + کود نانو)، T۱۱ (۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود زیستی بارور۱)، تیمار T۱۲ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی-کمپوست + کود زیستی بارور۱) و T۱۳ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود نانو) از لحاظ عملکرد روغن تفاوت معنی‌داری با تیمار T۲ نداشتند. در همه این تیمارها از طریق کاربرد ورمی-کمپوست یا کود بیولوژیک بارور۱ (ازتوباکتر) و کود نانو میزان مصرف کود شیمیایی نیتروژن کاهش یافته است. لذا با توجه به این نتایج می‌توان اظهار داشت که کاربرد ورمی‌کمپوست، کود زیستی و کود نانو قابلیت کاهش مصرف کودهای شیمیایی و حفظ بهره‌وری گیاه کتان روغنی را دارا می‌باشند.



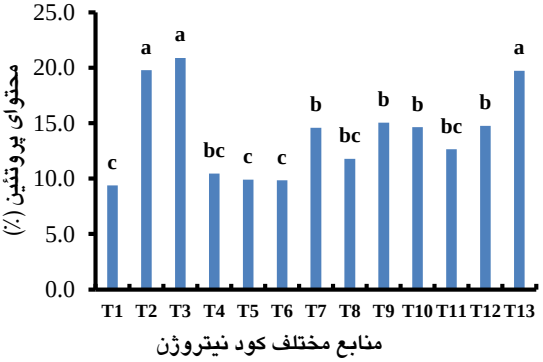
شکل ۶- اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر عملکرد زیستی کتان روغنی



شکل ۷- اثر منابع مختلف کود نیتروژن برعملکرد دانه کتان روغنی



شکل ۸- اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر عملکرد روغن کتان روغنی



شکل ۹- اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر درصد پروتئین دانه کتان روغنی

شکل ۵- اثر منابع مختلف کود نیتروژن بر وزن هزار دانه کتان روغنی

T۱-شاهد (بدون مصرف کود)، T۲-کاربرد ۹۰ کیلوگرم در هکتار اوره، T۳-کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، T۴-کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، T۵-کاربرد کود بارور۱ (حاوی ازتوباکتر (۱۰۰ گرم در هکتار) T۶- کاربرد کود زیستی نانو ذرات عناصر روی، مس، آهن و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن (۱ کیلوگرم در هکتار)، T۷- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره به همراه ۵ تن درهکتار ورمی‌کمپوست ، T۸- کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره به همراه کود زیستی بارور۱، T۹-کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره به همراه کود زیستی نانو ذرات، T۱۰- کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه کود زیستی نانو ذرات، T۱۱-کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه کود زیستی بارور۱، T۱۲-کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره، ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه کود زیستی بارور۱، T۱۳-کاربرد ۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره، ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به همراه کود زیستی نانو ذرات.

درصد پروتئین دانه

بین تیمارهای مختلف کودی از نظر درصد پروتئین دانه کتان روغنی اختلاف معنی‌داری حاصل شد (جدول ۳) به طوریکه بیشترین درصد پروتئین دانه (۲۰/۸ درصد) مربوط به تیمار T۲ (۹۰ کیلوگرم در هکتار اوره) و کمترین آن (۹/۳ درصد) مربوط به تیمار شاهد (بدون مصرف کود) بود (شکل ۹). حیدری و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که با مصرف نیتروژن، میزان جذب و محتوای آن در اندام‌هایی هوایی گیاه افزایش می‌یابد که باعث افزایش انتقال مجدد بیشتر نیتروژن در مرحله رسیدگی (در مقایسه با کربوهیدارت‌ها) به سمت دانه و در نهایت افزایش محتوای پروتئین دانه می‌شود. در تیمارهای T۳ و T۱۳ نیز درصد پروتئین دانه بسیار نزدیک به تیمارT۲ می‌باشد. در تیمار T۱۳ کاربرد کود اوره به همراهی ورمی‌کمپوست و کود نانو توانسته تا حدی نیاز نیتروژن گیاه را رفع کند. افزایش فعالیت

بیولوژیک در محیط رشد حاوی ورمی‌کمپوست و پیامد آن یعنی بهبود جذب عناصری چون نیتروژن، می‌تواند موجب بهبود غلظت نیتروژن در دانه گیاه و در پی آن افزایش درصد پروتئین دانه شود. روستایی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که ورمی‌کمپوست با فراهم‌سازی نیتروژن شرایط را برای جذب بیشتر آن توسط گیاه فراهم می‌کند، و با توجه به اینکه نیتروژن عنصر اولیه و ضروری برای ساخت پروتئین است، منجر به افزایش محتوای پروتین دانه می‌شود.

نتیجه‌گیری

برای دستیابی به عملکرد قابل قبول اقتصادی در ارقام زراعی، باید عناصر غذایی به مقدار بهینه مصرف شوند. در این میان سهم کودهای نیتروژن از سایر کودها بیشتر است. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمارهای کودی مختلف، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد کمی و کیفی کتان روغنی دارد. کاربرد تلفیقی کود شیمیایی نیتروژن با تیمارهای مختلف کودهای زیستی و نانو منجر به افزایش عملکرد دانه و عملکرد روغن که از مهم‌ترین صفات این گیاه می‌باشد، شد. گرچه بالاترین عملکرد دانه از تیمار T۲ (۹۰ کیلوگرم در هکتار اوره) حاصل شد اما بنا بر اهمیت مسائل زیست محیطی با به کارگیری تناوب و جایگزین کردن بخشی از کودهای شیمیایی با کودهای زیستی می‌توان به عملکرد بهینه دست یافت. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار T۱۳ (۴۵ کیلوگرم در هکتار اوره + ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست + کود نانو) افزایش معنی داری در بسیاری از صفات مطلوب مورد اندازه‌گیری در کتان روغنی داشت. لذا از طریق تلفیق کاربرد کودهای شیمیایی با کودهای آلی و نانو یا زیستی می توان مصرف کودهای شیمیایی را بدون کاهش قابل توجه در عملکرد دانه کاهش داد.

سپاسگزاری

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

منابع مورد استفاده

Agrawal S and Rathore P. 2014. Nanotechnology. Pros and cons to agriculture: A review. International Journal of Applied Science, 3:43–55.

Ahmad Z, Anjum S, Waraich EA, Ayub MA. Ahmad T. Tariq RMS and Iqbal MA. 2018. Growth, physiology, and biochemical activities of plant responses with foliar potassium application under drought stress–a review. Journal of Plant Nutrition, 41 (1):1-10.

Asadi S, Rezaei-chiyaneh E and Amirnia R. 2019. Effect of planting pattern and fertilizer source on agronomic characteristics of linseed (*Linum usitatissimum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) in intercroppng under rainfed conditions. Iranian Journal of Crop Sciences, 21(1): 16-30.(In Persian).

Awaad MSM, El-Shazly A,Taha MB and Abdalla IM. 2020. Effect of different nitrogen sources combination with bio-fertilizers on yield and chemical composition of canola and sesame crop. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 11(12): 809 – 816.

Benzon HRL, Rubenecia MRU and Lee SC. 2015. Nano-fertilizer affects the growth, development and chemical properties of wheat. International Journal of Agronomy and Agricultural Research, 7: 105-117.

Bhanwariya B, Ram M, Kumawat N and Kumar R. 2013. Influence of Fertilizer Levels and Biofertilizers on Growth and Yield of Linseed (*Linum usitatissimum* L.) Under Rainfed Condition of South Gujarat. Madras Agricultural Journal, 100 (4-6): 403-406.

Darzi, Hadjseyed Hadi M and Rejali F. 2011. Effects of vermicompost and phosphate biofertilizer application on yield and yield components in Anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 26(4): 452-465 .(In Persian).

El Sabagh A. Omar A, Barutçular C and Saneoka H. 2016. Role of integrated use of nitrogen fertilizer sources in improving seed quality of canola (*Brassica napus* L.). Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 4(2): 73-78.

Emami A. 1996. Methods of Plant Decomposition of Soil and Water Research Institute. Technical Journal, No: 982.

Esmaili Behbahani R, Fateh E and Aynehband A. 2020. Evaluation of growth characteristics of Flax. (*Linum usitstissimum* L.) with application of organic and nitrogen fertilizers. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 92(1): 137-150 .(In Persian).

Fathi Q, Bani Saeedi A, Siadat A and Ibrahimpour F. 2002. Effect of different levels of nitrogen and plant density on rapeseed yield of PF 7045 cultivar in Khuzestan climate. Journal of Agricultural Science, 25 (1): 57-43 .(In Persian).

Hao Z, Van Tuinen D, Wipf D, Fayoll L, Chataignie, O, Li X and Adrian M. 2017. Biocontrol of grapevine aerial and root pathogens by *Paenibacillus* sp. strain B2 and *paenimyxin* in vitro and in planta. Biological Control, 109: 42–50.

Heydari R, Movahhedi Dehnavi M, Yadavi A and Khoshroo, A. 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(2): 159-170.

Hocking P and Pinkerton A. 1991. Response of growth and yield components of linseed to the onset or relief of nitrogen stress at several stages of crop development. Field Crops Research, 27:83-102.

Jahan M and Nasiri Mahalati M. 2013. Soil Fertility and Biological Fertilizers and Agroecological Approach. Mashhad Jahad Daneshghahi Press, 250p.(In Persian).

Ji SH, Kim JS, Lee CH, Seo HS, Chun SC, Oh J and Park G. 2019. Enhancement of vitality and activity of a plant growth-promoting bacteria (PGPB) by atmospheric pressure non-thermal plasma. Scientific Reports. 9 (1): 1–16.

Johnson CM and Ulric A. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. California Agricultural Experiment Station, 766: 52-78.

Karbalaei Valiha, A, Daneshian J, Shirani Rad AH and Valad Abadi A. 2012. Effect of vermicompost, Azospirillium and Pseudomonas bacteria on agronomic traits of oil flax. Second National Congress of Organic and Conventional Agriculture. August 20, Mohaghegh Ardabili University.(In Persian).

Kartikeyan BC, Abdul Jaleel GM, Lakshmanan A and Deiveekasundaram M. 2008. Studies on rhizosphere microbial diversity of some commercially important medicinal plants. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 62(1):143-145.

Khaje Pour M. 2004. Industrial plants, publishing center of Isfahan University, page 564. (In Persian).

Khatoon Z, Huang S, Rafique M, Fakhar Aqeel Kamran M. Santoyo G. 2020. Unlocking the potential of plant growth-promoting rhizobacteria on soil health and the sustainability of agricultural systems. Journal of Environmental Management, 273: 111-118.

Khold Brin B and Islamzadeh T. 2002. Mineral nutrition of excellent plants (Volume 2). Shiraz university, 902 pages.(In Persian).

Lawania TK, Singh BP, Gupta D, Kumar S and Kumar A. 2015. Studies of biofertilizer, nitrogen and sulphur on the seed yield and quality parameters of linseed (*Linum usitatissimum* L.). The Journal of Rural and Agricultural Research, 15 (1): 46-48.

Leghari SJ, Wahocho NA, Laghari GM, Laghari AH, Bhabhan GM, Talpur KH, Bhutto TA, Wahocho SA and Lashari AA. 2016. Role of Nitrogen for Plant Growth and Development: A Review. Advances in Environmental Biology, 10 (9): 209-218.

Liu R and Lal R. 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. A review. Science of the total Environment, 514: 131- 139.

Louw HA and Webley DM. 1995. A study of soil bacteria dissolving certain phosphate fertilizers and related compounds. Journal of Applied Bacteriolology, 22: 227- 233.

Ludvikova M and Griga M. 2015. Transgenic flax/linseed (*Linum usitatissimum* L.) expectations and reality. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 51(4): 123-141.

Mendoza-Hernández D, Fornes F and Belda RM. 2014. Compost and vermicompost of horticultural waste as substrates for cutting rooting and growth of rosemary. Horticultural Science, 178: 192–202.

Mirzashahi K and Nourgholi pour F. 2020. The investigation of rate and method of nitrogen application on nitrogen use efficiency and seed yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Scientific Journal of Crop Physiology, 12(47): 45-61.

Mooleki SP, Schoenau JJ, Charles JL 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 Saskachwan. Canadian Journal of Soil Science, 84: 199 - 210.

Nasiri Y and Javanmard A. 2021. Yield Components and Qualitative and Quantitative Yield of Milk Thistle (*Silybum marianum* L.) Under Organic and Biological Inputs Application. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 31(1):1-22.

Nasrallahzadeh Asl A, Jalili F and Valizadegan E.2015. Effects of Nitrogen (Nitroxin) and Phosphorus (Fertile Phosphate 2) Biofertilizers on yield and percentage of sesame seed oil. Journal of Crop Research, 6(42): 97-112.

Parhizkar-Khajani F, Irannezhad H, Amiri R, Oraki H and Majidian M. 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(1): 37-51.

Prabha ML, Jayraaj IA, Jayroaj R and Rao DS. 2007. Effective of vermicompost on growth parameters of selected vegetable and medicinal plants. Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences, 9:321-326.

Rahimi MM and Noor Mohammadi Q. 2010 Effects of planting date and nitrogen different levels onlinseed (*Linum usitatissimum* L.). Bi-Quarterly Journal of Crop Science, 2(12):11-22.

Rahimi N, Jalalian J, Pirzad A. and Gholinezhad E. 2020. Evaluation of grain and oil yield changes of linseed (*Linum usitatissimum L.*) as affected by bio-fertilizers and supplementary irrigation. Scientific Journal of Plant Ecophysiology, 12(41): 41-52.

Rezaei Chianeh E, Rahimi A, Shaikh F and Mahiji M. 2017. Reaction of some agronomic characteristics of faba bean (*Vicia faba* L.) to biofertilizers under water stress. Journal of Crop Production, 10(4): 107-120.

Rostamzadeh A, Golchin A. and Mohammadi J. 2013. The effects of different sources and rates of nitrogen on nitrogen use efficiencyand cucumber yield. Water and Soil Science, 23(1): 15-26.

Roustaie Kh, Movahhedi Dehnavi M, Khadem S and Owliaie H.R. 2012. Effect of different super absorbent polymer and animal manure ratios on the quantitative and qualitative characteristics of soybean under drought stress. Journal of Crops Improvement, 14(1): 33-4. (In Persian).

Sajadi Nik R, Yadavi R, Balouchi HR and Farajee H. 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.

Satariarani O, Mirzakhani M, Hashemi A. 2018. Effect of seeding rate and nitrogen levels on agronomic characteristics and nitrogen use efficiency of barley cultivar (MB-82-12). Journal of Plant Ecophysiology, 8(28): 101-109.

Shakeri A, Amini Dehqi M, Tabatabai S and Modares Sanavi M. 2011. Investigation of the effect of chemical fertilizer and biofertilizer on grain yield, oil percentage and rye agronomic characteristics of sesame cultivars. 05th National Conference on New Ideas in Agriculture, February, by Islamic Azad University of Isfahan (Khorasgan).

Sharma RL, Abraham S, Mishra T, Bhagat R and Prakash, O. 2016. Effect of ecofriendly inputs on linseed varieties for yield performance and disease resistance against linseed wilt. The Bioscan, 11(2): 1311-1313.

Sytar O, Kumari P, Yadav S, Brestic M and Rastogi A. 2019. Phytohormone priming: regulator for heavy metal stress in plants. The Journal of Plant Growth Regulation, 38 (2): 739–752.

Vasanth Pandiyan C, Balaji K, Saravanan K, Shylaja G, Ragavendra G, Srinivasan PR, aghana K and Manivel, G. 2020. Effect of vermicompost application on soil and growth of the plant *Sesamum indicum L* Agricultural Sciences and Agronomy, 2(80): 1-18.

Valinezhad1 Z, Gholizadeh A, Naeemi M, Gholamalalipour Alamdari M and Zarei M. 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(3): 484-499. (In Persian).

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