نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴ شماره ۳ / پاییز ۱۴۰۳/ صفحات ۵۳-۳۵

Evaluation of Quantity and Quality of Camelina (*Camelina sativa* L.) Oil with Integrative Application of Bio and Chemical Fertilizers in different Irrigation Intervals

Mustafa Rashidi[1], Abdollah Javanmard[2], Fariborz Shekari[2], Mostafa Amani Machiani[3]

Received: 21 January 2023 Accepted: 31 August 2023
1- Ph.D. student of Agrotechnology, Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
2- Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
3- Ph.D. Graduate in Agrotechnology, Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
*Corresponding Author Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir

Abstract

Background & Objectives: In order to decreasing the chemical fertilizer application in low-input and sustainable agricultural systems, a field experiment was carried out to evaluate the effects of different irrigation intervals along with separately and integrative application of chemical and biofertilizer on the quantity and quality of camelina (*Camelina sativa* L.).

Material and Methods : The study was carried out as a split plot based on a randomized complete block design (RCBD) with 18 treatments and three replications at the Saqez city, Iran in 2022 growing season. The main factor was three irrigation intervals including without irrigation (rainfed conditions), irrigation after 10 and 20 days. Also, the sub-factor was different fertilizer sources including non-application (control), 100%chemical fertilizer, biofertilizer, biofertilizer+ 25% chmical fertilizer, biofertilizer+ 50% chemical fertilizer and biofertilizer+75% chemical fertilizer.

Results: The results demonstrated that the highest (457.81 kg ha^{-1}) and lowest (186.29 kg ha^{-1}) seed yield of camelina was obtained in 10 days' interval irrigation following integrative application of biofertilizer+ 75% chemical fertilizer and rianfed conditions without fertilization. The highest oil content (37.88%) and oil yield (173.65 kg ha^{-1}) was observed in 10 days' interval irrigation following integrative application of biofertilizer+ 75% chemical fertilizer. The chemical analysis showed that linolenic (30.59-34.58%), linoleic (16.92-19.29%), oleic (14.16-17.36%) and eicosenoic acid (8.93-11.76%) were the main fatty acids compounds of camelina oil. The maximum content of oleic, linoleic and linolenic acids obtained in in 10 days' interval irrigation following integrative application of biofertilizer+ 75% chemical fertilizer.

Conclusion: Generally, the results of this study demonstrated that the integrative application of biofertilizer+ 75% chemical fertilizer, in addition to decrease the consumption rate of chemical fertilizer, enhanced the quantity and quality of camelina oil, especially in drought stress conditions.

Keywords: Bio-Fertilizer, Drought Stress, Oil-Seed Crops, Oleic Acid, Sustainable Agriculture

CC BY NC

DOI: 10.22034/saps.2023.55044.2978

ارزیابی کمیت و کیفیت روغن کاملینا (*Camelina sativa* L.) با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی در دورهای مختلف آبیاری

مصطفی رشیدی[۱]، عبدالله جوانمرد[۲*]، فریبرز شکاری[۲]، مصطفی امانی ماچیانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۹

۱-دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۲-استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۳- دانش آموخته دکتری اگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

* مسئول مکاتبه : Email:a.javanmard@maragheh.ac.ir

چکیده

مقدمه و هدف: به منظور کاهش استفاده از نهاده‌های شیمیایی در سیستم‌های کشاورزی پایدار، پژوهشی با هدف بررسی اثرات کاربرد جداگانه و تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی و دورهای مختلف آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی کاملینا (*Camelina sativa* L.) اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار و سه تکرار در شهرستان سقز در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. فاکتور اصلی، دورهای مختلف آبیاری در سه سطح، عدم آبیاری (شرایط دیم)، آبیاری پس از ۱۰ و ۲۰ روز بود. همچنین، فاکتور فرعی منابع مختلف کودی در شش سطح عدم مصرف کود (شاهد)، کود زیستی، ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی می‌باشد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد بیشترین (۴۵۷/۸۱ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۱۸۶/۲۹ کیلوگرم در هکتار) میزان عملکرد دانه در واحد سطح به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی و عدم آبیاری بدون مصرف کود حاصل شد. بیشترین درصد (۳۷/۸۸ درصد) و عملکرد روغن (۱۷۳/۶۵ کیلوگرم در هکتار) در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی حاصل شد. آنالیز شیمیایی روغن کاملینا نشان داد که اسیدهای چرب غالب موجود در روغن این گیاه شامل لینولنیک اسید (۳۴/۵۸-۳۰/۵۹ درصد)، لینولئیک اسید (۱۹/۲۹-۱۶/۹۲درصد)، اولئیک اسید (۱۷/۳۶-۱۴/۱۶ درصد) و ایکوزنوئیک اسید (۱۱/۷۴-۸/۹۳ درصد) می‌باشد. بیشترین میزان اولئیک، لینولئیک و لینولنیک اسید در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی بدست آمد.

نتیجه‌گیری: به طور کلی، نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی منجر به افزایش کمیت و کیفیت روغن گیاه کاملینا بویژه در شرایط تنش خشکی گردید.

واژه‌های کلیدی: اولئیک اسید، تنش خشکی، کود زیستی، کشاورزی پایدار، گیاهان روغنی

مقدمه

از بین عوامل تنش‌زای زنده و غیرزنده، تنش خشکی به تنهایی منجر به کاهش ۴۵ درصد از عملکرد محصولات گیاهی می‌شود (بیگلری و همکاران ۲۰۱۹). کشور ایران نیز با متوسط بارندگی ۲۵۰ میلی لیتر در سال (کمتر از یک سوم متوسط بارندگی در جهان) در زمره مناطقی با اقلیم خشک طبقه می‌شود. تنش آبی با توجه به مدت زمان، دوام و اندازه کمبود آن، تأثیرات منفی بر مشخصات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه دارد که در نهایت منجر به کاهش عملکرد کمی و کیفی گیاهان تحت این شرایط خواهد شد. کمبود آب علاوه بر کاهش توسعه برگ می‌تواند از طریق ریزش و مرگ برگ‌ها در طول مراحل مختلف رشد بر شاخص سطح برگ مؤثر باشد. به طور کلی تنش آب از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در قابلیت هدایت روزنه‌ها، کاهش در آبگیری کلروپلاست و سایر بخش‌های پروتوپلاسم (که به نحوی کارآیی فتوسنتز را کاهش می‌دهد)، کاهش سنتز پروتئین وکلروفیل سبب تقلیل فرآیند فتوسنتز می‌گردد (گائو و همکاران ۲۰۲۰). یکی از راهکارهای اصولی و علمی جهت کاهش اثرات منفی حاصل از تنش خشکی، بهینه سازی مصرف آب در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک می باشد. دور مناسب آبیاری یکی از فاکتورهای مهم در مدیریت منابع آب است و با دور آبیاری مناسب، گیاه در مواقع بحرانی تحت تأثیر تنش آبی قرار نمی‌گیرد و بدین ترتیب اثرات منفی حاصل از تنش خشکی در گیاه به حداقل می‌رسد.

یکی دیگر از تاثیرات منفی تنش خشکی، کاهش کارآیی مصرف عناصر غذایی می‌باشد. استادی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که در مناطق خشک حدود ۷۰-۴۰ درصد نیتروژن، ۹۰-۸۰ درصد فسفر و ۹۰-۵۰ درصد پتاسیم از دسترس گیاه خارج شده و به تبع آن با افزایش مصرف کودهای شیمیایی میزان هزینه های تولید محصولات کشاورزی بیشتر شده است. همچنین، کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی علاوه بر تاثیرات منفی آن بر سلامت انسان و سایر موجودات زنده باعث بروز مشکلاتی از قبیل آلودگی‌های زیست محیطی، کاهش کیفیت محصولات تولیدی، هجوم علف‌های هرز رقابت کننده با گیاهان زراعی و شیوع آفات و بیماری‌ها می‌شود. بنابراین، لزوم کاهش مصرف کودهای شیمیایی بویژه در سیستم‌های کشاورزی پایدار امری ضروری تلقی می‌شود. کودهای زیستی شامل جمعیت متراکمی از یک یا چند نوع ارگانیسم مفید خاکزی و یا فرآورده متابولیکی آن‌ها است که صرفاً به منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در یک اکوسیستم زراعی به کار می‌روند (ژائوکسی یانگ و همکاران ۲۰۲۰). تأمین عناصر غذایی به صورتی کاملاً متناسب با تغذیه طبیعی گیاهان، کمک به تنوع زیستی، تشدید فعالیت‌های حیاتی، بهبود کیفیت و حفظ بهداشت محیط زیست و در مجموع حفظ و حمایت از سرمایه‌های ملی (خاک، آب، منابع انرژی غیرقابل تجدید) از مهمترین مزایای کودهای زیستی محسوب می‌شوند (قادری مکری و همکاران ۲۰۲۲).

در حال حاضر دانه‌های روغنی پس از غلات دومین ذخائر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. روغن‌های نباتی تولید شده به طورعمده از دانه های روغنی نظیر سویا[1]، آفتابگردان[2]، بادام زمینی[3] و کلزا[4] به دست می‌آیند. امروزه صنعت روغن کشی جزو صنایع راهبردی محسوب می‌شود. در ایران نیز اراضی قابل کشت وسیع و زمینه‌های مساعدی برای کشت دانه‌های روغنی وجود دارد. با وجود این گیاهان روغنی رایج مانند سویا، آفتابگردان و کلزا علی رغم مزیت های فراوان، خود دارای محدودیت های از جنبه های مختلف کشت و شرایط اقلیمی می باشند و احتیاجات بالایی نسبت به آب و نهاده‌ها دارند. بنابراین نیاز به محصولات روغنی جدید با سازگاری بیشتر و احتیاجات کمتر به شدت احساس می شود. شناخت و معرفی گیاهان نو و جدید می‌تواند با تغییرات الگوی کشت گامی مؤثر در جهت اقتصادی‌کردن کشاورزی، ایجاد اشتغال جدید و پایدار باشند. تغییرات شدید اقلیمی، شیوه‌های کشت، نیاز بازار، پیشرفت تکنولوژی و ... باعث شده که

[1]- Soybean (*Glycine max* L.)
[2]- Sunflower (*Helianthus annuus*)
[3]- Peanuts (*Arachis hypogaea*)
[4]- Rapeseed (*Brassica napus*)

پژوهشگران در حوزه کشاورزی به دنبال گیاهان جدید با قابلیت‌های تغذیه‌ای و اقتصادی مناسب باشند.

کاملینا (*Camelina sativa* L.) به عنوان یکی از گیاهان دانه روغنی کمتر شناخته شده از خانواده براسیکاسه است که منشاء آن نواحی مدیترانه و آسیای مرکزی می‌باشد (زانتی و همکاران ۲۰۲۱). این گیاه قادر به رشد شرایط مختلف آب و هوایی و خاک بوده و نسبت به سایر دانه‌های روغنی نیاز کمتری به آب، کود و آفتکش‌ها دارد و در زمان کوتاه‌تری نیز قابل برداشت است. این گیاه، منبع غنی از روغن (۲۸-۴۰ درصد) و اسیدهای چرب امگا ۳ می‌باشد (برتی و همکاران ۲۰۱۶). کنجاله کاملینا نیز پس از استخراج روغن حاوی ۱۰ الی ۱۱ درصد فیبر، ۱۰ الی ۱۴ درصد روغن و حدود ۴۰ درصد پروتئین می‌باشد که از آن می‌توان در تغذیه دام استفاده نمود. میزان پروتئین و چربی علوفه تازه کاملینا به ترتیب ۱۳ و ۲/۵ درصد برآورده گردیده و با توجه به مقاومت بالای این گیاه به شرایط رشدی سخت، می‌تواند به عنوان محصول علوفه‌ای مناسب نیز کشت شود (ارگونول و ازبک ۲۰۲۰). از مهم‌ترین مزیت‌های این گیاه می‌توان به انجام کشت آن در پاییز و برداشت در اواخر فروردین‌ماه، نیاز آبی کمتر، سازگاری بهتر با شرایط اقلیمی منطقه، مقاومت فوق‌العاده به خشکی و سرمای بهاره، حساسیت کمتر به شیوع آفات و حساسیت نداشتن گیاه به ریزش محصول در زمان برداشت اشاره کرد (ژانگ و همکاران ۲۰۲۲). ارزش ویژه کاملینا در محتوای روغن آن با دارا بودن ۵۰ الی ۶۰ درصد از اسیدهای چرب غیراشباع است. از طرفی محتوای آنتی اکسیدان طبیعی توکوفرول، در روغن کاملینا قابل توجه است (جانکوسکی و همکاران ۲۰۱۹).

از آنجایی که کمیت و کیفیت روغن استخراج شده از گیاهان روغنی بوسیله عوامل محیطی تغییر می‌یابد و تنش خشکی نیز عامل موثری در رشد و سنتز این ترکیبات محسوب می‌شود، آگاهی از عوامل مدیریتی مناسب در مناطق خشک و کم آب کشور جهت بدست آوردن پتانسیل عملکرد مطلوب توسط این گیاهان دارای اهمیت بالایی می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، پژوهشی با هدف ارزیابی کاربرد تلفیقی کودهای زیستی شیمیایی و زیستی بر کمیت و کیفیت روغن کاملینا در دورهای مختلف آبیاری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱ در شهرستان سقز استان کردستان اجرا گردید. قبل از اجرای آزمایش سه نمونه خاک بصورت تصادفی از قسمت‌های مختلف محل اجرای آزمایش برداشته و پس از مخلوط شدن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد (جدول ۱). همچنین، مشخصات اقلیمی منطقه مورد آزمایش (میانگین دما، رطوبت و بارش ماهیانه) در جدول ۲ بیان شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

ماده آلی (٪)	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته	پتاسیم قابل جذب ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل (٪)	بافت خاک
۰/۸۸	۰/۹۱	۷/۵۳	۴۷۲	۹/۱	۰/۰۸۹	لومی رسی

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۸ تیمار و سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اصلی، دورهای مختلف آبیاری در سه سطح عدم آبیاری، آبیاری پس از ۱۰ و ۲۰ روز (پس از سبز شدن و استقرار کامل گیاه در زمین) بود. همچنین، فاکتور فرعی منابع مختلف کودی در شش سطح عدم مصرف کود (شاهد)، کود زیستی، کود شیمیایی، کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی می‌باشد. کود شیمیایی مورد استفاده در آزمایش شامل نیتروژن معادل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه مرحله در هنگام کشت، ساقه‌روی و قبل از گلدهی، فسفر معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل و پتاسیم معادل ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم

قبل از کاشت به خاک اضافه گردید. کودهای زیستی مورد استفاده در این آزمایش شامل کود زیستی فسفاته بارور۲ (حاوی دو نوع باکتری حل کننده فسفات از گونه‌های باسیلوس لنتوس[5] و سودوموناس پوتیدا[6] با تعداد 10^9 باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک)، ازتو بارور۱ (حاوی باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن از جنس ازتوباکتر با تعداد 10^9 باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) و پتا بارور۲ (حاوی باکتری‌های حل کننده پتاسیم از جنس سودوموناس با تعداد 10^8 باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) بر اساس دستور العمل توصیه شده شرکت زیست فناور تلقیح و به صورت مخلوط با هم مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۲- مشخصه‌های اقلیمی محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد گیاه مورد مطالعه

ماه	میانگین دمای ماهیانه (درجه سلسیوس)	میانگین بارش ماهیانه (mm)	رطوبت نسبی (%)
اردیبهشت	۱۶	۴۸/۵	۴۵
خرداد	۱۸	۲/۱	۲۷
تیر	۲۷	۳/۹	۲۴
مرداد	۳۰	۰	۱۸

به منظور آماده‌سازی زمین جهت کاشت، در اوایل پاییز ۱۴۰۰ شخم نیمه عمیق بوسیله گاوآهن برگردان‌دار انجام شد و جهت نرم کردن خاک از دو نوبت دیسک عمود بر هم استفاده شد. هر کرت شامل شش خط کاشت به طول سه متر با فواصل ردیفی ۱۵ سانتیمتر و فاصله روی ردیف پنج سانتیمتر در نظر گرفته شد. کاشت بذور کاملینا (رقم سهیل تهیه شده از مرکز تحقیقات دیم سرارود کرمانشاه) در هفته اول اردیبهشت ماه با تراکم کشت ۴۰۰ بوته در متر مربع انجام گردید. مبارزه با علف‌های هرز به صورت منظم و بطور دستی انجام گرفت.

در مرحله رسیدگی پنج بوته به‌صورت تصادفی از ردیف‌های میانی کرت‌های آزمایشی انتخاب و کف بر شدند و صفات مورفولوژیک از قبیل ارتفاع بوته، تعداد خورجینک و تعداد دانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. جهت تعیین عملکرد دانه، برداشت از خطوط میانی با حذف اثرات حاشیه‌ای در تاریخ ۱۵ مرداد ماه صورت گرفت.

به منظور استخراج روغن موجود در بذور کاملینا، ۵۰ گرم از نمونه بذری هر تیمار را بصورت کامل به حالت پودر کرده درآورده و به آن ۲۵۰ میلی لیتر پترولیوم اتر به عنوان حلال اضافه شد. سپس نمونه‌ها را به شیکر منتقل و با سرعت ۱۶۰ دور در دقیقه به مدت هشت ساعت شیک شد. پس از آن نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی گراد سانتریفیوژ شده و لایه رویی آن را بوسیله کاغذ صافی فیلتر و جداسازی گردید. جهت استخراج کامل روغن مراحل ذکر شده دو الی سه بار تکرار شد. همچنین، عملکرد روغن نیز از حاصلضرب درصد روغن در عملکرد دانه هر تیمار بدست آمد.

جهت شناسایی ترکیبات اسیدهای چرب موجود در روغن کاملینا از دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Agilent 5977A ساخت کشور آمریکا متصل شده به طیف سنجی جرمی (GC-MS) و ستون HP-5MS (پنج درصد فنیل متیل پلی سیلوکسان، به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلیمتر و ضخامت ماده جاذب ۰/۲۵ میکرومتر) استفاده شد. همچنین، برای جداسازی ترکیبات از دستگاه نامبرده شده با آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (FID) و ستون VF-5MS (به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلیمتر و ضخامت ماده جاذب ۰/۵۰ میکرومتر) استفاده شد. در برنامه ریزی دمایی آون، ابتدا دما به مدت یک دقیقه در ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد نگه داری شد، سپس به تدریج دما با سرعت چهار درجه سانتی‌گراد بر دقیقه

[5]- *Bacillus lentus*

[6]- *Pseudomonas putida*

افزایش یافت تا به دمای ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد رسید و به مدت دو دقیقه در این دما نگه داری شد. هلیوم به عنوان گاز حامل با سرعت جریان یک میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد. دمای محفظه تزریق و خط انتقال به ترتیب روی ۲۳۰ و ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. محفظه تزریق در حالت تقسیم (نسبت تقسیم ۱:۳۰) تنظیم شده بود. از نرم افزار Chemstation و مخلوط FAME (Supelco 37 Component FAME Mix Bellefonte, PA, USA) به عنوان رفرنس جهت شناسایی ترکیبات استفاده شد. کمی کردن ترکیبات روغن با استفاده از انتگرال‌گیری و محاسبه مساحت سطح زیر پیک انجام گردید (امانی ماچیانی و همکاران ۲۰۲۱).

در نهایت بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ورژن ۹/۱ و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت. همچنین، مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته کاملینا به عنوان یکی از صفات مهم در برداشت مکانیزه این گیاه در نظر گرفته می‌شود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته کاملینا فقط تحت اثرات ساده دور آبیاری و کاربرد کود قرار گرفت و اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته این گیاه نداشت (جدول ۳). در بین دورهای مختلف آبیاری، بیشترین (۵۵/۶۱ سانتی‌متر) و کمترین (۴۸/۶۸ سانتی‌متر) میزان ارتفاع بوته کاملینا به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز و عدم آبیاری حاصل شد. میزان ارتفاع بوته کاملینا در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روزه به ترتیب ۱۴/۲ و ۱۰/۷ درصد نسبت به عدم آبیاری افزایش یافت (شکل ۱). به طور کلی مشاهده شده که میزان ارتفاع بوته با افزایش دورهای آبیاری کاهش یافت. تنش خشکی با کاهش توژسانس سلولی و ممانعت از رشد و نمو، تقسیم و طویل شدن سلول‌ها باعث کاهش رشد طولی قسمت-های هوایی گیاه خواهد شد. در تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای بر اثر افزایش مقاومت در برابر انتشار گاز کربن دی اکسید بدلیل مهار فعالیت روبیسکو، کاهش می‌یابد (ژانگ و همکاران ۲۰۲۲). با کاهش رشد سلول اندازه اندام‌های گیاهی محدود می‌شود و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس تنش خشکی روی گیاهان را می‌توان از اندازه کوچک‌تر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد. به طور مشابه، امانی ماچیانی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که ارتفاع بوته سویا[7] در شرایط تنش خشکی متوسط و شدید به ترتیب ۷/۶ و ۱۴/۱ درصد کاهش یافت. در بین منابع مختلف کودی، بیشترین (۵۷/۶۹ سانتی‌متر) میزان ارتفاع بوته با کاربرد کود شیمیایی بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی نداشت. همچنین، کمترین میزان این صفت (۴۹/۰۱ سانتی‌متر) به عدم مصرف کود متعلق بود. کاربرد جداگانه کود شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۱۷/۷، ۸/۵، ۱۳/۷ و ۱۴/۶ درصدی ارتفاع بوته نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۲). دلیل افزایش ارتفاع بوته با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی به بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه نسبت داده می‌شود که منجر به افزایش میزان فتوسنتز و سنتز بیومولکول‌های حیاتی جهت رشد و تمایز سلول‌های گیاهی خواهد گردید. زینوالدین و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی منجر به افزایش ارتفاع گیاه روغنی پالم[8] گردید.

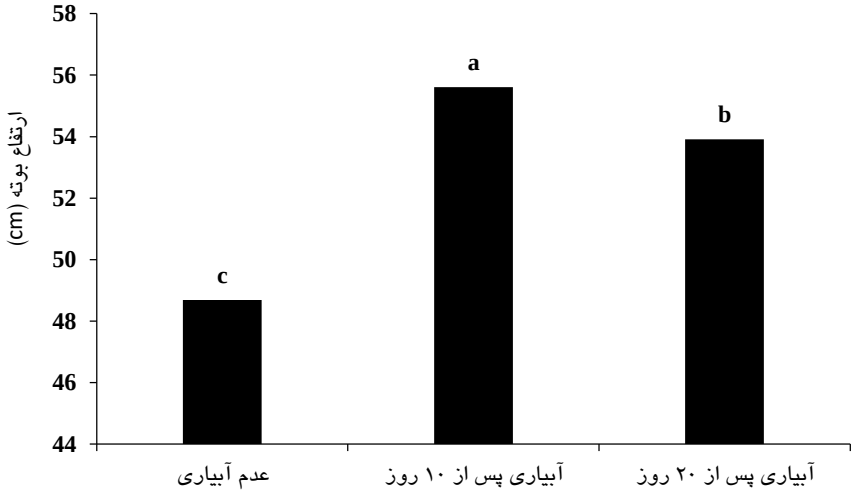
[7]- Soybean (*Glycine max* L.)

[8]- Oil palm (*Elaeis guineensis*)

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد کاملینا در دورهای مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد خورجینک	دانه در خورجینک	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت
بلوک	۲	۴۰/۸۰ ns	۸۰/۳۸ ns	۲/۲۸ ns	۱۳۸۸۴۱/۱۳ ns	۲۱۷۶۳/۵۵ ns	۵۹/۰۷ ns
دور آبیاری	۲	۱۶۰۳/۸۷**	۳۱۷/۸۰**	۶۴/۷۵**	۴۱۲۱۵۲۶/۷۷**	۳۳۴۶۰۹/۰۷**	۱۶۳/۶۶*
خطای اول	۴	۸۰/۰۱	۱۳۷/۹۵	۷/۸۲	۲۱۲۴۲۹/۲۱	۱۴۷۰۶/۱۱	۱۷/۰۳
کود	۵	۲۰۳/۷۰*	۱۵۲/۲۵*	۸/۷۹**	۴۱۴۳۳۲/۸۱*	۱۸۲۴۷/۲۲*	۱/۰۹۷*
دور آبیاری × کود	۱۰	۲۹/۱۶ns	۱۴/۵۹ns	۳/۴۷ns	۳۸۹۴۶۹/۶۸*	۱۶۱۹۹/۸۸*	۰/۸۹۱*
خطای کل	۳۰	۶۰/۵۵	۵۴/۷۷	۲/۳۶	۱۱۶۷۳۲/۵۸	۴۲۵۱/۲۵	۰/۳۷۹
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۴۸	۱۴/۰۷	۱۱/۶۲	۱۸/۷۶	۱۳/۶۵	۸/۶۳

**معنی داری در سطح احتمال یک درصد، * معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و ns عدم تفاوت معنی‌دار است

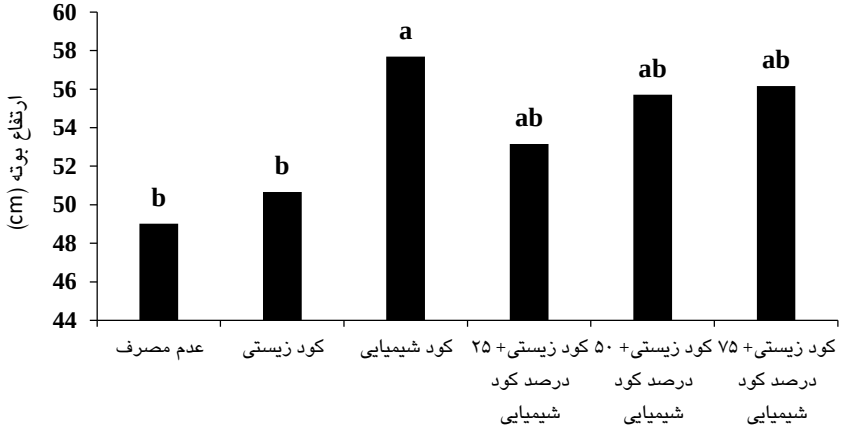


شکل ۱- ارتفاع بوته کاملینا در دورهای مختلف آبیاری

میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

تعداد خورجینک در بوته

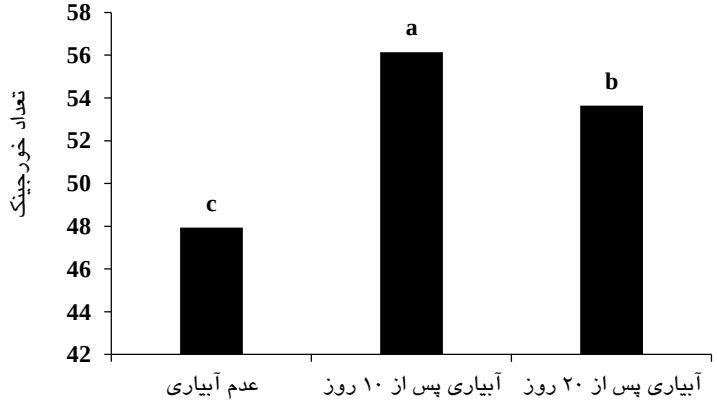
نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده دور آبیاری و کاربرد کود بر تعداد خورجینک در بوته کاملینا معنی‌دار بود (جدول ۳). در بین دورهای مختلف آبیاری، بیشترین (۵۶/۱۴ عدد) و کمترین (۴۷/۹۴ عدد) میزان تعداد خورجینک در بوته کاملینا به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز و عدم آبیاری حاصل شد. میزان صفت ذکر شده در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روزه به ترتیب ۱۷/۱ و ۱۱/۹ درصد نسبت به عدم آبیاری افزایش یافت (شکل ۳). تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در قابلیت هدایت روزنه‌ها، کاهش در آبگیری کلروپلاست و سایر بخش‌های پروتوپلاسم، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل سبب کاهش فرآیند فتوسنتز و به تبع آن کاهش صفات رشدی و عملکرد گیاه می‌گردد.



شکل ۲- ارتفاع بوته کاملینا با کاربرد منابع کودی مختلف

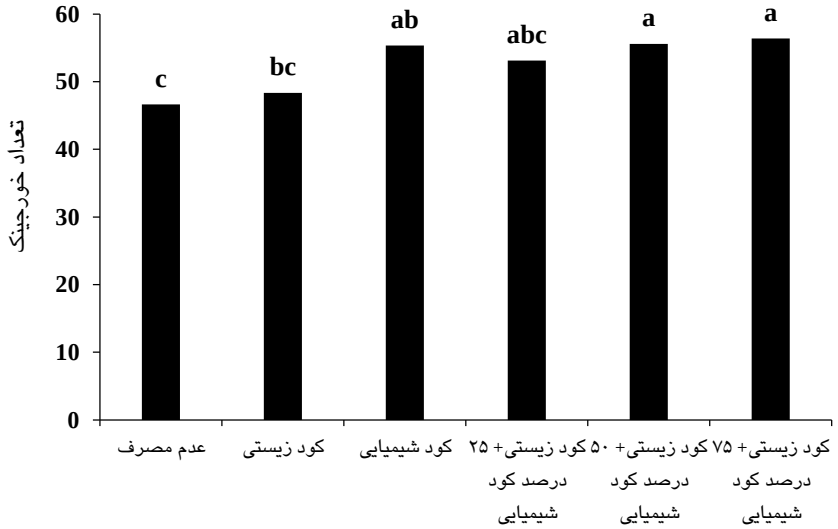
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

(اکونلولا و همکاران ۲۰۱۷). در بین منابع مختلف کودی، بیشترین (۵۶/۳۷ عدد) میزان تعداد خورجینک با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد جداگانه کود شیمیایی و کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی نداشت. همچنین، کمترین میزان صفت ذکر شده (۴۶/۶۶ عدد) به عدم مصرف کود متعلق بود. کاربرد جداگانه کودهای زیستی و شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۳/۶، ۱۸/۶، ۱۳/۸، ۱۹/۲ و ۲۰/۸ درصدی تعداد خورجینک در گیاه کاملینا نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۴). دلیل افزایش تعداد خورجینک کاملینا به افزایش دسترسی عناصر غذایی و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی نسبت داده می‌شود که منجر به افزایش فعالیت فتوسنتزی، تقسیم سلولی و رشد بیشتر اندام‌های زایشی می‌گردد.



شکل ۳- مقایسه میانگین تعداد خورجینک در بوته گیاه کاملینا در دورهای مختلف آبیاری

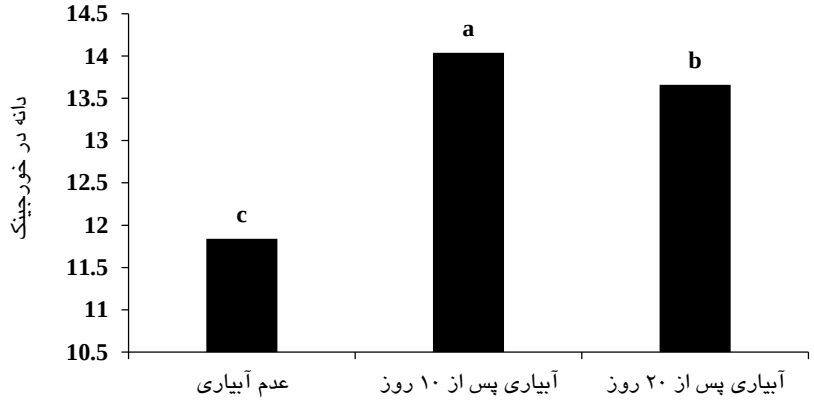
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.



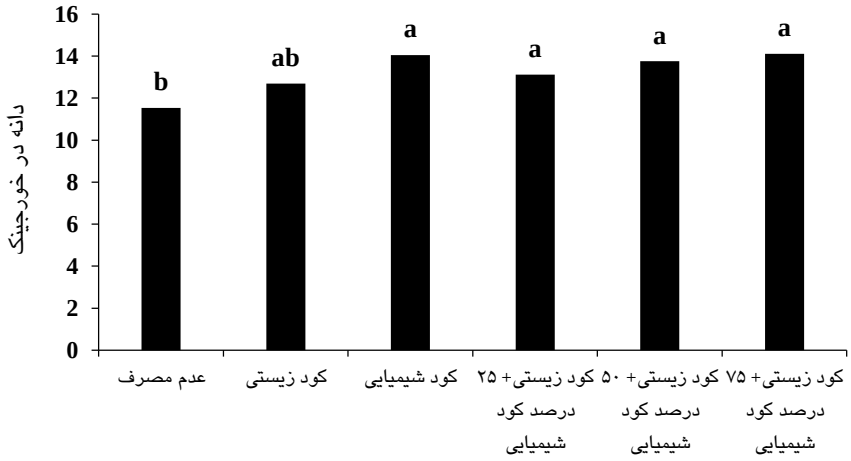
شکل ۴- تعداد خورجینک در بوته گیاه کاملینا با کاربرد منابع کودی مختلف
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

تعداد دانه در خورجینک

تعداد دانه در خورجینک گیاه کاملینا فقط تحت اثرات ساده دور آبیاری و کاربرد در سطح احتمال یک درصد کود قرار گرفت (جدول ۳). در بین دورهای مختلف آبیاری، بیشترین (۱۴/۰۴ عدد) و کمترین (۱۱/۸۴ عدد) میزان تعداد دانه در خورجینک به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز و عدم آبیاری حاصل شد. میزان صفت ذکر شده در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روزه به ترتیب ۱۸/۹ و ۱۵/۴ درصد نسبت به عدم آبیاری افزایش یافت (شکل ۵). تنش خشکی به طور مستقیم می‌تواند بر فرآیندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز اثر گذاشته و به طور غیر مستقیم ورود دی اکسیدکربن به داخل روزنه‌ها را که به علت شرایط کم آبی بسته شده‌اند را کاهش دهد. از این رو انتقال مواد فتوسنتزی نیز تحت تأثیر تنش آب قرار گرفته و موجب اشباع برگ‌ها از این مواد می‌گردد که ممکن است فتوسنتز را محدود نماید (گائو و همکاران ۲۰۲۰). بدیهی است که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه و نهایتاً عملکرد آن دچار نقصان می‌شود. علاوه بر این، در شرایط تنش شدید میزان تنفس، جذب گازکربنیک، انتقال مواد فتوسنتزی و انتقال مواد خام در آوندهای چوبی کاهش یافته و در نتیجه منجر به کاهش صفات رشدی و عملکرد در گیاهان خواهد شد. در بین منابع مختلف کودی، بیشترین (۱۴/۱۰ عدد) میزان تعداد دانه در خورجینک با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد جداگانه کود شیمیایی، زیستی و کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی نداشت. همچنین، کمترین میزان صفت ذکر شده (۱۱/۵۴ عدد) به عدم مصرف کود متعلق بود. کاربرد جداگانه کودهای زیستی و شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۹/۹، ۲۱/۷، ۱۳/۶، ۱۹/۳ و ۲۲/۱ درصدی تعداد دانه در خورجینک گیاه کاملینا نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۶). به نظر می‌رسد بهبود جذب عناصر غذایی از طریق محلول پاشی منجر به افزایش فعالیت فتوسنتزی، تولید آسمیلات، پروتئین و آدنوزین تری فسفات بیشتری شده و از این طریق منجر به بهبود صفات رشدی گیاه شده است.



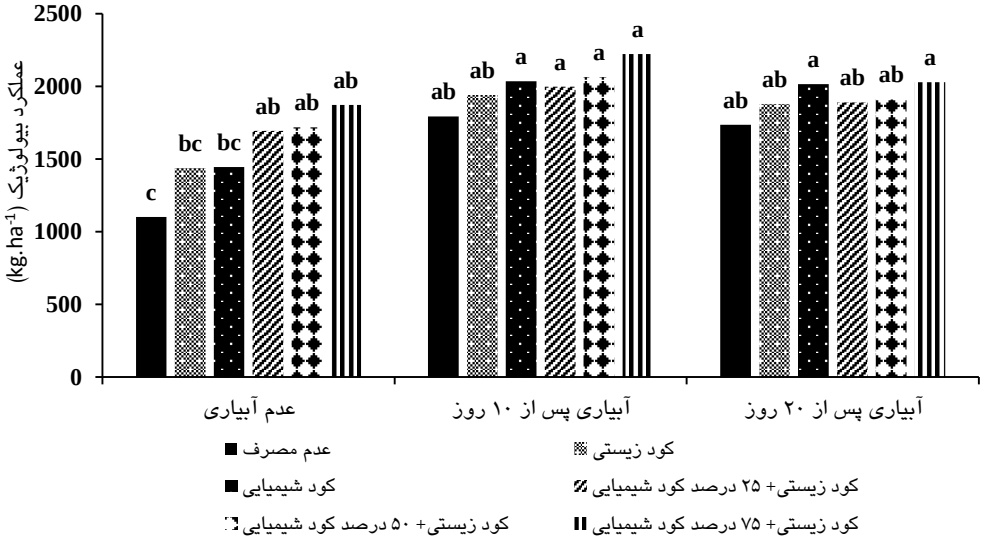
شکل ۵- مقایسه میانگین تعداد دانه در خورجینک گیاه کاملینا در دورهای مختلف آبیاری
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.



شکل ۶- مقایسه میانگین تعداد دانه در خورجینک گیاه کاملینا با کاربرد منابع کودی مختلف
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

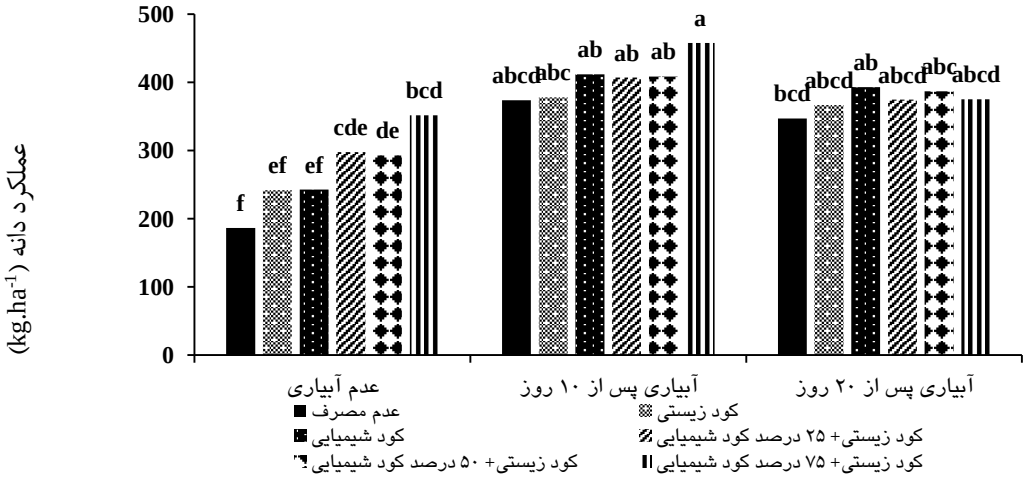
عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در واحد سطح

عملکرد بیولوژیک کاملینا تحت تاثیر اثرات دور آبیاری و کاربرد کود و اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین (۲۲۲۲/۲ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۱۱۰۰/۱ کیلوگرم در هکتار) میزان عملکرد بیولوژیک به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی و عدم آبیاری بدون مصرف کود حاصل شد. شایان ذکر است که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کاربرد تلیفیقی کود زیستی و شیمیایی در دورهای مختلف آبیاری مشاهده نشد. میزان عملکرد بیولوژیک در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز نسبت به عدم آبیاری به ترتیب ۳۰/۱ و ۲۳/۷ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، کاربرد جداگانه کودهای زیستی و شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۱۳/۶، ۱۸/۷، ۲۰/۶، ۲۲/۹ و ۳۲/۳ درصدی عملکرد بیولوژیک گیاه کاملینا نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۷).



شکل ۷- عملکرد بیولوژیک کاملینا در دورهای مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده دور آبیاری و کاربرد کود و همچنین اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده بر عملکرد دانه گیاه کاملینا معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین (۴۵۷/۸۱ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۱۸۶/۲۹ کیلوگرم در هکتار) میزان عملکرد دانه به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی و عدم آبیاری بدون مصرف کود حاصل شد. میزان عملکرد دانه در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز نسبت به عدم آبیاری به ترتیب ۵۱/۱ و ۳۹ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، کاربرد جداگانه کودهای زیستی و شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۸/۷، ۱۵/۴، ۱۸/۹، ۲۰ و ۳۰/۶ درصدی عملکرد دانه گیاه کاملینا نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۸).



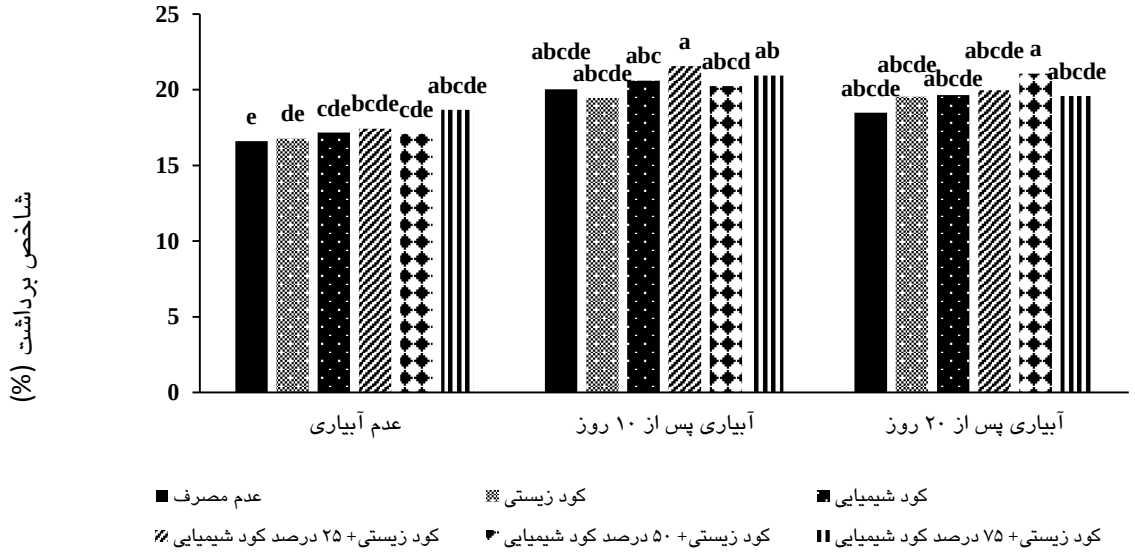
شکل ۸- عملکرد دانه کاملینا در دورهای مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

به طور کلی نتایج نشان داد افزایش تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک و دانه کاملینا گردید. کاهش عملکرد ماده خشک با افزایش تنش خشکی را می‌توان به کاهش صفات رشدی از قبیل ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ نسبت داد. افزایش ماده خشک تولیدی در گیاهان تحت شرایط آبیاری مطلوب می‌تواند به دلیل گسترش بیشتر سطح برگ و نیز دوام سطح برگ باشد که با ایجاد منبع فیزیولوژیکی کارآمد جهت استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی باعث افزایش تولید ماده خشک خواهد شد (استادی و همکاران ۲۰۲۲). ماناوالان و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که تنش خشکی با ایجاد تاثیرات منفی بر روی تقسیم و تمایز سلول‌های گیاهی منجر به کاهش رشد گیاه می‌شود. همچنین، این محققین بیان نمودند که میزان افزایش طول سلول‌ها در شرایط تنش خشکی با پایین آمدن فشار تورژسانس سلول کاهش می‌یابد. در نهایت، موارد ذکر شده منجر به کاهش جذب و در دسترس قرار گرفتن عناصر غذایی و به تبع آن کاهش رشد و عملکرد تولید شده توسط گیاهان خواهد شد. از طرفی کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه کاملینا گردید. به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی از طریق سازوکارهای مختلف، از جمله افزایش حلالیت عناصر غذایی بویژه فسفر، تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه، تولید سیدروفور و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن را در گیاه تنظیم می‌کنند، سبب بهبود رشد گیاه و عملکرد تولید شده می‌گردد. در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، زاهدی و پور نیازی (۲۰۱۸) گزارش کردند که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی منجر به افزایش عملکرد در گیاه ذرت گردید.

شاخص برداشت

شاخص برداشت کاملینا تحت تاثیر اثرات ساده دور آبیاری و کاربرد کود و همچنین اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین (۲۱/۵۷ درصد) و کمترین (۱۶/۶ درصد) شاخص برداشت به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی و عدم آبیاری بدون مصرف کود حاصل شد. میزان شاخص برداشت در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز نسبت به عدم آبیاری به ترتیب ۱۸/۵ و ۱۴/۱ درصد افزایش یافت. شاخص برداشت بیان کننده توزیع نسبی مواد فتوسنتزی بین مخزن‌های اقتصادی و سایر مخازن موجود در گیاه می‌باشد. لذا، دلیل افزایش شاخص برداشت در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز به به افزایش میزان فتوسنتز و تخصیص مواد فتوسنتزی به مقصد (دانه‌ها) نسبت داده می‌شود. پاندی و همکاران (۲۰۰۰) نیز دلیل کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش شدید خشکی را به حساسیت بیشتر دوره زایشی و کاهش شدید عملکرد دانه در شرایط نامطلوب محیطی (تنش خشکی) در مقایسه با سایر دوره‌های رشدی گیاه نسبت دادند. به طور مشابه، قلی نژاد و همکاران (۲۰۰۹) و ماتسورا و پینگ (۲۰۲۰) نتیجه گرفتند شاخص برداشت در گیاه آفتابگردان و ارزن با افزایش تنش خشکی کاهش یافت. علاوه بر این، کاربرد جداگانه شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۴/۳، ۷/۱، ۶ و ۷/۴ درصدی شاخص برداشت گیاه کاملینا نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۹). حصول عملکرد بهینه در گیاهان زراعی با تنظیم روابط مبدا- مقصد در راستای تولید و استفاده از فتوآسمیلات‌ها در درون گیاه بدست می‌آید. بررسی‌ها نشان داده است، عوامل محدود کننده در تولید ماده خشک و یا سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ، با ظرفیت مبدا یا مقصد در ارتباط می‌باشد. هنگامی که ظرفیت مبدا بیشتر از ظرفیت یک مقصد معین باشد، مقصد کنترل کننده سرعت تولید ماده خشک خواهد بود. ظرفیت بالقوه مقصدها در طول مرحله پر شدن دانه می‌تواند با توجه به مولفه‌های اجزای عملکرد (برای مثال در تعداد خورجینک و تعداد دانه در خورجینک) تعیین می‌گردد. از آنجایی که کاربرد کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش اجزای

عملکرد گیاه کاملینا و همچنین عملکرد دانه این گیاه شده است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد تلفیقی کودهای ذکر شده با تاثیرگذاری بر تخصیص زیست توده بین ساقه و ریشه و با افزایش جذب عناصر غذایی منجر به بیشتر شدن میزان فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به مقصد (دانه‌ها) شده و از این طریق شاخص برداشت افزایش یافته است (احمدیان و همکاران ۲۰۲۱).



شکل ۹- شاخص برداشت کاملینا در دورهای مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

درصد روغن

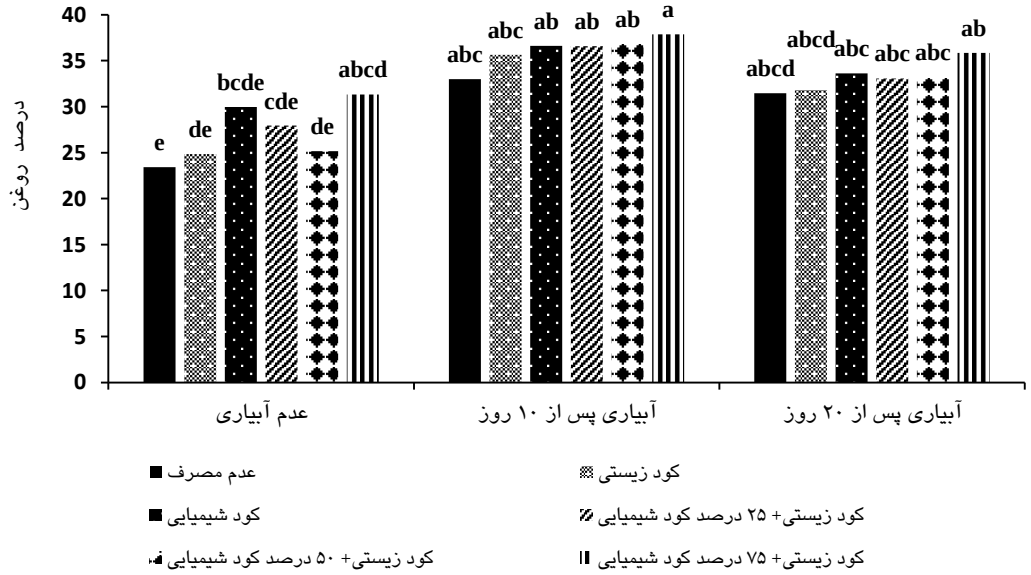
نتایج تجزیه واریانس نشان داد درصد روغن استخراج شده از گیاه کاملینا تحت تاثیر اثرات ساده دور آبیاری و کاربرد کود و همچنین اثر متقابل دو فاکتور ذکر شده قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین (۳۷/۸۸ درصد) و کمترین (۲۳/۴۱ درصد) درصد روغن به ترتیب در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی و عدم آبیاری بدون مصرف کود حاصل شد. میزان روغن استخراج شده در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز نسبت به عدم آبیاری به ترتیب ۳۳/۱ و ۲۲/۳ درصد افزایش یافت. کاهش درصد روغن کاملینا در شرایط تنش خشکی به اکسیداسیون برخی اسیدهای چرب غیر اشباع چند گانه و کاهش قابلیت تبدیل هیدرات‌های کربن به روغن در شرایط تنش نسبت داده می‌شود (ال صباغ و همکاران ۲۰۱۹). گو و همکاران (۲۰۲۰) بیان نمودند که آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز اسیدهای چرب از قبیل استیل کوآ کربوکسیلاز، ۳- کتوسیل ردوکتاز و ... در شرایط کم آبی تجزیه شده و این امر منجر به کاهش میزان اسیدهای چرب تولید شده و در نهایت کاهش میزان روغن تولید شده خواهد شد. ابراهیمیان و همکاران (۲۰۱۹) دلیل کاهش درصد روغن کلزا در شرایط تنش خشکی را به کاهش غلظت روغن دانه از یک سو به دلیل کاهش اندازه بذرها و از سوی دیگر به کاهش مقدار کربوهیدرات‌های قابل دسترس برای ارسال به اندام‌های ذخیره کننده و همچنین کاهش فعالیت تعدادی از آنزیم‌های سنتزکننده چربی نظیر لیپاز و استیل کوآ کربوکسیلاز نسبت دادند. به طور مشابه، اقدسی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که درصد و عملکرد روغن گیاه کاملینا در شرایط تنش خشکی کاهش

پیدا کرد. علاوه بر این، کاربرد جداگانه کودهای زیستی و شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۵، ۱۴، ۱۱/۱، ۸/۴ و ۱۹/۶ درصدی میزان روغن استخراج شده از گیاه کاملینا نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۱۰). به نظر می‌رسد در دسترس قرار عناصر غذایی ماکرو و میکرو با فعال کردن کوفاکتورهای مورد نیاز منجر به افزایش آنزیم‌های دخیل در فرآیند سنتز اسیدهای چرب شده و از این طریق باعث افزایش درصد روغن تولید شده در گیاه کاملینا شده است (محمدی و همکاران ۲۰۱۸). قادری مکری و همکاران (۲۰۲۲) بیان نمودند که کاربرد کودهای زیستی منجر به افزایش ۱۶/۵ درصدی روغن تولید شده توسط گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) گردید. زین الدین و همکاران (۲۰۲۲) نتیجه گرفتند که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی منجر به افزایش درصد و عملکرد روغن استخراج شده از گیاه پالم[9] (*Elaeis guineensis*) گردید.

جدول ۴- تجزیه واریانس درصد و عملکرد گیاه کاملینا در دورهای مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		درصد روغن	عملکرد روغن
بلوک	۲	۱۶/۳۹^{ns}	۰/۴۰^{ns}
دور آبیاری	۲	۱۵۸/۰۴*	۱۸۴۵۳/۵۱**
خطای اول	۴	۱۶/۴۵	۹۲۵/۸۹
کود	۵	۸۱/۵۵**	۳۰۷۰/۱۴*
دور آبیاری × کود	۱۰	۶۳/۸۸*	۲۵۰۸/۹۵*
خطای کل	۳۰	۲۱/۶۷	۷۹۳/۵۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۴/۴۹	۲۱/۶۹

**معنی داری در سطح احتمال یک درصد، * معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و ^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار

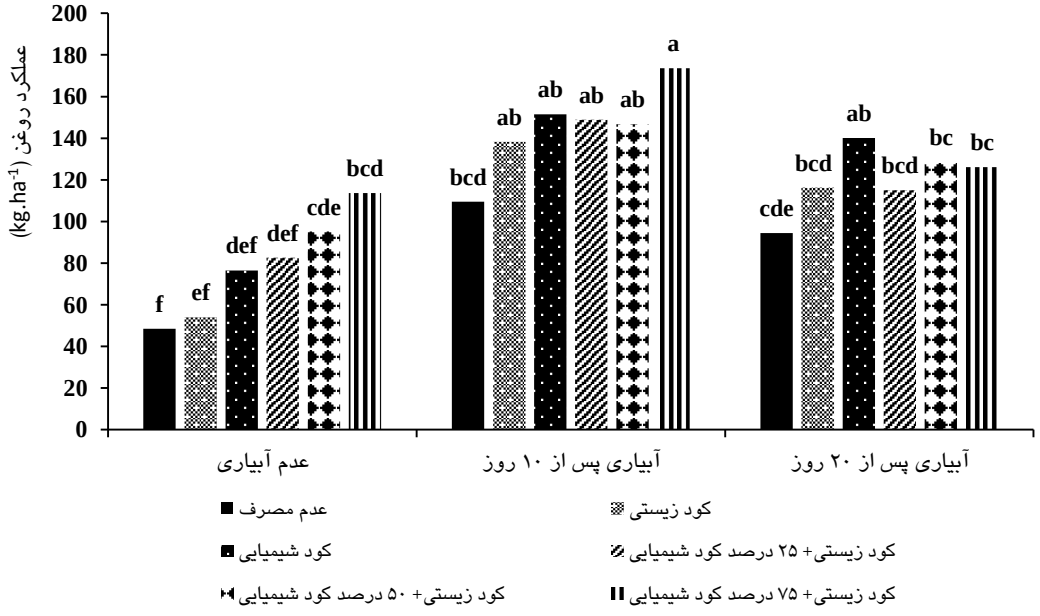


شکل ۱۰- درصد روغن کاملینا در دورهای مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

[9]- Palm (*Elaeis guineensis*)

عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده دور آبیاری و کاربرد کود و اثر متقابل دور آبیاری× کود بر عملکرد روغن گیاه کاملینا معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین میزان عملکرد روغن کاملینا (۱۷۳/۶۵ کیلوگرم در هکتار) در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کاربرد جداگانه کودهای زیستی شیمیایی و کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی در این دور آبیاری و کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی در دور آبیاری ۲۰ روز نداشت. همچنین، کمترین میزان عملکرد روغن این گیاه (۴۸/۵۶ کیلوگرم در هکتار) در شرایط عدم آبیاری بدون مصرف کود حاصل شد. میزان روغن استخراج شده در دورهای آبیاری ۱۰ و ۲۰ روز نسبت به عدم آبیاری به ترتیب ۸۴/۶ و ۵۳/۱ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، کاربرد جداگانه کودهای زیستی و شیمیایی و همچنین کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۲۵ درصد کود شیمیایی، کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش ۲۲/۱، ۴۵/۸، ۳۷/۲، ۴۶/۷ و ۶۳/۸ درصدی میزان عملکرد روغن گیاه کاملینا نسبت به عدم مصرف کود گردید (شکل ۱۱). از آنجایی که عملکرد روغن از حاصلضرب عملکرد دانه در میزان روغن تولید شده توسط گیاه بدست می‌آید و با دو شاخص ذکر شده رابطه مستقیمی دارد. لذا هر عاملی که تاثیر مثبتی بر شاخص‌های ذکر شده داشته باشد منجر به افزایش عملکرد روغن نیز خواهد شد. لذا، افزایش میزان عملکرد روغن در در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی به افزایش عملکرد دانه و درصد روغن تولید شده در تیمار ذکر شده نسبت داده می‌شود.



شکل ۱۱- عملکرد روغن کاملینا در دورهای مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی
میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

ترکیبات روغن (اسیدهای چرب) کاملینا

کیفیت روغن تولید شده توسط گیاهان روغنی به میزان اسیدهای چرب تولید شده و همچنین نسبت اسیدهای چرب غیر اشباع به اشباع بستگی دارد. افزایش نسبت اسیدهای چرب غیر اشباع به اشباع موجب افزایش پایداری و کیفیت روغن تولید شده خواهد شد. آنالیز

شیمیایی روغن کاملینا نشان داد که اسیدهای چرب غالب موجود در روغن این گیاه شامل لینولنیک اسید (۳۴/۵۸-۳۰/۵۹ درصد)، لینولئیک اسید (۱۹/۲۹-۱۶/۹۲درصد)، اولئیک اسید (۱۷/۳۶-۱۴/۱۶درصد) و ایکوزنوئیک اسید (۱۱/۷۴-۸/۹۳) می‌باشد. بیشترین میزان اولئیک، لینولئیک و لینولنیک اسید در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی بدست آمد. همچنین، بیشترین میزان ایکوزنوئیک اسید در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی حاصل شد. شایان ذکر است که کمترین میزان اسیدهای چرب ذکر شده در شرایط عدم آبیاری بدون مصرف کود بدست آمد. با مقایسه بین دورهای مختلف آبیاری می توان نتیجه گرفت که میزان اولئیک، لینولئیک، لینولنیک اسید و ایکوزنوئیک اسید در شرایط عدم آبیاری (دیم) به ترتیب ۱۲/۶، ۷/۵، ۷/۸ و ۱۸/۲ درصد نسبت به دور آبیاری ۱۰ روزه و ۳/۵، ۴/۲، ۳/۴ و ۵/۶ درصد نسبت به دور آبیاری ۲۰ روزه کاهش یافت (جدول ۵). دلیل آن را می‌توان به تاثیرات منفی حاصل از تنش خشکی به مسیرهای بیوسنتزی اسیدهای چرب و تبدیل اسیدهای چرب به ترکیبات سازنده آن‌ها (لیپیدها) ذکر شده نسبت داد (بلالویی و همکاران ۲۰۱۳). گائو و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که تنش خشکی منجر به کاهش میزان پالمتیک، لینولئیک و لینولیک اسید گردید. علاوه بر این، در بین منابع کودی مختلف کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی بیشترین تاثیر مثبت را بر روی غلظت اولئیک، لینولئیک، لینولنیک اسید و ایکوزنوئیک اسید داشت که به ترتیب منجر به افزایش ۸/۴، ۵/۲، ۵/۴ و ۷/۸ درصدی اسیدهای چرب ذکر شده نسبت به شرایط عدم مصرف کود گردید. کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی (بویژه فسفر) با بهبود شرایط رشدی گیاه، منجر به افزایش فتوسنتز و تولید منابع کربوهیدراتی شده و زمینه لازم جهت تولید ترکیبات پیش ساز اسیدهای چرب (لیپیدها) و همچنین افزایش انرژی لازم (از طریق تولید بیشتر ATP و NADPH) جهت تبدیل لیپیدها به اسیدهای چرب شده است. مرادزاده و همکاران (۲۰۲۱) نتیجه گرفتند که کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش میزان اسیدهای چرب غیر اشباع اولئیک و لینولئیک اسید در روغن سیاهدانه[10] گردید.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن استخراج شده از گیاه کاملینا در دور آبیاری ۱۰ روز با کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی حاصل شد. همچنین، کاربرد تلفیقی کود زیستی+ ۷۵ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش درصد اسیدهای چرب غیر اشباع از قبیل اولئیک، لینولئیک و لینولنیک اسید و به طبع آن بهبود کیفیت روغن گیاه کاملینا گردید. بنابراین، میتوان نتیجه گرفت که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی علاوه بر کاهش میزان استفاده از نهاده‌های شیمیایی منجر به بهبود کمیت و کیفیت روغن گیاه کاملینا گردید.

سپاسگزاری

از مدیریت پژوهش و فناوری و مدیر آزمایشگاه مرکزی دانشگاه مراغه بابت انجام آزمایش‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.

[10]- *Nigella sativa* L.

جدول ۵- درصد اسیدهای چرب موجود در روغن کاملینا تحت تاثیر دورهای آبیاری و منابع کودی مختلف

ترکیبات	دور آبیاری ۲۰ روز						دور آبیاری ۱۰ روز						عدم آبیاری					
	T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1	T_6	T_5	T_4	T_3	T_2	T_1
میریستیک اسید		۰/۰۶	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۴	۰	۰	۰/۰۵	۰/۰۴	۰	۰/۰۲	۰
پالمتیک اسید	۵/۲۲	۵/۰۲	۴/۷۷	۴/۲۷	۴/۵۹	۴/۰۶	۵/۴۶	۵/۷۱	۵/۱۲	۴/۷۸	۴/۹۱	۴/۳۴	۴/۴۱	۴/۶۳	۴/۲۳	۴/۰۱	۳/۷۸	۳/۶۳
استئاریک اسید	۲/۲۹	۲/۳۱	۲/۱۶	۲/۱۴	۲/۳۰	۲/۰۲	۲/۷۱	۲/۶۶	۲/۳۶	۲/۱۹	۲/۲۶	۲/۱۷	۲/۲۱	۲/۳۲	۲/۱۲	۲/۰۱	۱/۶۳	۲/۰۶
اولئیک اسید	۱۵/۸۴	۱۵/۶۶	۱۵/۹	۱۴/۵۹	۱۴/۲۹	۱۴/۷۷	۱۷/۲۶	۱۶/۹۴	۱۶/۶۸	۱۶/۷۸	۱۶/۳۹	۱۵/۶۳	۱۵/۰۶	۱۴/۵۹	۱۴/۷۷	۱۴/۳۱	۱۴/۳۶	۱۴/۱۶
لینولئیک اسید	۱۸/۵۲	۱۸/۷۲	۱۸/۳۴	۱۷/۰۴	۱۷/۴۴	۱۷/۹۲	۱۹/۲۹	۱۹/۱۴	۱۸/۸۲	۱۸/۹۸	۱۸/۵۹	۱۷/۸۲	۱۷/۶۳	۱۷/۵۶	۱۷/۳۴	۱۷/۴۶	۱۷/۲۳	۱۶/۹۲
لینولنیک اسید	۳۲/۳۷	۳۲/۸۹	۳۲/۶۳	۳۲/۱۴	۳۲/۲۳	۳۱/۷۳	۳۴/۵۸	۳۴/۴۳	۳۴/۱۷	۳۴/۲۷	۳۴/۰۲	۳۲/۷۶	۳۲/۰۵	۳۱/۶۶	۳۲/۳۴	۳۰/۶۲	۳۱/۰۶	۳۰/۵۹
آراچیدیک اسید	۱/۳۱	۱/۳۳	۱/۲۷	۱/۱۷	۱/۱۲	۱/۵۴	۱/۳۲	۱/۲۲	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۰۹	۱/۲۲	۱/۱۶	۱/۲۹	۱/۴۳	۱/۳۳	۱/۳۳	۱/۳۸
ایکوزنوئیک اسید	۱۰/۲۵	۱۰/۱	۹/۹۱	۹/۷۸	۹/۶۳	۹/۵۱	۱۱/۶۱	۱۱/۷۴	۱۱/۴۹	۱۱/۲۷	۱۱/۳۴	۱۰/۸۳	۹/۶۲	۹/۴۹	۹/۶۶	۹	۹/۱۸	۸/۹۳
ایکوزادینوئیک اسید	۱/۵۱	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۵۵	۱/۲۸	۱/۴۱	۱/۱۶	۱/۳۴	۱/۱۴	۱/۶۱	۱/۱۲	۱/۴۱	۱/۳۲	۱/۲۸	۱/۴۲	۱/۳۱	۱/۲۹	۱/۲۵
بهنیک اسید	۰	۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۱۶	۰	۰/۱۱	۰	۰/۴۱	۰	۰/۱۶	۰/۱۹	۰	۰/۲۶	۰/۳۱	۰	۰/۳۳	۰	۰/۳۹
اروسیک اسید	۲/۲۳	۲/۳۷	۲/۵۹	۲/۳۳	۲/۳۷	۲/۵۴	۲/۳۹	۲/۲۶	۲/۵۴	۲/۷۱	۲/۶۱	۲/۰۷	۲/۳۱	۲/۳۹	۲/۱۶	۲/۱۸	۲/۳۱	۲/۶۱
نرونیک اسید	۰	۰/۴۱	۰/۲۵	۰	۰	۰	۰	۰/۳۷	۰	۰	۰/۴۱	۰/۵۳	۰/۳۹	۰	۰	۰/۲۶	۰	۰/۴۳

عدم مصرف کود (T_1)؛ کود زیستی (T_2)؛ کود شیمیایی (T_3)؛ کود زیستی + ۲۵ درصد کود شیمیایی (T_4)، کود زیستی + ۵۰ درصد کود شیمیایی (T_5)، کود زیستی + ۷۵ درصد کود شیمیایی (T_6)

منابع مورد استفاده

Aghdasi S, AghaAlikhani M, Modarres-Sanavy SAM and Kahrizi D. 2021. Exogenously used boron and 24-epibrassinolide improved oil quality and mitigate late-season water deficit stress in camelina. Industrial Crops and Products, 171: 113885. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113885

Ahmadian K, Jalilian J and Pirzad A. 2021. Nano-fertilizers improved drought tolerance in wheat under deficit irrigation. Agriculture Water Management, 244: 106544. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106544

Amani Machiani M, Javanmard A, Morshedloo MR, Janmohammadi M and Maggi F. 2021. *Funneliformis mosseae* application improves the oil quantity and quality and eco-physiological characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under water stress conditions. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21: 3076–3090. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00590-1

Bellaloui N, Mengistu A and Kassem, MA. 2013. Effects of Genetics and Environment on Fatty Acid Stability in Soybean Seed. Food Science and Nutrition, 4: 165-175. https://doi.org/10.4236/fns.2013.49A1024

Berti M, Gesch R, Eynck C, Anderson J and Cermak S. 2016. Camelina uses, genetics, genomics, production,

and management. Industrial Crops and Products, 94: 690-710. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.034

Biglari T, Maleksaeidi H, Eskandari F and Jalali M. 2019. Livestock insurance as a mechanism for household resilience of livestock herders to climate change: Evidence from Iran. Land Use Policy, 87: 1-9. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104043

Ebrahimian E, Seyyedi SM, Bybordi A and Damalas CA. 2019. Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. Agriculture Water Management, 218: 149-157. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.031

El Sabagh A, Hossain A, Barutçular C, Gormus O, Ahmad Z, Hussain S, Islam MS, Alharby H, Bamagoos A, Kumar N, Akdeniz H, Fahad S, Meena RS, Abdelhamid M, Wasaya A, Hasanuzzaman M, Sorour S and Saneoka H. 2019. Effects of drought stress on the quality of major oilseed crops: Implications and possible mitigation strategies - A review. Applied Ecology and Environmental Research, 17(2): 4019-4043. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1702_40194043

Ergönül P and Özbek Z. 2020. Cold pressed camelina (*Camelina sativa* L.) seed oil, In Ramadan, M.F. (Ed.), Cold Pressed Oils., pp. 255–266. Academic Press. DOI:10.1016/B978-0-12-818188-1.00021-9

Gao J, Hao X, Thelen KD and Robertson GP. 2009. Agronomic management system and precipitation effects on soybean oil and fatty acid profiles. Crop Science, 49: 1049-1057. DOI:10.2135/cropsci2008.08.0497

Gao S, Wang Y, Yu S, Huang Y, Liu H, Chen W and He X. 2020. Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of Two *Adonis* species in Northeast China. Scientia Horticulturae, 259: 108795. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108795

Gholinezhad E, Aynaband A, Hassanzadeh Ghorthapeh A, Noormohamadi G and Bernousi I. 2009. Study of the Effect of Drought Stress on Yield, Yield Components and Harvest Index of Sunflower Hybrid Iroflor at Different Levels of Nitrogen and Plant Population. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 37(2): 85-94. https://doi.org/10.15835/nbha3723255

Ghaderimokri L, Rezaei-Chiyaneh E, Ghiyasi M, Gheshlaghi M, Battaglia ML and Siddique KHM. 2022. Application of humic acid and biofertilizers changes oil and phenolic compounds of fennel and fenugreek in intercropping systems. Scientific Reports, 12: 5946. https://doi.org/10.1038/s41598-022-09645-4

Jankowski KJ, Sokolski M and Kordan B. 2019. Camelina: Yield and quality response to nitrogen and sulfur fertilization in Poland. Industrial Crops and Products, 141: 111776. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111776

Manavalan LP, Guttikonda SK, Phan Tran LS and Nguyen HT. 2009. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. Plant and Cell Physiology, 50(7): 1260–1276. DOI:10.1093/pcp/pcp082

Matsura A and Ping A. 2020. Factors related water and dry matter during pre- and post- heading in four millet species under severe water deficit. Plant Production Science, 23(1): 28-38. https://doi.org/10.1080/1343943X.2019.1698969

Mohammadi M, Modarres-Sanavy SAM, Pirdashti H, Zand B and Tahmasebi-Sarvestani Z. 2018. How to change the ratio of unsaturated (omega 3, 6, 7 and 9) to saturated fatty acids in *Oenothera biennis* L. oil under water deficit stress, fertilizers and geographical zones. Plant Physiology and Biochemistry, 133: 71-80. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.024

Moradzadeh S, Siavash Moghaddam S, Rahimi A, Pourakbar L, El Enshasy HA and Sayyed RZ. 2021. Bio-chemical fertilizer improves the oil yield, fatty acid compositions, and macro-nutrient contents in *Nigella sativa* L. Horticulturae, 7(10): 345. https://doi.org/10.3390/horticulturae7100345

Okunlola GO, Olatunji OA, Akinwale RO, Tariq A and Adelusi AA. 2017. Physiological response of the three most cultivated pepper species (*Capsicum* spp.) in Africa to drought stress imposed at three stages of growth and development. Scientia Horticulturae, 224: 198-205. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.020

Ostadi A, Javanmard A, Amani Machiani M, Sadeghpour A, Maggi F, Nouraein M, Morshedloo MR, Hano C and Lorenzo JM. 2022. Co-Application of TiO_2 Nanoparticles and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Improves Essential Oil Quantity and Quality of Sage (*Salvia officinalis* L.) in Drought Stress Conditions. Plants, 11(13): 1659. https://doi.org/10.3390/plants11131659

Pandey RK, Marienville JW and Adum A. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effect on maize in a sahelian environment. I. Grain yield components. Agricultural Water Management, 46: 1-13. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00074-3

Zahedi, H and Pourniazi SE. 2018. Effects of integrated application of biological and chemical fertilizers and their application method on yield and yield components of grain maize (*Zea Mays* L.). Applied Field Crops Research, 30(4): 1-10. https://doi.org/10.22092/AJ.2018.109890.1138

Zainuddin N, Keni MF, Ibrahim SAS and Masri MMM. 2022. Effect of integrated biofertilizers with chemical fertilizers on the oil palm growth and soil microbial diversity. Biocatalysts and Agricultural Biotechnology, 39: 102237. DOI: 10.1016/j.bcab.2021.102237

Zanetti F, Alberghini B, Marjanović Jeromela A, Grahovac N, Rajković D, Kiprovski B and Monti A. 2021. Camelina, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe. A review. Agronomy for Sustainable Development, 41(1): 1-18. https://doi.org/10.1007/s13593-020-00663-y

Zhaoxiang W, Huihu L, Qiaoli L, Changyan Y and Faxin Y. 2020. Application of bio-organic fertilizer, not biochar, in degraded red soil improves soil nutrients and plant growth. Rhizosphere, 16: 100264. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100264

Zhang X, Liu W, Lv Y, Li T, Tang J, Yang X, Bai J, Jin X and Zhou H. 2022. Effects of drought stress during critical periods on the photosynthetic characteristics and production performance of Naked oat (*Avena nuda* L.). Scientific Reports, 12: 11199. https://doi.org/10.1038/s41598-022-15322-3