



اثر کاربرد لجن فاضلاب شهری، ازتوباکتر و آزوسپریلیوم بر برخی اسیدهای چرب و شاخص‌های نیتروژن در کلزا

مهدی طاهری اصغری*

استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۲۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۲۵

چکیده

به منظور بررسی اثر لجن فاضلاب شهری و باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم بر برخی شاخص‌های نیتروژن و ترکیب اسیدهای چرب کلزا، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، طی سال‌های زراعی ۱۳۹۵-۹۶ و ۱۳۹۶-۹۷ در اراضی شرکت آب و فاضلاب جنوب استان تهران اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل تلقیح بذر کلزا (بدون تلقیح، تلقیح با ازتوباکتر، تلقیح با آزوسپریلیوم) و استفاده از لجن فاضلاب آبیگری شده شهری (شاهد، کود شیمیایی نیتروژن، ۱۰، ۲۰، ۳۰ تن لجن فاضلاب در هکتار) بود. نتایج نشان داد اثر برهم کنش تیمارهای تلقیح و لجن فاضلاب بر اسیدهای چرب ایکوزانویک، پالمیتیک و آراشیدونیک در سطح یک درصد و اسید استئاریک در سطح پنج درصد معنی دار شد. تیمار ازتوباکتر و ۳۰ تن لجن فاضلاب (۳۶۸۰ کیلوگرم در هکتار) بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که نسبت به تیمار شاهد (۲۱۷۰ کیلوگرم بر هکتار) ۲۳/۵ درصد افزایش عملکرد داشت. بیشترین مقدار اسید اولئیک و لینولئیک از تیمار ۳۰ تن لجن فاضلاب به ترتیب با مقادیر ۶۱/۲۳ و ۱۸/۴۱ درصد به دست آمد. کارایی جذب نیتروژن در تیمار توصیه کودی همراه با ازتوباکتر (۱۶۷۹ درصد) دارای بیشترین مقدار بود. اثر متقابل تیمارهای تلقیح و لجن فاضلاب بر هر دو صفت کارایی مصرف و کارایی بهره‌وری (زراعی) بر حسب زیست توده و عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی دار شد. نتایج بیانگر این است که استفاده از کود نیتروژنه به مقدار مناسب و در اختیار قراردادن به موقع آن به همراه تلقیح، توانست اثر بیش‌تری بر شاخص کارایی بهره‌وری (زراعی) داشته باشد. می‌توان گفت با استفاده محاسبه شده از لجن فاضلاب، البته با در نظر گرفتن احتیاط‌های مورد لزوم، می‌توان جایگزین خوبی برای کودهای نیتروژنه قرار داد.

کلیدواژه‌ها: اسید اروسیک، اسید اولئیک، اسید لینولئیک، اسیدهای چرب اشباع، کارایی زراعی نیتروژن.

The Effect of Municipal Sewage Sludge, *Azotobacter*, and *Azospirillum* Application on Some Fatty Acids and Nitrogen Indices in Canola

Mehdi Taheri Asghari*

Assistant Professor of Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Received: June 14, 2020

Accepted: August 14, 2020

Abstract

In order to investigate the effect of municipal sewage sludge, *Azotobacter*, and *Azospirillum* on some nitrogen indices and fatty acid composition of Canola, a factorial experiment has been conducted based on randomized complete block design with three replications in the field of South Tehran Water and Wastewater Company during 2016-2017 and 2017-2018. The experiment is a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications. The experimental factors include canola seed inoculation in three levels (without inoculation, inoculation with *azotobacter*, and inoculation with *azospirillum*) and the use of municipal sewage sludge in five levels (control, recommended fertilizer, 10, 20, and 30 tons of sewage sludge). Results show that the interaction between seed inoculation and sewage sludge treatments on eicosanoic, palmitic, and arachidonic fatty acids has been significant at 1% and on stearic acid at 5%. *Azotobacter* and 30 tons of sewage sludge treatment (2680 kg/ha) has had the highest grain yield, 23.5% higher than the control treatment (2170 kg/ha). The highest amount of oleic and linoleic acid is obtained from 30 tons of sewage sludge treatment with 61.23% and 18.41%, respectively. Nitrogen uptake efficiency is the highest in fertilizer recommendation treatment with *Azotobacter* (16.79%). Interaction effects of inoculation and sewage sludge treatments on both trait consumption efficiency and productivity efficiency (agricultural) have been significant in terms of biomass and grain yield. Results indicate that the use of nitrogen fertilizer in proper amount, provided that it is in a timely manner, combined with inoculation could have a greater effect on productivity efficiency (agricultural) index. It can be stated that with appropriate use of sewage sludge, and necessary precautions, it can be a good substitute for nitrogen fertilizers.

Keywords: Agronomic efficiency of nitrogen, erolic acid, linoleic acid, oleic acid, saturated fatty acids.

۱. مقدمه

اشباع نشده و غیراشباع، باعث افزایش اکسیداسیون می شود که بر پایداری روغن تأثیر می گذارد. پایداری روغن یکی از مهم ترین عوامل مؤثر بر کیفیت روغن است (Redondo-Cuevas *et al.*, 2018). Nosheen *et al.* (2013) در کلزا، گزارش کردند که بیشترین مقدار اسید اولئیک (C18: 1) از تیمار آزوپریلیوم مشاهده شد. دو نوع اسید چرب اشباع نشده لینولئیک و لینولئیک به عنوان اسیدهای چرب اساسی و مهم در نظر گرفته می شوند، به دلیل این که بدن انسان آنزیم های لازم برای سنتز آنها را ندارد و می بایست از طریق رژیم غذایی تأمین شوند (Dilsat *et al.*, 2019). افزایش میزان اسیدهای چرب بر سیالیت غشای سلولی تأثیر می گذارد و به طور مستقیم با تحمل گیاهان در برابر تنش های زنده و غیر زنده مرتبط است (Brechenmacher *et al.*, 2008). به جهت تأمین نیاز غذایی گیاه کلزا به ویژه نیتروژن علاوه بر استفاده از مواد آلی هم چون لجن فاضلاب، می توان از باکتری های محرک رشد^۳ استفاده کرد. برای استفاده مؤثر از باکتری ها، می توان آنها را با بذر تلقیح کرد. Florio *et al.* (2017) تجزیه و تحلیل کردند که چگونه توسعه فعالیت باکتری های محرک رشد، می تواند بر فعالیت و فراوانی نیتروژن زدایی در خاک ریزوسفری با تغییر در دسترس بودن نسبت کربن و نیتروژن تأثیرگذار باشد. Luis *et al.* (2013) در مطالعه خود مقادیر بالاتری از اسیدهای چرب موجود در دانه های تلقیح شده را نشان دادند. آنها بیان کردند که میزان بالای اسید لینولئیک در هر دو نمونه (۱۲ درصد در نمونه های شاهد و ۱۵ درصد در نمونه های تلقیح شده) قابل پیش بینی بود، زیرا این اسید چرب یکی از اسیدهای چرب فراوان در غشای سلولی گیاهان است. استفاده زیاد از کودهای شیمیایی نیتروژن، باعث کاهش میزان کارایی مصرف نیتروژن شده که علت را می توان در

کلزا محصول اساسی و مهمی است که در مناطق مختلف جهان به عنوان روغن خوراکی، بیودیزل، روان کننده و خوراک استفاده می شود و یکی از محبوب ترین محصولات زراعی روغنی در اروپاست (۶۳ درصد از تولید دانه های روغنی در سال ۲۰۱۷) (Wozniak *et al.*, 2019). با افزایش صنعتی شدن زندگی انسان و افزایش زباله های گوناگون شهری و صنعتی، آلودگی خاک ها به منابع گوناگون آلودگی از جمله فلزات سنگین بیش تر شده است که این مسأله می تواند تهدید جدی برای سلامت و محیط زیست باشد. با وجود این آلودگی ها در مزارع، استفاده از لجن فاضلاب حاصل از تصفیه خانه های شهرهای صنعتی و بزرگ، که منبع بسیار غنی از مواد غذایی هستند مورد توجه قرار گرفته است. لجن فاضلاب نوعی ماده نیمه جامد از فاضلاب (Zhang *et al.*, 2017) و به عنوان ماده زیستی جامد^۱ از فرآورده های فاضلاب شهری و صنعتی است و منبع غنی از مواد مغذی آلی می باشد (Khalid Usman *et al.*, 2012). Poulsen *et al.* (2013) بیان کردند که استفاده از زباله های شهری آلی، برای یک دوره طولانی در یک سایت خاص امکان پذیر است، بدون این که بهره وری خاک را تا زمانی که دستورالعمل های اکوتوکسیکولوژیک^۲ برای محتوای فلزات سنگین رعایت شود را به خطر بیاندازد.

اگرچه به کارگیری مواد آلی به عنوان منبع تأمین کننده نیتروژن در زراعت ها، با نیاز گیاهان همزمانی کافی ندارد، اما پژوهشگران زیادی بر نقش مواد آلی، در افزایش کارایی استفاده از نیتروژن تأکید کرده اند (Dobermann *et al.*, 2003). یکی از مشخصه های کیفیت در کلزا ترکیب اسیدهای چرب آن است. میزان بالاتر اسیدهای چرب

3. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria

1. Biosolids
2. Ecotoxicological guideline

مطالعات دیگری برقرار شده است (Giambalvo *et al.*, 2010). هم‌چنین (Koutroubas *et al.*, 2014) دریافته‌اند که با افزایش میزان لجن فاضلاب در گندم، کارایی مصرف نیتروژن کاهش داده شد.

با وجود پژوهش‌های نسبتاً وسیع پیرامون اثرات کودهای بیولوژیک و مواد آلی بر عملکرد گیاهان زراعی، اطلاعات چندانی در مورد اثرات این نوع کودها بر ساختار و ترکیب اسیدهای چرب گیاه کلزا در نواحی خشک و یا نیمه‌خشک کشور در دسترس نمی‌باشد. هدف از اجرای این آزمایش، مطالعه شاخص‌های نیتروژن و ترکیب اسیدهای چرب کلزا با کاربرد لجن فاضلاب شهری و باکتری‌های محرک رشد برای دست‌یابی به کیفیت مناسب در زراعت کلزا می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۱۳۹۵-۹۶ و ۱۳۹۶-۹۷ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در محوطه شرکت آب و فاضلاب جنوب تهران (عرض جغرافیایی ۳۵/۳۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱/۴ درجه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۰۶۲ متر) اجرا شد. عوامل آزمایش شامل تلقیح بذر کلزا (بدون تلقیح، تلقیح با ازتوباکتر، تلقیح با آزوسپریلیوم) و استفاده از لجن فاضلاب آبیگری‌شده (شاهد، کود شیمیایی نیتروژن، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن لجن فاضلاب در هکتار) بود. برخی ویژگی‌های خاک محل آزمایش و لجن فاضلاب مورد استفاده در جدول‌های (۱) و (۲) آورده شده است. میزان بارندگی و دمای ماهیانه محل آزمایش در طی دوره رشد گیاه نیز در جدول (۳) آورده شده است.

کم‌رنگ دیده‌شدن نقش نیتروژن آلی در عملکرد دانه دانست. کارایی مصرف نیتروژن می‌تواند به شرایط محیطی، مقدار نیتروژن خاک، پتانسیل عملکرد گیاه و گونه بستگی داشته باشد (Gan *et al.*, 2008). کارایی جذب نیتروژن را می‌توان مقدار نیتروژن جذب‌شده در ازای مقدار اولیه این عنصر در خاک و بهره‌وری، میزان تولید دانه در ازای نیتروژن اندام‌های گیاه در مرحله رسیدگی دانست. کارایی مصرف نیتروژن نشان‌دهنده این است که گیاه از کل میزان نیتروژن موجود در خاک یا میزان نیتروژن قابل دسترس در خاک، چه مقدار آن را جذب کرده برای تولید محصول اقتصادی مانند دانه با چه راندمانی مصرف می‌کند (Sorgona *et al.*, 2006). با وجود آلودگی‌های زیست‌محیطی که به دلیل ورود نیتروژن به آب‌های زیرزمینی و سایر منابع طبیعی رخ می‌دهد، بهبود کارایی مصرف نیتروژن در کشاورزی می‌تواند لازم و ضروری باشد. Asadi *et al.* (2013) بیان کردند که کودهای آلی از نظر کارایی جذب و بهره‌وری نیتروژن در مقایسه با کود شیمیایی برتری داشتند و مصرف کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی باعث بهبود عملکرد، کارایی جذب و بهره‌وری نیتروژن شد. Ebrahimghochi *et al.* (2014) بیان داشتند که بیش‌ترین کارایی استفاده و کارایی فیزیولوژیک نیتروژن از تیمار زیستی حاصل شد. Dabighi *et al.* (2016) در مقایسه تیمارهای منبع کود در پژوهش‌های خود نشان دادند که کاربرد کود بیولوژیک در ترکیب با ۵۰ درصد کود شیمیایی، با افزایش کارایی جذب کلزا همراه بود. لجن فاضلاب باعث افزایش سرعت رشد محصول و جذب نیتروژن، در مقادیر مشابه یا حتی بیش‌تر از مقدار کودهای معدنی شد (Spyridon *et al.*, 2020). ارتباط منفی بین میزان کاربرد نیتروژن و NUE (کارایی بهره‌وری نیتروژن) در

جدول ۱. برخی خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه

Cd (ppm)	K (ppm)	P (ppm)	N (%)	عمق خاک (cm)
۰/۱ >	۲۷۸	۱۲	۰/۰۳	۳۰ - ۰

جدول ۲. برخی خصوصیات شیمیایی لجن فاضلاب شهری مورد استفاده در پژوهش

Cd	Pb	Fe	K	P	N	OC	Ph (رقت یک به صد)	EC (رقت یک به صد)	ویژگی
(ppb)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(%)	(%)	(%)	-	s/cm μ	واحد
۸۵/۳	۱۰۵	۷۱۲۵	۷۷۰/۶	۱/۲۵	۲/۴۳	۲۴/۹۴	۶/۵۵	۳۹۲	نتیجه

جدول ۳. میزان بارندگی (میلی متر بارش) و دما (درجه سانتی گراد) طی فصول کشت

بارندگی و دما در ایستگاه ورامین (شهری) تهران										
ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	
سال زراعی ۹۴-۹۵	بارندگی	۷/۸	۴۷/۳	۴۶/۱	۳۰/۶	۷/۸	۸	۴۰/۸	۱۰/۴	۰
	دما	۲۸	۱۷	۹	۳	۹	۱۳	۱۰	۱۷	۲۶
سال زراعی ۹۵-۹۶	بارندگی	۰	۸/۴	۱۷/۴	۴۶/۶	۵۳/۶	۱۶/۴	۳۸/۴	۳۹/۴	۰
	دما	۲۸	۱۷	۵	۳	۶	۹	۱۰	۲۱	۲۵

جهت این که کشت به صورت دستی و پر پشت می بایست انجام می شد، مقدار حدود ۱۵ گرم از هر دو مایه تلقیح به صورت جداگانه برای حدود ۳۰۰ گرم بذر استفاده شد و پس از ۴۵ ثانیه تکان دادن و اطمینان از چسبیدن یکنواخت مایه تلقیح به آنها، بذرهای آغشته به مایه تلقیح روی ورقه آلومینیومی تمیز در زیر سایه پهن شد تا خشک شدند. سپس به سرعت نسبت به کشت اقدام شد.

کودهای مورد لزوم (کود سولفات پتاسیم، سوپرفسفات تریپل و اوره به ترتیب با مقادیر ۸۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) مطابق با آزمون خاک، مورد استفاده قرار گرفت. کودهای سولفات پتاسیم و سوپرفسفات تریپل به همراه یک سوم کود اوره در زمان آماده سازی زمین، مصرف شد. یک سوم بعدی کود اوره در زمان ساقه رفتن و یک سوم آخر هم در زمان شروع پرشدن دانه در اختیار گیاه قرار گرفت. در مرحله سه تا چهار برگی عملیات تنک کردن انجام و فاصله روی ردیف، شش سانتی متر در نظر گرفته شد. آبیاری نیز پس از آبیاری اولیه و آبیاری تکمیلی، برای داشتن سطح سبز یکنواخت در مواقع مورد نیاز با دور آبیاری تقریباً هر هشت

پس از شخم زدن و نرم کردن خاک مزرعه، برحسب نقشه آزمایش کودهای پایه و لجن فاضلاب اضافه و پس از مخلوط کردن با خاک، عملیات کاشت در نیمه اول مهرماه هر دو سال (سال اول ۱۰ مهرماه و سال دوم ۱۴ مهرماه) با استفاده از رقم اکاپی^۱ کلزا (تهیه شده از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج) در کرت هایی به ابعاد ۵×۱/۵ متر انجام شد. شش ردیف کاشت با فاصله ۲۵ سانتی متر ایجاد و بذرها در عمق حدود دو سانتی متر کشت شدند. فاصله بین کرت های آزمایش ۵۰ سانتی متر و فاصله بین تکرارها یک متر بود. بذر رقم اکاپی کلزا با باکتری های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم که از بخش بیولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج با جمعیت ۸×۱۰^۷ (CFU)^۲ در هر گرم مایه تلقیح تهیه شده بود، تلقیح شدند. برای تلقیح، ابتدا بذر به همراه محلول شکر ۲۰ درصد درون کیسه پلی اتیلنی ریخته شده و به شدت تکان داده شد تا سطوح بذر کاملاً چسبناک شوند. سپس به

1. Okapi
2. Colony Forming Unit

کرت‌های به طول ۵ متر و فاصله ردیف ۲۵ سانتی‌متر، پس از آماده‌سازی، نصف شده و در یکی از قسمت‌ها مجدد تیمارهای سال اول اعمال و در قسمت دوم کرت، تیمارها اعمال نشد. داده‌های حاصل از دو سال اجرای آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه 9.1.3) مورد تجزیه آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. عملکرد دانه

اثر متقابل تیمارها بر صفت عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). تیمار ازتوباکتر و ۳۰ تن لجن فاضلاب (۲۶۸۰/۰۰) کیلوگرم بر هکتار) بیش‌ترین عملکرد را به‌خود اختصاص داد که نسبت به تیمار شاهد (۲۱۷۰ کیلوگرم بر هکتار) ۱۹ درصد افزایش عملکرد داشته و تیمار آزوسپریلیوم و ۳۰ تن لجن فاضلاب (۲۴۷۳/۳۳) کیلوگرم بر هکتار) نیز در مقایسه با شاهد، ۱۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۶). (Ramdev et al. 2017) در مطالعات خود بیان کردند که تلقیح بذر ارزن مرواریدی^۱ با ازتوباکتر باعث افزایش معنی‌داری در عملکرد، در مقابل عدم تلقیح شد. (Latar et al. 2014) گزارش کردند که کاربرد لجن فاضلاب در مقادیر ۱۰ تا ۴۰ تن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و کاه و کلش گندم شد. (Ahmad et al. 2010) افزایش عملکرد دانه تحت تأثیر کودهای زیستی تثبیت‌کننده نیتروژن و فسفر را به‌دلیل افزایش فعالیت متابولیکی کودهای زیستی (که باعث افزایش سرعت فتوسنتز خالص می‌شود) و هم‌چنین تولید هورمون‌های محرک رشد توسط باکتری‌ها و در نهایت افزایش عملکرد دانسته‌اند. افزایش در دسترس بودن نیتروژن از طریق تثبیت زیستی در ریزوسفر توسط باکتری‌های محرک رشد و از طرفی وجود

روز به‌روش سیفونی انجام شد. پس از رسیدگی فیزیولوژی بوته‌ها بعد از حذف اثر حاشیه، کلیه بوته‌های موجود در مساحت دو مترمربع میانی از هر کرت آزمایشی برداشت و پس از خشک‌شدن، دانه‌ها به‌روش دستی از خورجین جدا و دانه‌های برداشت‌شده هر کرت به هکتار تعمیم داده شد و صفات شاخص‌های نیتروژن و اسیدهای چرب در دانه کلزا اندازه‌گیری شدند.

محاسبه شاخص‌های مختلف نیتروژن براساس مطالعه Bingham et al. (2012) مطابق معادلات زیر انجام گرفت:

(رابطه ۱) کارایی جذب نیتروژن:

$$NupE = (N_{off} / N_s) * 100$$

که در این معادله N_{off} نیتروژن موجود در زیست‌توده (گرم در مترمربع) و N_s نیتروژن موجود در خاک که شامل نیتروژن اولیه خاک و نیتروژن مصرفی (گرم در مترمربع) می‌باشد.

(رابطه ۲) کارایی مصرف (فیزیولوژیک) نیتروژن برحسب عملکرد زیست‌توده:

$$NutEb = B / N_{off}$$

که در این معادله B عملکرد زیست‌توده (گرم بر مترمربع) است.

(رابطه ۳) کارایی مصرف (فیزیولوژیک) نیتروژن برحسب عملکرد دانه:

$$NutEg = Gw / N_{off}$$

که در این معادله Gw عملکرد دانه (گرم بر مترمربع) است.

(رابطه ۴) کارایی استفاده (بهره‌وری) نیتروژن برحسب عملکرد زیست‌توده:

$$NUEb = B / N_s$$

(رابطه ۵) کارایی استفاده (بهره‌وری) نیتروژن برحسب عملکرد دانه:

$$NUEg = Gw / N_s$$

تعیین و تشخیص اسیدهای چرب براساس پروتکل AOAC (1990) محاسبه شد. در سال دوم اجرای آزمایش،

1. Pennisetum glaucum L.

باعث افزایش درصد اسید اولئیک و نیز کاهش میزان اسید لینولنیک و بهبود کیفیت روغن کنگد شد. *Nosheen et al.* (2013) در کلزا، گزارش کردند که باکتری آروسپیریلیوم میزان اسید اولئیک و اسید لینولنیک را افزایش داد ولی میزان اسید اروسیک را کاهش داد.

همچنین *Seyed Sharifi* (2016) گزارش کرد که اسیدهای چرب غیراشباع سویا با کاربرد کودهای زیستی به طور معنی داری افزایش یافت. همچنین *Fadul* (2014) نیز بیان کرد که عملکرد بذر، محتوای روغن دانه و درصد اسید اولئیک به طور معنی داری با افزایش مقدار ماده آلی در کانولا افزایش داشت. براساس نتایج این آزمایش می توان اظهار داشت که فراهمی هر چه بیش تر عناصر غذایی در خاک، ضمن افزایش عملکرد روغن، احتمالاً با کاهش درصد اسید لینولنیک و نیز افزایش درصد اسید اولئیک منجر به بهبود ارزش کیفی روغن می شود.

اسید لینولنیک

اثر تیمار لجن فاضلاب بر اسید لینولنیک نشان داد بیش ترین مقدار آن از تیمار ۳۰ تن لجن فاضلاب (۱۸/۴۱ درصد) به دست آمد که با تیمار ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار با مقدار ۱۸/۳۹ درصد در گروه آماری مشابه قرار گرفت (جدول ۵ و شکل ۳). در تیمار تلقیح هم ازتوباکتر با مقدار ۱۸/۳۷ درصد بهترین بود (شکل ۴).

حضور باکتری های محرک رشد می تواند از طریق افزایش نیتروژن قابل جذب گیاه باعث تداوم رشد گیاه شود و از طرفی وجود ماده آلی لجن فاضلاب و افزایش ماده آلی در خاک، می تواند از طریق افزایش ظرفیت آب گیری و فراهم بودن رطوبت و مواد غذایی بیش تر برای گیاه، سبب تداوم رشد شود. نتایج این بررسی نشان داد که ترکیب اسیدهای چرب کلزا تحت تأثیر عناصر غذایی قرار می گیرد و با توجه به این که کیفیت روغن های خوراکی به

مقادیر بالای این عنصر و سایر عناصر غذایی از جمله فسفر در لجن فاضلاب و در اختیار قرارگرفتن تدریجی این مواد، می تواند باعث توسعه بهتر ریشه شده و این رشد بهتر ریشه با افزایش جذب همراه بوده و به رشد بهتر گیاه کمک کرده و باعث افزایش ماده خشک و در نهایت گلدهی بهتر و توسعه بهتر خوشه شود.

اثر تیمارهای تلقیح و لجن فاضلاب بر اسیدهای چرب اولئیک، لینولنیک، لینولنیک و اروسیک در سطح یک درصد و اثر برهم کنش تیمارهای تلقیح و لجن فاضلاب بر اسیدهای چرب ایکوزانوئیک، پالمیتیک و آراشیدونیک در سطح یک درصد و اسید استئاریک در سطح ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۴).

۲.۳. اسیدهای چرب غیر اشباع

اسید اولئیک

اثر تیمارهای لجن فاضلاب بر اسید اولئیک نشان داد که بیش ترین مقدار آن از تیمار ۳۰ تن لجن فاضلاب با مقدار ۶۱/۲۳ درصد، به دست آمد (شکل ۱) و همچنین اثر تیمارهای تلقیح نیز نشان دهنده بالاتر بودن مقدار تلقیح با ازتوباکتر (۶۱/۲۳ درصد) بود (جدول ۵ و شکل ۲). به طور کلی افزایش درصد اسید اولئیک نشان دهنده پایداری به دما و کیفیت روغن، جهت سرخ کردن مواد غذایی و نیز بالاتر بودن درصد اسید چرب لینولنیک حاکی از بهبود

ارزش روغن در تغذیه مستقیم می باشد (*Khajehpour, 2005*). اسید اولئیک به دلیل اثر بخشی آن در کاهش سطح کلسترول و تقویت در بیماری های قلبی عروقی شناخته شده است و دارای خواص ضد دیابتی و ضد التهابی است (*Oliveira et al., 2010*). *Rezvani Moghaddam et al.* (2014) در مطالعات خود بیان کردند، فراهمی مواد آلی و عناصر غذایی خاک به ویژه تحت شرایط استفاده تلفیقی کود گاوی+ گرانوله می تواند ضمن افزایش عملکرد،

اثر کاربرد لجن فاضلاب شهری، ازتوباکتر و آزوسپریلیوم بر برخی اسیدهای چرب و شاخص‌های نیتروژن در کلزا

غذایی تأمین شوند، این پژوهش توانسته است با افزایش اسیدهای چرب غیراشباع و افزایش عملکرد روغن، کیفیت روغن کلزا را بهبود بخشد.

مقدار اسیدهای چرب غیراشباع، به‌ویژه اسیدهای لینولئیک و لینولئیک بستگی دارد و این اسیدها جزو اسیدهای چرب ضروری برای بدن انسان هستند، که باید از طریق رژیم

جدول ۴. جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای لجن فاضلاب و تلقیح بر اسیدهای چرب دانه کلزا

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	اسید چرب اولئیک	اسید چرب لینولئیک	اسید چرب لینولئیک
سال (Year)	۱	۱۵۰۲۸۵۴/۴۴ ns	۰/۲۴۸۵**	۰/۴۶۳۶*	۳/۰۸۰۲**
تکرار	۲	۱۱۹۴۷/۷۷ ns	۰/۰۶۱۲**	۰/۱۴۱۶ ns	۰/۳۱۱۲**
تلقیح (I)	۲	۱۰۹۳۵۸۷/۷۷**	۱/۰۰۴۷**	۰/۶۱۰۱**	۰/۲۵۳۸**
لجن فاضلاب (N)	۴	۲۱۶۱۵۱۳/۸۸**	۰/۵۱۲۳**	۰/۴۴۷۴**	۳/۷۱۵۸**
I*N	۸	۵۳۲۴۸/۸۸**	۰/۰۱۲۱ns	۰/۱۱۷۹ ns	۰/۰۲۰۰ ns
Year * I	۲	۱۱۴۱۴۷/۷۷**	۰/۰۱۴۳ns	۰/۳۱۷۵*	۰/۱۲۸۱**
Year * N	۴	۱۶۵۹۲۹/۴۴**	۰/۰۰۴۱ns	۰/۰۸۳۴ ns	۰/۲۰۳۵**
Year * I * N	۸	۱۶۱۴۷/۷۷ ns	۰/۰۰۲۷ns	۰/۱۰۵۷ ns	۰/۰۱۲۰ ns
error	۵۶	۱۱۶۵۹/۶۸	۰/۰۱۱۱	۰/۰۹۹۶	۰/۰۱۱۲
CV		۵/۱۸	۰/۱۷	۱/۷۲	۰/۵۵

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

ادامه جدول ۴. جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای لجن فاضلاب و تلقیح بر اسیدهای چرب دانه کلزا

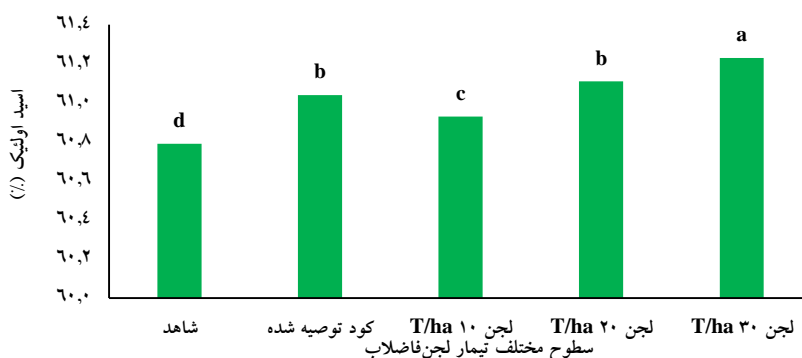
منابع تغییر	درجه آزادی	اسید چرب ایکوزانوئیک	اسید چرب اروسیک	اسید چرب پالمیتیک	اسید چرب آراشیدونیک	اسید چرب استئاریک
سال (Year)	۱	۰/۲۲۸۰**	۰/۰۰۳۶۱**	۰/۲۹۸۱**	۰/۰۳۴۸**	۰/۱۶۹۰**
تکرار	۲	۰/۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۲۹۱**	۰/۰۱۰۸**	۰/۰۰۰۸**	۰/۰۰۲۶**
تلقیح (I)	۲	۰/۰۰۱۱*	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۲۲۲**	۰/۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۷*
لجن فاضلاب (N)	۴	۰/۰۱۲۰**	۰/۰۳۴۳**	۰/۰۷۲۷**	۰/۰۰۴۳**	۰/۰۱۱۵**
I*N	۸	۰/۰۰۰۹**	۰/۰۰۰۰۵۱ ns	۰/۰۰۲۷**	۰/۰۰۰۲**	۰/۰۰۰۵*
Year * I	۲	۰/۰۱۱۲**	۰/۰۰۰۰۱۳ ns	۰/۰۰۲۳ ns	۰/۰۰۰۰۳ ns	۰/۰۰۱۲**
Year * N	۴	۰/۰۰۷۱**	۰/۰۰۰۰۴۸ ns	۰/۰۱۱۸**	۰/۰۰۱۷**	۰/۰۱۱۵**
Year * I * N	۸	۰/۰۰۱۲**	۰/۰۰۰۰۲۳ ns	۰/۰۰۴۹**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۷**
error	۵۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۲
CV		۱/۴۶	۷/۰۴	۰/۵۹	۰/۹۱	۰/۷۰

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

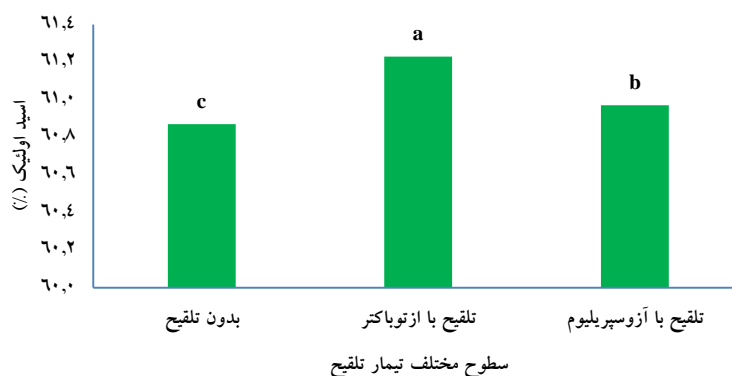
جدول ۵. اثر تیمارهای تلقیح و لجن فاضلاب بر اسیدهای چرب کلزا

درصد اسید چرب اولئیک (%)	درصد اسید چرب لینولئیک (%)	درصد اسید چرب لینولئیک (%)	اسید چرب اروسیک (%)		
۶۰/۹۷b	۱۸/۱۷b	۱۹/۲۰a	۰/۱۷b	۱	سال
۶۱/۰۷a	۱۸/۳۱a	۱۸/۸۳b	۰/۱۸a	۲	
۶۰/۸۷c	۱۸/۰۸b	۱۸/۹۱b	۰/۲۰a	بدون تلقیح	تلقیح
۶۱/۲۳a	۱۸/۳۷a	۱۹/۰۵a	۰/۱۷b	ازتوباکتر	
۶۰/۹۷b	۱۸/۲۷ab	۱۹/۰۸a	۰/۱۷b	آزوسپریلیوم	
۶۰/۷۹d	۱۸/۲۲ab	۱۸/۲۷d	۰/۲۳a	بدون کود و لجن	لجن فاضلاب
۶۱/۰۴b	۱۸/۰۵b	۱۹/۰۰c	۰/۲۰b	توصیه کودی	
۶۰/۹۳c	۱۸/۱۴ab	۱۹/۰۹c	۰/۱۸c	لجن ۱۰ T/ha	
۶۱/۱۱b	۱۸/۳۹a	۱۹/۲۶b	۰/۱۵d	لجن ۲۰ T/ha	
۶۱/۲۳a	۱۸/۴۱a	۱۹/۴۶a	۰/۱۲e	لجن ۳۰ T/ha	

اعداد با حروف مشابه در هر ستون، از نظر آماری با آزمون توکی و در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.



شکل ۱. اثر سطوح مختلف تیمار لجن فاضلاب بر درصد اسید اولئیک



شکل ۲. اثر سطوح مختلف تیمار تلقیح بر اسید اولئیک

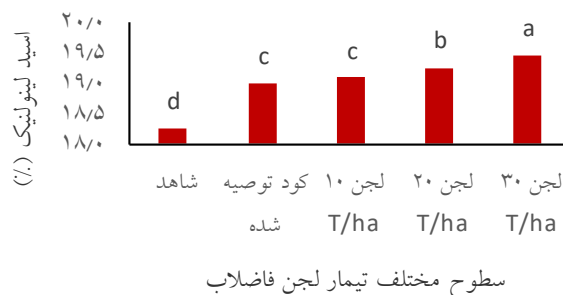
اثر کاربرد لجن فاضلاب شهری، ازتوباکتر و آزوسپریلیوم بر برخی اسیدهای چرب و شاخص‌های نیتروژن در کلزا

آزوسپریلیوم با مقدار ۱۹/۰۸ درصد با تلقیح با ازتوباکتر (۱۹/۰۵ درصد) رتبه اول را داشته و در گروه آماری مشابه قرار گرفتند (جدول ۵ و شکل ۶). اثر تیمارهای لجن فاضلاب هم نشان داد تیمار ۲۰ و ۳۰ تن لجن فاضلاب در هکتار به ترتیب با مقادیر ۱۹/۲۶ و ۱۹/۴۶ درصد بیش‌ترین اسید لینولنیک را داشتند (جدول ۵). چنین استنباط می‌شود که بهبود شرایط محیطی در طی نمو دانه در اثر کاربرد لجن فاضلاب و باکتری‌های محرک رشد، عاملی برای کاهش سنتز اسید اولئیک به اسید اروسیک و در نتیجه افزایش کیفیت روغن می‌باشد. Shakeri et al. (2012) نشان دادند که اثر کود بیولوژیک بر درصد اسید لینولنیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. آن‌ها بیان کردند با کاربرد کود بیولوژیک مقدار اسید لینولنیک به ۰/۲۸ درصد رسید و در مقایسه با تیمار شاهد (۰/۲۳ درصد) افزایش یافت.

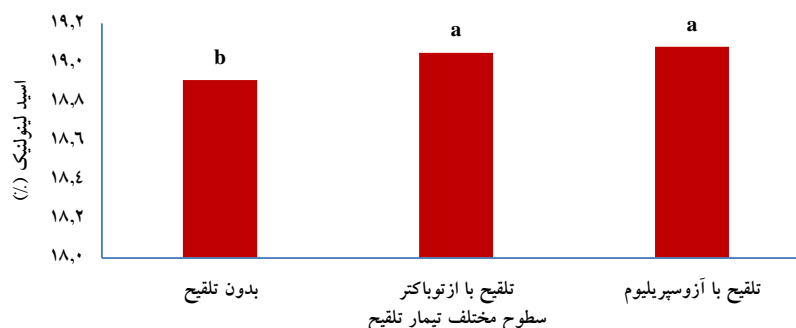
تلقیح بذور با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد موجب کاهش معنی‌داری در اسیدهای چرب اشباع (اسید پالمیتیک و استئاریک) و افزایش معنی‌داری در اسیدهای چرب غیراشباع (اسید لینولنیک و اولئیک) در مقایسه با عدم تلقیح باکتریایی (تیمار کنترل) شد. نتایج مشابهی توسط Shehata & EL-Khawas (2003) گزارش شده است. می‌توان گفت، میزان اسیدهای چرب اشباع با افزایش میزان نیتروژن در دسترس، کاهش و میزان اسیدهای چرب غیراشباع افزایش می‌یابد (Shoghi-Kalkhoran et al., 2013).

اسید لینولنیک

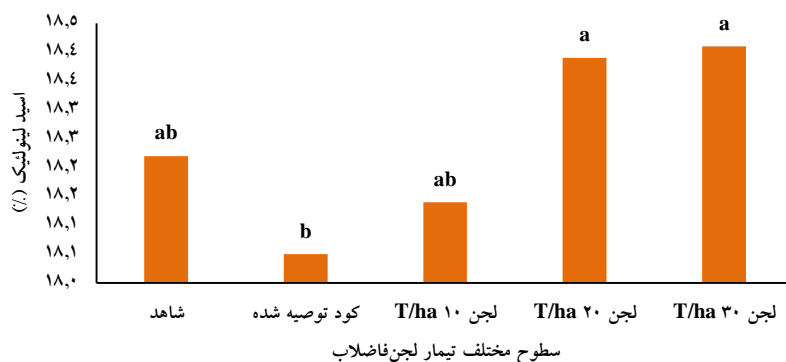
با بررسی جدول (۵) مشخص شد که استفاده از باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش اسید لینولنیک شد. تلقیح با



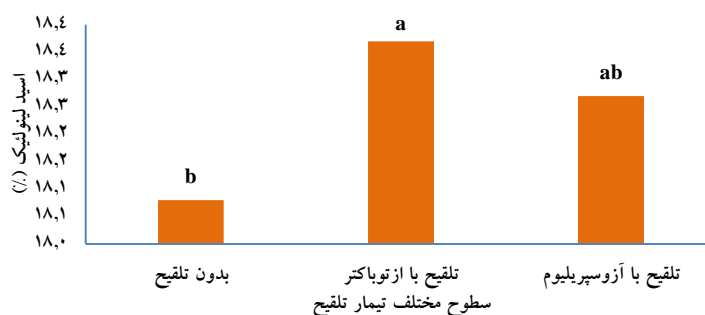
شکل ۳. اثر سطوح مختلف تیمار لجن فاضلاب بر درصد اسید لینولنیک



شکل ۴. اثر سطوح مختلف تیمار تلقیح بر اسید لینولنیک



شکل ۵. اثر سطوح مختلف تیمار لجن فاضلاب بر درصد اسید لینولنیک



شکل ۶. اثر سطوح مختلف تیمار تلقیح بر اسید لینولنیک

ترکیب اسیدهای چرب و رشد فیزیولوژیکی محصولات زراعی دارند (Mohammadi et al., 2011).

اسید اروسیک

بررسی نتایج نشان داد که تیمار لجن فاضلاب باعث کاهش مقدار اسید اروسیک شد. به طوری که تیمار ۳۰ تن لجن فاضلاب (۰/۱۲ درصد) نسبت به تیمار شاهد بدون لجن (۰/۲۳ درصد) ۴۸ درصد کاهش را نشان داد. همچنین اثر تیمارهای تلقیح نیز نشان داد که تلقیح با ازتوباکتر و آزوسپریلیوم باعث کاهش مقدار اسید اروسیک شد. نتایج نشان داد تفاوتی بین دو باکتری مورد استفاده در آزمایش بر اسید اروسیک (۰/۱۷ درصد) وجود نداشت و مقدار آنها نسبت به تیمار شاهد بدون تلقیح (۰/۲۰ درصد) ۱۵ درصد کاهش را نشان داد (جدول ۵).

اسید ایکوزانوئیک

تیمار ۳۰ تن لجن فاضلاب و ازتوباکتر با مقدار ۱/۱۲ درصد و تیمار ۲۰ تن لجن فاضلاب و ازتوباکتر با مقدار ۱/۱۰ درصد، دارای مقدار مشابه همین تیمارها با تلقیح با آزوسپریلیوم بود (جدول ۶). البته مقدار عددی اسید ایکوزانوئیک در تیمارهای بدون تلقیح نسبت به تیمارهای تلقیح شده دارای مقدار کمتری بود. در بین تیمارهای شاهد، کود نیتروژنه و ۱۰ تن لجن فاضلاب که با ازتوباکتر تلقیح شده بودند تفاوت معنی داری وجود نداشت. نتایج Shoghi- Kalkhoran et al. (2013) نشان داد که تلقیح بذور با باکتری‌های افزاینده رشد موجب افزایش معنی داری در اسیدهای چرب غیراشباع (اسید لینولنیک و اولئیک) در مقایسه با عدم تلقیح (تیمار کنترل) شد. مواد آلی و فعالیت‌های میکروبی گزارش شده است که اثرات مثبتی بر

اثر کاربرد لجن فاضلاب شهری، ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم بر برخی اسیدهای چرب و شاخص‌های نیتروژن در کلزا

جدول ۶. اثر متقابل سطوح تلقیح و لجن فاضلاب بر اسیدهای چرب کلزا

عملکرد دانه (kg/ha)	اسید چرب ایکوزانویئیک (%)	اسید چرب پالمیتیک (%)	اسید چرب آراشیدونیک (%)	اسید چرب استئاریک (%)	
۱۵۶۵c	۱/۰۵ c	۴/۶۶ c	۰/۹۹ c	۲/۰۱ b	بدون کود و لجن
۲۰۵۱ab	۱/۰۶ b	۴/۸۲ a	۱/۰۳ ab	۲/۰۶ a	توصیه کودی
۱۶۶۱c	۱/۰۶ bc	۴/۸۳ a	۱/۰۲ b	۲/۰۷ a	بدون تلقیح لجن ۱۰ T/ha
۱۹۴۰b	۱/۰۷ ab	۴/۷۳ b	۱/۰۳ ab	۲/۰۷ a	لجن ۲۰ T/ha
۲۱۷۰a	۱/۰۹ a	۴/۶۸ bc	۱/۰۴ a	۲/۰۷ a	لجن ۳۰ T/ha
۱۶۶۰d	۱/۰۵ b	۴/۶۳ c	۰/۹۹ c	۲/۰۰ b	بدون کود و لجن
۲۵۸۱ab	۱/۰۵ b	۴/۷۸ a	۱/۰۲ b	۲/۰۵ a	توصیه کودی
۱۶۷۶c	۱/۰۵ b	۴/۷۶ a	۱/۰۲ b	۲/۰۷ a	ازتوباکتر لجن ۱۰ T/ha
۲۳۷۸b	۱/۱۰ a	۴/۶۸ b	۱/۰۳ ab	۲/۰۷ a	لجن ۲۰ T/ha
۲۶۸۰a	۱/۱۲ a	۴/۶۳ c	۱/۰۴ a	۲/۰۷ a	لجن ۳۰ T/ha
۱۵۸۶d	۱/۰۵ c	۴/۶۳ a	۱/۰۰ b	۲/۰۲ a	بدون کود و لجن
۲۳۷۱ab	۱/۰۵ c	۴/۷۴ a	۱/۰۲ ab	۲/۰۶ a	توصیه کودی
۱۶۳۶c	۱/۰۸ bc	۴/۷۳ ab	۱/۰۰ b	۲/۰۴ a	آزوسپیریلیوم لجن ۱۰ T/ha
۲۲۰۸b	۱/۱۰ ab	۴/۷۰ b	۱/۰۲ b	۲/۰۶ a	لجن ۲۰ T/ha
۲۴۷۳a	۱/۱۲ a	۴/۶۸ bc	۱/۰۳ a	۲/۰۶ a	لجن ۳۰ T/ha

اعداد با حروف مشابه در هر ستون، از نظر آماری با آزمون توکی و در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

عناصر سبب کاهش بیش‌تر اسید اروسیک در مقایسه با مصرف آن‌ها به‌صورت جداگانه شد. از این‌رو نتیجه گرفته می‌شود که عناصر غذایی که از طریق لجن فاضلاب در اختیار گیاه قرار داده شده، با اثر بر ترکیب اسیدهای چرب و کاهش اسید اروسیک سبب بهبود کیفیت روغن کلزا شده است. Sharafi *et al.* (2015) بیان کردند که همبستگی بسیار قوی منفی و معنی‌داری بین میزان اسید لینولنیک و اروسیک اسید وجود دارد که این مطلب در ارتباط مستقیم با مراحل موردنیاز برای سنتز روغن است. همچنین همبستگی قوی و منفی بین اسیدهای چرب اولئیک و اروسیک وجود دارد که حاکی از آن است که ژن‌هایی که برای داشتن مقدار زیاد اسید اروسیک نقش

Vatandust *et al.* (2017) بیان کردند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش میزان اسید اولئیک و لینولنیک و کاهش اسیدهای چرب پالمیتیک و اروسیک گردید. ویژگی‌های کیفی هر نوع روغن بستگی به ترکیب اسیدهای چرب آن و به‌ویژه اسیدهای چرب اولئیک، لینولنیک و اروسیک دارد که به میزان زیادی تحت تأثیر شرایط محیطی قرار دارد (Enjalbert *et al.*, 2013). Nosheen *et al.* (2013) در کلزا گزارش کردند که باکتری آزوسپیریلیوم به‌طور معنی‌داری میزان اسید اروسیک را کاهش داد. در پژوهشی که توسط Habibi *et al.* (2014) انجام شد مصرف هر یک از عناصر گوگرد، روی و بر سبب کاهش اسید اروسیک شد، اما مصرف ترکیبی

دارند، در هزینه‌کردن و مصرف اسید چرب غیراشباع به اسیدهای لینولئیک و لینولنیک عمل می‌کنند. دو مسیر بیوستنز جداگانه که از نظر ژنتیکی مستقل هستند، مسئول این نتیجه هستند. رابطه سنتز این دو اسید چرب در *B. napus* و رقم اکاپی با حدود صفر درصد اسید اروسیک و حدود ۶۴ درصد اسید اولئیک قابل مشاهده است. استفاده از باکتری‌های محرک رشد می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر ترکیب اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع کلزا داشته باشد. عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن که با کاربرد باکتری‌های محرک رشد به محیط کشت گیاه به‌صورت تدریجی وارد می‌شوند (برعکس کاربرد کودهای شیمیایی)، این ماده را به آهستگی آزاد کرده و در طی فصل رشد در اختیار گیاه قرار می‌دهند. در سویی دیگر، لجن‌فاضلاب مورد استفاده در این آزمایش نیز با داشتن درصد بالای نیتروژن و عناصر غذایی و ماده آلی، که بر اثر فعالیت باکتری‌ها، تجزیه و به‌صورت مناسب و تدریجی در اختیار گیاه قرار داده می‌شود باعث شست‌وشوی کم‌تر مواد غذایی تا انتهای فصل رشد شده و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به‌خوبی تأمین می‌شود.

کارایی جذب (بازیافت) نیتروژن

در بررسی اثر متقابل تیمارهای لجن‌فاضلاب و تلقیح، مشخص شد که در سطح یک درصد بر درصد کارایی جذب نیتروژن معنی‌دار شد (جدول ۷). نتایج نشان داد تیمار توصیه کودی همراه با ازتوباکتر (۱۶۷۹ درصد) دارای بیش‌ترین مقدار بود. اثر تیمار تلقیح مثبت بود و تیمارهای تلقیح نسبت به تیمار شاهد دارای مقدار بیش‌تری بودند (جدول ۸). از طرفی افزایش سطوح لجن‌فاضلاب باعث کاهش در کارایی جذب نیتروژن شد. در آزمایشی روی پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) گزارش شد که افزایش کود نیتروژن مصرفی از صفر تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی جذب نیتروژن را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Zhang et al., 2012). کارایی جذب نیتروژن کلزا برای سطوح تیمارهای کود آلی لجن‌فاضلاب در مقایسه با کود شیمیایی پایین‌تر بود که دلیل این امر را می‌توان به فراهمی مناسب‌تر نیتروژن طی فرایند معدنی‌شدن تدریجی کودهای آلی در مقایسه با کود شیمیایی نسبت داد.

۳.۳. اسیدهای چرب اشباع
اسید پالمیتیک، استئاریک و آراشیدونیک

در بررسی اثر تیمارهای لجن‌فاضلاب بر اسید پالمیتیک و استئاریک نشان داد با افزایش سطوح لجن‌فاضلاب از میزان آن‌ها کاسته می‌شود، هم‌چنین اثر باکتری‌های محرک رشد نیز بر اسید پالمیتیک و استئاریک نیز نشان‌دهنده کاهش مقدار آن‌ها در تیمارهای تلقیح نسبت به شاهد بود. اثر تیمار تلقیح بر اسید آراشیدونیک هم همانند اسیدهای چرب اشباع پالمیتیک و استئاریک بود و تلقیح بذور باعث کاهش مقدار این اسید چرب شد (جدول ۶). Seyed Sharifi (2016) بیان کرد که اسیدهای چرب اشباع‌شده

کارایی جذب نیتروژن کاسته شد و در تیمار کود توصیه‌شده نیز همان‌طور که قبلاً گفته شد با توزیع کود به‌صورت سرک و به مقدار موردنیاز همان‌طور که در مشاهدات Mirza Shahi & Hosseinpour (2014) نشان داده شد، با تعدد کوددهی نیتروژن در زمان‌های مختلف، کارایی جذب آن افزایش یافت.

کارایی مصرف بر حسب زیست‌توده و عملکرد دانه

اثر متقابل تیمارهای تلقیح و لجن‌فاضلاب بر هر دو صفت یادشده در سطح یک درصد ($P \leq 0/01$) معنی‌دار شد (جدول ۷)، به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار این شاخص بر حسب زیست‌توده و عملکرد دانه از تیمار بدون کود و لجن و بدون تلقیح (شاهد) به‌ترتیب برابر با ۲۷/۸۰ و ۱۸/۹۰ گرم عملکرد به‌ازای گرم نیتروژن جذب‌شده در شرایط شاهد به‌دست آمد (جدول ۸).

با توجه به این‌که لجن‌فاضلاب مورد استفاده در طرح دارای ۲/۴۳ درصد نیتروژن بود و با حضور باکتری‌های محرک رشد، این ماده آلی به‌سرعت تجزیه و احتمالاً بیش‌تر نیتروژن موجود در آن در همان سال مصرف، از آن (لجن‌فاضلاب) خارج شده است، نتیجه به‌دست‌آمده قابل‌توجه است. Kucheki *et al.* (2015) بیان کردند که در هر دو گیاه ذرت و پنبه افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی جذب نیتروژن را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. هم‌چنین Rochester *et al.* (2001) با بررسی تأثیر بقولات و سطوح کود نیتروژنه بر کارایی مصرف و جذب نیتروژن در گیاه پنبه، گزارش کردند که اگر نیتروژن بالاتر از حد بهینه اقتصادی مصرف شود، کارایی بازیافت آن کاهش می‌یابد. در این آزمایش نیز با افزایش مصرف لجن‌فاضلاب و به‌دنبال آن افزایش نیتروژن در دسترس گیاه، از میزان

جدول ۷. جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای لجن‌فاضلاب و تلقیح بر اسیدهای چرب دانه کلزا

منابع تغییر	درجه آزادی	کارایی جذب نیتروژن (NupE)	کارایی مصرف بر حسب زیست‌توده (NutEh)	کارایی مصرف بر حسب دانه (NutEg)	کارایی بهره‌وری بر حسب عملکرد دانه (NUEg)	کارایی بهره‌وری بر حسب عملکرد زیست‌توده (NUEh)
سال (Year)	۱	۱۶۹/۷۱۶**	۲۷۳/۳۱**	۱۱۳/۴۷۹**	۰/۹۸۰**	۱/۳۹**
تکرار	۲	۱/۱۱**	۲/۲۲**	۰/۶۳**	۰/۰۱۲ ns	۰/۰۲۲ns
تلقیح (I)	۲	۳۷/۴۹**	۱۵/۹۶**	۲/۳۸**	۰/۸۵۷**	۱/۰۹۰*
لجن‌فاضلاب (N)	۴	۷۹/۵۶**	۴۷/۸۱**	۹/۸۱**	۲/۴۰۲**	۴/۴۳**
I*N	۸	۱/۸۵**	۱/۴۶**	۰/۵۸**	۰/۰۴۳**	۰/۰۷**
Year * I	۲	۳/۳۸**	۵/۵۱**	۳/۶۷**	۰/۰۹۰**	۰/۱۰**
Year * N	۴	۷/۵۸**	۵/۷۹**	۲/۹۰**	۰/۰۸۰**	۰/۱۲**
Year * I * N	۸	۰/۷۷**	۱/۰۷**	۰/۴۶**	۰/۰۱۵ ns	۰/۰۲۴ ns
error	۵۶	۰/۲۶	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۱۰	۰/۰۱۳
CV		۴/۵۸	۱/۴۱	۱/۹۳	۵/۱۹	۴/۲۴

ns و ** معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

جدول ۸. اثر متقابل سطوح تلقیح و لجن فاضلاب بر برخی شاخص‌های نیتروژن

کارایی بهره وری بر حسب عملکرد دانه (g GW per g ⁻¹ Ns) NUEg	کارایی بهره وری بر حسب عملکرد زیست توده (g B per g ⁻¹ Ns) NUEEb	کارایی مصرف بر حسب دانه (g GW per g ⁻¹ N off) NUTEg	کارایی مصرف بر حسب زیست توده (g B per g ⁻¹ N off) NUTEb	کارایی جذب نیتروژن (percent) NUPE	
۲/۰۰b	۲/۹۵a	۱۸/۹۰a	۲۷/۸۰a	۱۰/۶۳b	بدون کود و لجن
۲/۲۰a	۳/۰۵a	۱۷/۲۲bc	۲۳/۸۷cd	۱۲/۹۴a	توصیه کودی
۱/۶۱c	۲/۳۳b	۱۷/۸۱b	۲۵/۸۰b	۹/۱۰c	بدون تلقیح لجن ۱۰ T/ha
۱/۵۱dc	۲/۱۵bc	۱۷/۱۲c	۲۴/۳۸c	۹/۰۰c	لجن ۲۰ T/ha
۱/۴۱d	۱/۹۷c	۱۶/۴۹c	۲۲/۹۲d	۸/۷۲c	لجن ۳۰ T/ha
۲/۱۲b	۳/۰۳b	۱۷/۹۴a	۲۵/۵۶a	۱۱/۸۶b	بدون کود و لجن
۲/۷۷a	۳/۷۲a	۱۶/۷۸cb	۲۲/۵۷c	۱۶/۷۹a	توصیه کودی
۱/۹۱c	۲/۷۰c	۱۷/۹۱a	۲۵/۲۵a	۱۰/۸۹c	بدون کود و لجن ۱۰ T/ha
۱/۸۵c	۲/۵۵c	۱۷/۲۵b	۲۳/۸۰b	۱۰/۹۴bc	لجن ۲۰ T/ha
۱/۷۵c	۲/۳۵d	۱۶/۴۱c	۲۲/۱۱c	۱۰/۷۸c	لجن ۳۰ T/ha
۲/۰۳b	۲/۹۲b	۱۸/۱۲a	۲۶/۱۲a	۱۱/۲۴b	بدون کود و لجن
۲/۵۵a	۳/۴۴a	۱۷/۰۰b	۲۲/۹۹c	۱۵/۱۵a	توصیه کودی
۱/۸۸bc	۲/۶۴c	۱۶/۹۴b	۲۳/۸۷b	۱۱/۱۵b	بدون کود و لجن ۱۰ T/ha
۱/۷۲cd	۲/۳۸d	۱۶/۴۸bc	۲۲/۸۵cd	۱۰/۵۰bc	لجن ۲۰ T/ha
۱/۶۱d	۲/۱۹d	۱۶/۱۸c	۲۲/۰۴d	۱۰/۰۵c	لجن ۳۰ T/ha

اعداد با حروف مشابه در هر ستون، از نظر آماری با آزمون توکی و در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتایج نشان داد با افزایش سطوح لجن فاضلاب از مقدار کارایی مصرف بر حسب زیست توده و عملکرد دانه کاسته شد. همچنین این شاخص در اثر تیمارهای تلقیح نیز کاهش یافت. کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن در واقع نشان‌دهنده میزان استفاده بهینه گیاه از مقدار عنصر غذایی جذب شده توسط ریشه‌های آن گیاه می‌باشد. با توجه به رابطه عکس بین مقدار نیتروژن جذب شده زیست توده با کارایی مصرف نیتروژن (Asadi *et al.*, 2013)، بنابراین صرف جذب مقدار معینی از یک عنصر غذایی نمی‌تواند معیاری جهت تعیین میزان تأثیرگذاری یک یا چند تیمار باشد. در تیمار تلقیح + مصرف لجن فاضلاب علاوه بر بالابودن مقدار نیتروژن جذب شده از خاک نسبت به سایر ترکیب‌های تیماری، شرایط به گونه‌ای بوده که گیاه توانسته است، استفاده بهتری از نیتروژن جذب شده داشته

نتایج نشان داد با افزایش سطوح لجن فاضلاب از مقدار کارایی مصرف بر حسب زیست توده و عملکرد دانه کاسته شد. همچنین این شاخص در اثر تیمارهای تلقیح نیز کاهش یافت. کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن در واقع نشان‌دهنده میزان استفاده بهینه گیاه از مقدار عنصر غذایی جذب شده توسط ریشه‌های آن گیاه می‌باشد. با توجه به رابطه عکس بین مقدار نیتروژن جذب شده زیست توده با کارایی مصرف نیتروژن

شده است که این کاهش احتمالاً به دلیل از دست رفتن نیتروژن به صورت‌های مختلف می‌باشد (MirzaShahi & Hosseinpour, 2014).

۴. نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، از نتایج این آزمایش چنین برمی‌آید که با توجه به این‌که اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک و لینولنیک از اسیدهای چرب مهم در کیفیت روغن می‌باشند، با افزایش سطوح لجن فاضلاب مقدار آن‌ها افزایش داشته و در بررسی اثرات تلقیح با باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم نیز هم‌چون لجن فاضلاب مشخص شد که تلقیح توانسته است اثر مثبتی بر این اسیدهای چرب داشته باشد. هم‌چنین استفاده از لجن فاضلاب که دارای مقدار نیتروژن بالایی (در این آزمایش ۲/۴۳ درصد) است می‌تواند جایگزینی برای کودهای نیتروژنه باشد و می‌باید با توجه به آزمون خاک مقدار مورد نیاز محصول زراعی را تعیین و در اختیار گیاه قرار داد. البته باید در استفاده از لجن فاضلاب ملاحظات زیست‌محیطی آن را که وجود عناصر فلزات سنگین و میکروبه‌های موجود در آن هست را به‌طور جدی بررسی کرد. برای از بین بردن میکروبه‌های موجود در فاضلاب از روش‌های مختلف از جمله استفاده از فناوری ازن به دلیل خاصیت گندزدایی آن استفاده می‌شود. هم‌چنین رعایت محدودیت‌های استفاده از لجن در محصولاتتی که به‌طور مستقیم در تماس با آن هستند از خطرات احتمالی، تا حد مناسبی جلوگیری کرد. هم‌چنین برای تصفیه و جداسازی فلزات سنگین نیز می‌تواند از روش‌هایی مانند رسوب‌دهی شیمیایی، انعقاد لخته‌سازی، شناورسازی، تبادل یونی، تصفیه الکتروشیمیایی، فیلتراسیون غشایی، جذب سطحی، نانوذرات مغناطیسی اکسیدهای آهن و ... استفاده کرد که البته کاربرد هر کدام از این روش‌ها دارای پیچیدگی و نیاز به هزینه دارد.

باشد. چنین می‌توان عنوان کرد که افزایش مقدار نیتروژن در دسترس که از طریق لجن فاضلاب و هم‌چنین باکتری‌های محرک رشد در اختیار گیاه قرار گرفته، باعث مصرف لوکس در این گیاه شده و لزوماً با افزایش مقدار نیتروژن افزایش عملکرد به همان نسبت نبوده است. Uribelarrea et al. (2007) نیز گزارش کردند که با افزایش سطوح نیتروژن، کارایی فیزیولوژیک مصرف نیتروژن در ذرت کاهش پیدا می‌کند.

کارایی بهره‌وری (زراعی) بر حسب زیست‌توده و عملکرد دانه

اثر تیمارهای لجن فاضلاب و تلقیح بر شاخص‌های کارایی بهره‌وری بر حسب زیست‌توده و عملکرد دانه در سطح یک درصد ($P \leq 0.01$) معنی‌دار شد (جدول ۷)، به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار این شاخص بر حسب عملکرد دانه و زیست‌توده از تیمار توصیه کودی و ازتوباکتر به‌ترتیب با مقادیر ۲/۷۷ و ۳/۷۲ گرم عملکرد به‌ازای گرم نیتروژن جذب‌شده به‌دست آمد که به‌ترتیب افزایش ۲۱ و ۱۸ درصدی را نشان داد (جدول ۶). استفاده از کود نیتروژنه به مقدار مناسب و در اختیار قراردادن به موقع آن به‌همراه تلقیح توانست اثر بیش‌تری بر این شاخص داشته باشد. البته با افزایش سطوح لجن فاضلاب از مقدار این شاخص کاسته شد. با توجه به قانون بازده نزولی در مورد مصرف عناصر غذایی، مبنی بر این‌که واحدهای اولیه کود مصرفی، تأثیر بیش‌تری بر عملکرد دارند، هر قدر مصرف نیتروژن افزایش یابد کارایی استفاده از آن کاهش می‌یابد (Keerthi et al., 2017). Javadi et al. (2018) نشان دادند، با افزایش سطوح نیتروژن، کارایی زراعی نیتروژن بر اساس دانه کاهش معنی‌داری نشان داد. کاهش میزان کارایی به‌کارگیری نیتروژن با افزایش میزان کود مصرفی از ۱۳۶ به ۱۹۵ کیلوگرم در هکتار در کلزا در برخی مطالعات گزارش

- V., Stalin, P., Muthukrishnan, P., Ravi, V., Babu, M., Simbahan, G. C., & dvientto, M. A. A., (2003). Soil fertility and indigenous nutrient supply in irrigated rice domains of Asia. *Agronomy Journal*, 95, 913-922.
- Ebrahimghochi, Z., Mohsenabadi, GH., Ehteshami, S. R., & Forghani, A. (2014). Integrated application of different Nitrogen sources on yield and Nitrogen uptake in forage corn (*Zea mays* L.) in Rasht region. *Plant Production Technology*, 15(2), 95-107. (In Persian).
- Enjalbert, J. N., Zheng, S., Johnson, J. J., Mullen, J. L., Byrne, P. F., & McKay, J. K. (2013). Brassicaceae germplasm diversity for agronomic and seed quality traits under drought stress. *Industrial Crops and Products*, 47, 176-185. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.02.037>
- Fadul, O. (2014). Fatty Acid Content of Seed at Different Development Stages in Canola on Different Soil Types with Low Organic Matter. *Plant Production Science*, 17(3), 253-259.
- Florio, A., Pommier, T., Gervais, J., Bérard, A., & Le Roux, X. (2017). Soil C and N statuses determine the effect of maize inoculation by plant growth-promoting rhizobacteria on nitrifying and denitrifying communities. *Scientific Reports*, 7(8411), 1-12. DOI: 10.1038/s41598-017-08589-4.
- Gan, Y., Malhi, S. S., Brandt, S., Katema-Mupondwa, F., & Stevenson, C. (2008). Nitrogen use efficiency and n uptake of juncea canola under diverse environments. *Agronomy Journal*, 100(2), 285-295.
- Giambalvo, D., Ruisi, P. Di., Miceli, G., Frenda, A.S., & Amato, G. (2010). Nitrogen use efficiency and nitrogen fertilizer recovery of durum wheat genotypes as affected by interspecific competition. *Agronomy Journal*, 102, 707-715
- Habibi, Maryam., Majidian, M., & Rabiei, M. (2014). Effects of Elements on Zinc and Sulfur on Grain Yield and Fatty Acid Composition of Canola Oil (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Production Agriculture*, 16(1), 69-84. (In Persian).
- Javadi, H., Rezvani Moghaddam, P., Rashed Mohassel, M., & Seghat al-Islam, M. (2018). Effect of different levels of nitrogen and green manure on yield and nitrogen use efficiency in purslane. *Journal of Plant Production Agriculture*, 20(2), 453 - 465. (In Persian).
- Keerthi, P., Pannu, R.K., Dhaka, A.K., Daniel, J., & Yogesh, A. (2017). Yield, nitrogen uptake and nutrient use efficiency in Indian mustard (*Brassica juncea* L.) as effected by date of sowing and nitrogen levels in Western Haryana, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(4), 1168-1177. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.604.143
- ۵. تشکر و قدردانی**
- از دانشگاه پیام نور بابت تأمین بخشی از هزینه های این پژوهش، تشکر و قدردانی می گردد.
- ۶. تعارض منافع**
- هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.
- ۷. منابع**
- Ahmad. A. G., Orabi, S., & Gaballah, A. (2010). Effect of bio-N-P fertilizer on the growth, yield and some biochemical component of two sunflower cultivars. *International Journal of Academic Research*. 4(2): 271-277.
- AOAC. (1990). Method 988.05. Helrich K. (ed.). Official methods of analysis (15th ed.). The Association of Official Analytical Chemists Inc.
- Asadi, Gh., Momen, A., Noorzadeh Namaghi, M., & Khorramdel, S. (2013). Effect of Different Levels of Organic and Chemical Fertilizers on Yield and Nitrogen Efficiency Indicators in Pistachio (*Plantago ovata* Forsk.). *Journal of Agricultural Ecology*, 5(4) 373 - 382. (In Persian).
- Bingham, I. J., Karley, A. J., White, P. J., Thomas, W. T. B., & Russell, J. R. (2012). Analysis of improvements in nitrogen use efficiency associated with 75 years of spring barley breeding. *European Journal of Agronomy*, 42, 49- 58.
- Brechenmacher, L., Kim, M., Benitez, M., Li, M., Joshi, T., Calla, B., Lee, M. P., Libault, M., Vodkin, L. O., Xu, D., Lee, S., Clough, S., & Stancey, G. (2008). Transcription profiling of soybean nodulation by *Bradyrhizobium japonicum*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 21, 631-645. <https://doi.org/10.1094/MPMI-21-5-0631>.
- Dabighi, Kh., Fateh. E., & Aynehband, A. (2016). The Study of Nitrogen Efficiency Indices of Canola (*Brassica napus* L.) under Different Green Manure Crops and Nitrogen Sources. *Iranian Journal of Crop Research*, 15(2), 413-424. (In Persian).
- Dilsat, B., Konuskan, Mehmet, A., & Abdullah, O. (2019). Physicochemical properties of cold pressed sunflower, peanut, rapeseed, mustard and olive oils grown in the Eastern Mediterranean region. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26, 340 - 344. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.04.005>
- Dobermann, A., Witt, C., Abdulrachman, S., Gines, H.C., Nagarajan, R., Son, T. T., Tan, P. C., Wong, G. H., Chien, N.V., Thoma, V. T. K., Phung, C.

- Khajehpour, M. (2005). *Industrial plants*. Isfahan University Jihad Publications. Isfahan, Iran (In Persian).
- Khalid, U., Sarfaraz, Kh., Said, Gh., Muhammad, U. K., Niamatullah, K. M., Anwar, K., & Shad Khan, Kh. (2012). Sewage Sludge: An Important Biological Resource for Sustainable Agriculture and Its Environmental Implications. *American Journal of Plant Sciences*, 3, 1708-1721.
http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2012.312209
- Kucheki, A., Nasiri Mahallati, M., Moradi, R., & Alizadeh, I. (2015). Effect of different levels of nitrogen on yield and nitrogen use efficiency in mixed maize and cotton cultivation. *Journal of Agricultural Research*, 13(1), 1-13. (In Persian).
- Koutroubas, S.D., Antoniadis, V., Fotiadis, S., & Damalas, C.A. (2014). Growth, grain yield and nitrogen use efficiency of Mediterranean wheat in soils amended with municipal sewage sludge. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 100, 227-243.
- Latar, A.M., Kumar, O., Singh, S.K., & Gupta, A. (2014). Direct and residual effect of sewage sludge on yield, heavy metals content and soil fertility under rice-wheat system. *Ecological Engineering*, 69, 17-24. doi:10.1016/j.ecoleng.2014.03.066.
- Silva, L. R., Pereira, M. J., Azevedo, J., Mulas, R., Velazquez, E., González-Andrés, F., ... & Andrade, P. B. (2013). Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* enhances the organic and fatty acids content of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seeds. *Food chemistry*, 141(4), 3636-3648.
- Mirzashahi, K., & Hosseinpour, M. (2014). Nitrogen fertilizer management on grain yield and nitrogen efficiency indices in maize. *Journal of Agriculture (Research & Construction)*, 102, 31 - 40. (In Persian).
- Mohammadi, KH., Ghalavand, A., Aghaalikhani, M., Heidari, G., Shahmoradi, B., & Sohrabi, Y. (2011). Effect of different methods of crop rotation and fertilization on canola traits and soil microbial activity. *Australian Journal of Crop Science*, 5(10), 1261-1268.
- Nosheen, A., Bano, A., & Ullah, F. (2013). The role of plant growth promoting rhizobacteria on oil yield and biodiesel production of Canola (*Brassica napus* L.). *Energy Sources*, 35(A), 1574-1581. DOI: 10.1080/15567036.2010.529561
- Oliveira, A. P., Silva, L. R., Andrade, P. B., Valentao, P., Silva, B. M., Gonçalves, R. F., Pereira, J. A., & Guedes, De. Pinho, P. (2010). Further insight into the latex metabolite profile of *Ficus carica*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 10855-10863. https://doi.org/10.1021/jf1031185
- Poulsen, P., Hasse, B., Jakob, M., Jesper, L., & Andreas, de. N. (2013). Effects of fertilization with urban and agricultural organic wastes in a field trial e Waste imprint on soil microbial activity. *Soil Biology & Biochemistry*, 57(2013), 794-802. doi:10.1016/j.soilbio.2012.02.031.
- Togas, R., Yadav, L. R., Choudhary, S. L., & Shisuvinahalli, G. V. (2017). Effect of *Azotobacter* on growth, yield and quality of pearl millet. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(4), 889-891.
- Redondo-Cuevas, L., Castellano, G., Torrens, F., & Raikos, V. (2018). Revealing the relationship between vegetable oil composition and oxidative stability: A multifactorial approach. *Journal of Food Composition and Analysis*, 66, 221-229.
- Rezvani Moghaddam, P., Amiri, M. Be., & Sayyedi, S. M. (2014). Effect of Organic and Biological Fertilizers on Yield, Oil Content and Fatty Acid Composition of Sesame Oil (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 16(3), 209 - 221. (In Persian).
- Rochester, I. J., Peoples, M. B., & Constable, G. A. (2001). Estimation of the N fertiliser requirement of cotton grown after legume crops. *Field Crops Research*, 70, 43-53. Doi: 10.1016/s0378-4290(00)00150-7
- Sharafi, Y., Majidi, M. M., Goli, S. A. H., & Rashidi, F. (2015). Oil Content and Fatty Acids Composition in Brassica Species. *International Journal of Food Properties*, 18, 2145-2154. DOI: 10.1080/10942912.2014.968284.
- Seyed Sharifi, R. (2016). Application of biofertilizers and zinc increases yield, nodulation and unsaturated fatty acids of soybean. *Zemdirbyste-Agriculture*, 103(3), 251-258. DOI: 10.13080/z-a.2016.103.032
- Shakeri, E., Amini Dehghi, M., Tabatabai, S., & Modarres Sanavi, S. (2012). The Effect of Nitrogen Fertilizer and Biofertilizer Containing *Azotobacter* and *Azospirillum* on Grain and Fatty Acids Yield of Sesame Cultivars in Yazd. *Journal of Crop Research*, 10(4), 742-750. (In Persian).
- Shehata, M. M., & EL-Khawas, S. A. (2003). Effect of two biofertilizers on growth parameters, yield characters, nitrogenous

- components, nucleic acids content, minerals, oil content, protein profiles and DNA banding pattern of sunflower yield. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 6(14), 1257–1268. DOI: 10.3923/pjbs.2003.1257.1268.
- Shoghi-Kalkhoran, S., Ghalavand, A., ModarresSanavy, S.A.M. Mokhtassi- Bidgoli, A., & Akbari, P. (2013). Integrated Fertilization Systems Enhance Quality and Yield of Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Agriculture Sciences and Technology*, 15(2013), 1343–1352.
- Sorgona, A., Abenavoli, M. R., Gringeri, P. G., & Cacco, G. (2006). A comparison of nitrogen use efficiency definitions in citrus rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 109, 389-393. Doi: 10.1016/j.scienta.2006.06.001
- Uribelarrea, M., Moose, S. P., & Below, F. E. (2007). Divergent selection for grain protein affects nitrogen use in maize hybrids. *Field Crops Research*, 100, 82–90. Doi: 10.1016/j.fcr.2006.05.008
- Koutroubas, S. D., Antoniadis, V., Damalas, C. A., & Fotiadis, S. (2020). Sewage sludge influences nitrogen uptake, translocation, and use efficiency in sunflower. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 1912-1922. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00262-6>
- Vatandust, H., Seyed Sharifi, R., Farzaneh, S., & Hassan Panah, D. (2017). Seed filling and composition of some rapeseed (*Brassica napus* L.) fatty acids using biofertilizers and cut irrigation. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 72(4), 23–37.(In Persian).
- Woźniak, E., Waszkowska, E., Zimny, T., Sowa, S., & Twardowski, T. (2019). The rapeseed potential in Poland and Germany in the context of production, legislation, and intellectual property rights. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1423. 5(November 2019). <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01423>.
- Zhang, D., Li, W., Xin, C., Tang, W., Eneji, A.E., & Dong, H. (2012). Lint yield and nitrogen use efficiency of field-grown cotton vary with soil salinity and nitrogen application rate. *Field Crops Research*, 138, 63–70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.013>
- Zhang, Q., Hu, J., Lee, D-J., Chang, Y., & Lee, Y-J. (2017). Sludge Treatment: Current Research Trends, *Bioresource Technology*, 243, 1159–1172. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.070>