به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۳ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۰
صفحه‌های ۵۰۲-۴۸۵

مقاله پژوهشی:

اثر کاربرد لجن‌فاضلاب شهری، ازتوباکتر و آزوسپریلیوم بر برخی اسیدهای چرب و شاخص‌های نیتروژن درکلزا

مهدی طاهری اصغری*
استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۲۴

چکیده

به‌منظور بررسی اثر لجن‌فاضلاب شهری و باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم بر برخی شاخص‌های نیتروژن و ترکیب اسیدهای چرب کلزا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، طی سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷ -۱۳۹۶ 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 لجن‌فاضلاب آبگیری‌شده شهری (شاهد، کود شیمیایی نیتروژن، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن لجن‌فاضلاب در هکتار) بود. نتایج نشان داد اثر برهم کنش تیمارهای تلقیح و لجن‌فاضلاب بر اسیدهای چرب ایکوزانوئیک، پالمیتیک و آراشیدونیک در سطح یک درصد و اسید استئاریک در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. تیمار ازتوباکتر و ۳۰ تن لجن‌فاضلاب (۲۶۸۰ کیلوگرم در هکتار) بیش‌ترین عملکرد دانه را به‌خود 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 لجن‌فاضلاب به‌ترتیب با مقادیر ۶۱/۲۳ و ۱۸/۴۱ درصد به‌دست آمد. کارایی جذب نیتروژن در تیمار توصیه کودی همراه با ازتوباکتر (۱۶/۷۹ درصد) دارای بیش‌ترین مقدار بود. اثر متقابل تیمارهای تلقیح و لجن‌فاضلاب بر هر دو صفت کارایی مصرف و کارایی بهره‌وری (زراعی) بر حسب زیست‌توده و عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج بیان‌گر این است که استفاده از کود نیتروژنه به مقدار مناسب و در اختیار قراردادن به‌موقع آن به‌همراه تلقیح، توانست اثر بیش‌تری بر شاخص کارایی بهره‌وری (زراعی) داشته باشد. می‌توان گفت با استفاده محاسبه‌شده از لجن‌فاضلاب، البته با در نظرگرفتن 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, 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%. Aztobacter 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, erucic acid, linoleic acid, oleic acid, saturated fatty acids.

* نویسنده مسئول
Email: dr.taheri@lavasan.tpnu.ac.ir

۱. مقدمه

کلزا محصول اساسی و مهمی است که در مناطق مختلف جهان به‌عنوان روغن خوراکی، بیودیزل، روان‌کننده و خوراک استفاده می‌شود و یکی از محبوب‌ترین محصولات زراعی روغنی در اروپاست (۶۳ درصد از تولید دانه‌های روغنی در سال ۲۰۱۷) (Wozniak *et al.*, 2019). با افزایش صنعتی‌شدن زندگی انسان و افزایش زباله‌های گوناگون شهری و صنعتی، آلودگی خاک‌ها به منابع گوناگون آلودگی از جمله فلزات سنگین بیش‌تر شده است که این مسأله می‌تواند تهدید جدی برای سلامت و محیط زیست باشد. با وجود این آلودگی‌ها در مزارع، استفاده از لجن‌فاضلاب حاصل از تصفیه‌خانه‌های شهرهای صنعتی و بزرگ، که منبع بسیار غنی از مواد غذایی هستند موردتوجه قرار گرفته است. لجن‌فاضلاب نوعی ماده نیمه‌جامد از فاضلاب (Zhang *et al.*, 2017) و به‌عنوان ماده زیستی جامد[1] از فرآورده‌های فاضلاب شهری و صنعتی است و منبع غنی از مواد مغذی آلی می‌باشد (Khalid Usman *et al.*, 2012). Poulsen *et al.* (2013) بیان کردند که استفاده از زباله‌های شهری آلی، برای یک دوره طولانی در یک سایت خاص امکان‌پذیر است، بدون این‌که بهره‌وری خاک را تا زمانی که دستورالعمل‌های اکوتوکسیکولوژیک[2] برای محتوای فلزات سنگین رعایت شود را به خطر بیاندازد.

اگرچه به‌کارگیری مواد آلی به‌عنوان منبع تأمین کننده نیتروژن در زراعت‌ها، با نیاز گیاهان همزمانی کافی ندارد، اما پژوهش‌گران زیادی بر نقش مواد آلی، در افزایش کارایی استفاده از نیتروژن تأکید کرده‌اند (Dobermann *et al.*, 2003). یکی از مشخصه‌های کیفیت در کلزا ترکیب اسیدهای چرب آن است. میزان بالاتر اسیدهای چرب اشباع‌نشده و غیراشباع، باعث افزایش اکسیداسیون می‌شود که بر پایداری روغن تأثیر می‌گذارد. پایداری روغن یکی از مهم‌ترین 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 آزوسپریلیوم مشاهده شد. دو نوع اسید چرب اشباع‌نشده لینولنیک و لینولئیک به‌عنوان اسیدهای چرب اساسی و مهم در نظر گرفته می‌شوند، به‌دلیل این‌که بدن انسان آنزیم‌های لازم برای سنتز آن‌ها را ندارد و می‌بایست از طریق رژیم غذایی تأمین شوند (Dilsat *et al.*, 2019). افزایش میزان اسیدهای چرب بر سیالیت غشای سلولی تأثیر می‌گذارد و به‌طور مستقیم با تحمل گیاهان در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده مرتبط است (Brechenmacher *et al.*, 2008). به جهت تأمین نیاز غذایی گیاه کلزا به‌ویژه نیتروژن علاوه بر استفاده از مواد آلی هم‌چون لجن‌فاضلاب، می‌توان از باکتری‌های محرک رشد[3] استفاده کرد. برای استفاده مؤثر از باکتری‌ها، می‌توان آن‌ها را با بذر تلقیح کرد. Florio *et al.* (2017) تجزیه و تحلیل کردند که چگونه توسعه فعالیت باکتری‌های محرک رشد، می‌تواند بر فعالیت و فراوانی نیتروژن زدایی در خاک ریزوسفری با تغییر در دسترس‌بودن نسبت کربن و نیتروژن تأثیرگذار باشد. Luis *et al.* (2013) در مطالعه خود مقادیر بالاتری از اسیدهای چرب موجود در دانه‌های تلقیح‌شده را نشان دادند. آن‌ها بیان کردند که میزان بالای اسید لینولئیک در هر دو نمونه (۱۲ درصد در نمونه‌های شاهد و ۱۵درصد در نمونه‌های تلقیح‌شده) قابل پیش‌بینی بود، زیرا این اسید چرب یکی از اسیدهای چرب فراوان در غشای سلولی گیاهان است.

استفاده زیاد از کودهای شیمیایی نیتروژن، باعث کاهش

۱. Biosolids

۲. Ecotoxicological guideline

۳. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria

میزان کارایی مصرف نیتروژن شده که علت را می‌توان در 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 قابل‌دسترس در خاک، چه مقدار آن را جذب کرده برای تولید محصول اقتصادی مانند دانه با چه راندمانی مصرف می کند (Sorgona *et al*., 2006). با وجود آلودگی‌های زیست‌محیطی که به‌دلیل 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. لجن‌فاضلاب 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 مطالعات دیگری برقرار شده است (Giambalvo *et al*., 2010). هم‌چنین (Koutroubas *et al*., 2014) دریافتند که با افزایش میزان لجن‌فاضلاب 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 لجن‌فاضلاب شهری و باکتری‌های محرک رشد برای دست‌یابی به کیفیت مناسب در زراعت کلزا می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ 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 ۵۱/٤ درجه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۰٦۲ متر) اجرا شد. عوامل آزمایش شامل تلقیح بذر کلزا (بدون تلقیح، تلقیح با ازتوباکتر، تلقیح با آزوسپریلیوم) و استفاده از لجن‌فاضلاب آبگیری‌شده (شاهد، کود شیمیایی نیتروژن، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن لجن‌فاضلاب در هکتار) بود. برخی ویژگی‌های خاک محل آزمایش و لجن‌فاضلاب مورداستفاده 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.

جدول ۱. برخی خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه

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

جدول ۲. برخی خصوصیات شیمیایی لجن‌فاضلاب شهری مورد استفاده در پژوهش

ویژگی	EC (رقت یک به صد)	Ph (رقت یک به صد)	OC	N	P	K	Fe	Pb	Cd
واحد	s/cmμ	-	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppb)
نتیجه	۳۹۲	٦/۵۵	۲٤/۹٤	۲/٤۳	۱/۲۵	۷۷۰/٦	۷۱۲۵	۱۰۵	۸۵/۳

جدول ۳. میزان بارندگی (میلی‌متر بارش) و دما (درجه سانتی‌گراد) طی فصول کشت

بارندگی و دما در ایستگاه ورامین (شهرری) تهران										
ماه		مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
سال زراعی۹٤-۹۵	بارندگی	۷/۸	٤۷/۳	٤٦/۱	۳۰/٦	۷/۸	۸	٤۰/۸	۱۰/٤	۰
	دما	۲۸	۱۷	۹	۳	۹	۱۳	۱۰	۱۷	۲٦
سال زراعی ۹۵-۹٦	بارندگی	۰	۸/٤	۱۷/٤	٤٦/٦	۵۳/٦	۱٦/٤	۳۸/٤	۳۹/٤	۰
	دما	۲۸	۱۷	۵	۳	٦	۹	۱۰	۲۱	۲۵

پس از شخم‌زدن و نرم کردن خاک مزرعه، برحسب نقشه آزمایش کودهای پایه و لجن‌فاضلاب اضافه و پس از مخلوط‌کردن با خاک، عملیات کاشت در نیمه اول مهرماه هر دو سال (سال اول ۱۰ مهرماه و سال دوم ۱٤ مهرماه) با استفاده از رقم اکاپی[1] کلزا (تهیه‌شده از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج) در کرت‌هایی به ابعاد ۱/۵×۵ متر انجام شد. شش ردیف کاشت با فاصله ۲۵ سانتی‌متر ایجاد و بذرها در عمق حدود دو سانتی‌متر کشت شدند. فاصله بین کرت‌های آزمایش ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین تکرارها یک متر بود. بذور رقم اکاپی کلزا با باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم که از بخش بیولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج با جمعیت ۸×۱۰^{۷} (CFU)[2] در هر گرم مایه تلقیح تهیه شده بود، تلقیح شدند. برای تلقیح، ابتدا بذور به‌همراه محلول شکر ۲۰ درصد درون کیسه پلی‌اتیلنی ریخته شده و به‌شدت تکان داده شد تا سطوح بذور کاملاً چسبناک شوند. سپس به جهت این‌که کشت به‌صورت دستی و پر پشت می‌بایست انجام می‌شد، مقدار حدود ۱۵ گرم از هر دو مایه تلقیح به‌صورت جداگانه برای حدود ۳۰۰ گرم بذر استفاده شد و پس از ٤۵ ثانیه تکان‌دادن و اطمینان از چسبیدن یکنواخت مایهٔ تلقیح به آن‌ها، بذرهای آغشته به مایه تلقیح روی ورقه آلومینیومی تمیز در زیر سایه پهن شد تا خشک شدند. سپس به‌سرعت نسبت به کشت اقدام شد.

کودهای مورد لزوم (کود سولفات‌پتاسیم، سوپرفسفات‌تریپل و اوره به‌ترتیب با مقادیر ۸۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) مطابق با آزمون خاک، مورداستفاده قرار گرفت. کودهای سولفات‌پتاسیم و سوپرفسفات‌تریپل به‌همراه یک‌سوم کود اوره در زمان آماده‌سازی زمین، مصرف شد. یک‌سوم بعدی کود اوره در زمان ساقه‌رفتن و یک‌سوم آخر هم در زمان شروع پرشدن دانه در اختیار گیاه قرار گرفت. در مرحله سه تا چهار برگی عملیات تنک‌کردن انجام و فاصله

۱. Okapi

۲. Colony Forming Unit

روی ردیف، شش سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری نیز پس از آبیاری اولیه و آبیاری تکمیلی، برای داشتن سطح سبز یکنواخت در مواقع موردنیاز با دور آبیاری تقریباً هر هشت 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 ٤) کارایی استفاده (بهره‌وری) نیتروژن برحسب عملکرد زیست‌توده:

$$NUEb = B / Ns.$$

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

$$NUEg = Gw / Ns$$

تعیین و تشخیص اسیدهای چرب براساس پروتکل AOAC (1990) محاسبه شد. در سال دوم اجرای آزمایش، 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 ٤). تیمار ازتوباکتر و ۳۰ تن لجن‌فاضلاب (۲٦۸۰/۰۰ 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 لجن‌فاضلاب (۲٤۷۳/۳۳ کیلوگرم بر هکتار) نیز در مقایسه با شاهد، ۱۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ٦). Ramdev *et al.* (2017) در مطالعات خود بیان کردند که تلقیح بذر ارزن مرواریدی[1] با ازتوباکتر باعث افزایش معنی‌داری در عملکرد، در مقابل عدم تلقیح شد. Latar *et al.* (2014) گزارش کردند که کاربرد لجن‌فاضلاب در مقادیر ۱۰ تا ٤۰ 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

1. *Pennisetum glaucum* L.

خالص می‌شود) و هم‌چنین تولید هورمون‌های محرک رشد توسط باکتری‌ها و در نهایت افزایش عملکرد دانسته‌اند. افزایش در دسترس‌بودن نیتروژن از طریق تثبیت زیستی در ریزوسفر توسط باکتری‌های محرک رشد و از طرفی وجود مقادیر بالای این عنصر و سایر عناصر غذایی از جمله فسفر در لجن‌فاضلاب و در اختیار قرارگرفتن تدریجی این مواد، می‌تواند 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 لجن‌فاضلاب بر اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک، لینولنیک و اروسیک در سطح یک درصد و اثر برهم‌کنش تیمارهای تلقیح و لجن‌فاضلاب بر اسیدهای چرب ایکوزانوئیک، پالمیتیک و آراشیدونیک در سطح یک درصد و اسید استئاریک در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ٤).

۳. ۲. اسیدهای چرب غیر اشباع

اسید اولئیک

اثر تیمارهای لجن‌فاضلاب بر اسید اولئیک نشان داد که بیش‌ترین مقدار آن از تیمار ۳۰ تن لجن‌فاضلاب با مقدار ٦١/٢٣ درصد، به‌دست آمد (شکل ۱) و هم‌چنین اثر تیمارهای تلقیح نیز نشان‌دهنده بالاتربودن مقدار تلقیح با ازتوباکتر (٦١/٢٣ درصد) بود (جدول ۵ و شکل ۲). به‌طورکلی افزایش درصد اسید اولئیک نشان‌دهنده پایداری به دما و کیفیت روغن، جهت سرخ‌کردن مواد غذایی و نیز بالاتربودن درصد اسید چرب لینولئیک حاکی از بهبود ارزش روغن در تغذیه مستقیم می‌باشد (Khajehpour, 2005). اسید اولئیک به‌دلیل اثر بخشی آن در کاهش سطح کلسترول و تقویت در بیماری‌های 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 به‌ویژه تحت شرایط استفاده تلفیقی کود گاوی+ گرانوله می‌تواند ضمن افزایش عملکرد، باعث افزایش درصد اسید اولئیک و نیز کاهش میزان اسید لینولنیک و بهبود کیفیت روغن کنجد شد. Nosheen *et al.* (2013) در کلزا، گزارش کردند که باکتری آزوسپیریلیوم 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 به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. هم‌چنین Fadul (2014) نیز بیان کرد که عملکرد بذر، محتوای روغن دانه و درصد اسید اولئیک به‌طور معنی‌داری با افزایش مقدار ماده آلی در کانولا افزایش داشت. براساس نتایج این آزمایش می‌توان اظهار داشت که فراهمی هر چه بیش‌تر عناصر غذایی در خاک، ضمن افـزایش عملکرد روغن، احتمالاً با کاهش درصد اسید لینولنیک و نیز افزایش درصد اسید اولئیک منجر به بهبود ارزش کیفی روغن می‌شود.

اسید لینولئیک

اثر تیمار لجن‌فاضلاب بر اسید لینولئیک نشان داد بیش‌ترین مقدار آن از تیمار ۳۰ تن لجن‌فاضلاب (١٨/٤١ درصد) به‌دست آمد که با تیمار ۲۰ تن لجن‌فاضلاب 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 ٤).

حضور باکتری‌های محرک رشد می‌تواند از طریق افزایش نیتروژن قابل جذب گیاه باعث تداوم رشد گیاه شود و از طرفی وجود ماده آلی لجن‌فاضلاب و افزایش ماده آلی در خاک، می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت

آب‌گیری و فراهم‌بودن رطوبت و مواد غذایی بیش‌تر برای گیاه، سبب تداوم رشد شود. نتایج این بررسی نشان داد که ترکیب اسیدهای چرب کلزا تحت تأثیر عناصر غذایی قرار می‌گیرد و با توجه به این‌که کیفیت روغن‌های خوراکی به مقدار اسیدهای چرب غیراشباع، به‌ویژه اسیدهای لینولئیک و لینولنیک بستگی دارد و این اسیدها جزو اسیدهای چرب ضروری برای بدن انسان هستند، که باید از طریق رژیم غذایی تأمین شوند، این پژوهش توانسته است با افزایش اسیدهای چرب غیراشباع و افزایش عملکرد روغن، کیفیت روغن کلزا را بهبود بخشد.

جدول ٤. جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای لجن‌فاضلاب و تلقیح بر اسیدهای چرب دانه کلزا

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	اسید چرب اولئیک	اسید چرب لینولئیک	اسید چرب لینولنیک
سال (Year)	١	١٥٠٢٨٥٤/٤٤ ns	٠/٢٤٨٥**	٠/٤٦٣٦*	٣/٠٨٠٢**
تکرار	٢	١١٩٤٧/٧٧ ns	٠/٠٦١٢**	٠/١٤١٦ ns	٠/٣١١٢**
تلقیح (I)	٢	١٠٩٣٥٨٧/٧٧**	١/٠٠٤٧**	٠/٦١٠١**	٠/٢٥٣٨**
لجن‌فاضلاب (N)	٤	٢١٦١٥١٣/٨٨**	٠/٥١٢٣**	٠/٤٤٧٤**	٣/٧١٥٨**
I*N	٨	٥٣٢٤٨/٨٨**	٠/٠١٢١ns	٠/١١٧٩ ns	٠/٠٢٠٠ ns
Year * I	٢	١١٤١٤٧/٧٧**	٠/٠١٤٣ns	٠/٣١٧٥*	٠/١٢٨١**
Year * N	٤	١٦٥٩٢٩/٤٤**	٠/٠٠٤١ns	٠/٠٨٣٤ ns	٠/٢٠٣٥**
Year * I * N	٨	١٦١٤٧/٧٧ ns	٠/٠٠٢٧ns	٠/١٠٥٧ ns	٠/٠١٢٠ ns
error	٥٦	١١٦٥٩/٦٨	٠/٠١١١	٠/٠٩٩٦	٠/٠١١٢
CV		٥/١٨	٠/١٧	١/٧٢	٠/٥٥

*، ** و ns: معنی‌دار در سطح احتمال ٥ و ١ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

ادامه جدول ٤. جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای لجن‌فاضلاب و تلقیح بر اسیدهای چرب دانه کلزا

منابع تغییر	درجه آزادی	اسید چرب ایکوزانوئیک	اسید چرب اروسیک	اسید چرب پالمتیک	اسید چرب آراشیدونیک	اسید چرب استئاریک
سال (Year)	١	٠/٢٢٨٠**	٠/٠٠٣٦١**	٠/٢٩٨١**	٠/٠٣٤٨**	٠/١٦٩٠**
تکرار	٢	٠/٠٠٠٣ ns	٠/٠٠٢٩١**	٠/٠١٠٨**	٠/٠٠٠٨**	٠/٠٠٢٦**
تلقیح (I)	٢	٠/٠٠١١*	٠/٠٠٩٠**	٠/٠٢٢٢**	٠/٠٠٠٦**	٠/٠٠٠٧*
لجن‌فاضلاب (N)	٤	٠/٠١٢٠**	٠/٠٣٤٣**	٠/٠٧٢٧**	٠/٠٠٤٣**	٠/٠١١٥**
I*N	٨	٠/٠٠٠٩**	٠/٠٠٠٠٥١ ns	٠/٠٠٢٧**	٠/٠٠٠٢**	٠/٠٠٠٥*
Year * I	٢	٠/٠١١٢**	٠/٠٠٠٠١٣ ns	٠/٠٠٢٣ ns	٠/٠٠٠٠٣ ns	٠/٠٠١٢**
Year * N	٤	٠/٠٠٧١**	٠/٠٠٠٠٤٨ ns	٠/٠١١٨**	٠/٠٠١٧**	٠/٠١١٥**
Year * I * N	٨	٠/٠٠١٢**	٠/٠٠٠٠٢٣ ns	٠/٠٠٤٩**	٠/٠٠٠١**	٠/٠٠٠٧**
error	٥٦	٠/٠٠٠٢	٠/٠٠٠١٦	٠/٠٠٠٧	٠/٠٠٠٠٨	٠/٠٠٠٢

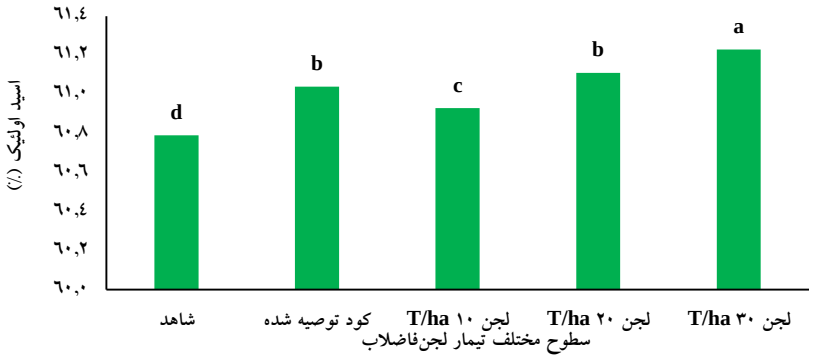
CV	۱/٤٦	۷/۰٤	۰/۵۹	۰/۹۱	۰/۷۰

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

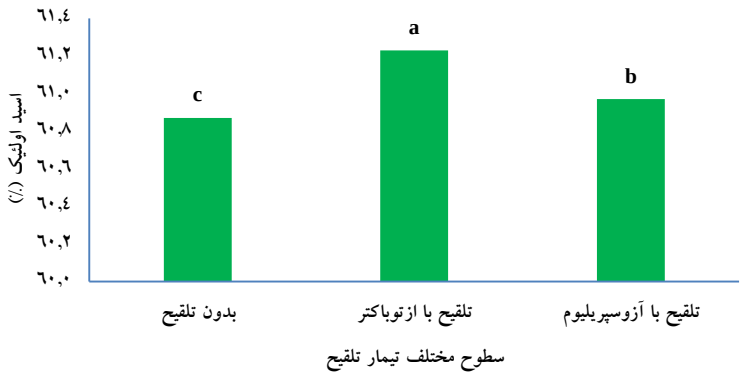
جدول۵. اثر تیمارهای تلقیح و لجن‌فاضلاب بر اسیدهای چرب کلزا

		درصد اسید چرب اولئیک (%)	درصد اسید چرب لینولئیک (%)	اسید چرب لینولنیک (%)	اسید چرب اروسیک (%)
سال	۱	٦۰/۹۷b	۱۸/۱۷b	۱۹/۲۰a	۰/۱۷b
	۲	٦۱/۰۷a	۱۸/۳۱a	۱۸/۸۳b	۰/۱۸a
تلقیح	بدون تلقیح	٦۰/۸۷c	۱۸/۰۸b	۱۸/۹۱b	۰/۲۰a
	ازتوباکتر	٦۱/۲۳a	۱۸/۳۷a	۱۹/۰۵a	۰/۱۷b
	آزوسپریلیوم	٦۰/۹۷b	۱۸/۲۷ab	۱۹/۰۸a	۰/۱۷b
لجن‌فاضلاب	بدون کود و لجن	٦۰/۷۹d	۱۸/۲۲ab	۱۸/۲۷d	۰/۲۳a
	توصیه کودی	٦۱/۰٤b	۱۸/۰۵b	۱۹/۰۰c	۰/۲۰b
	لجن ۱۰ T/ha	٦۰/۹۳c	۱۸/۱٤ab	۱۹/۰۹c	۰/۱۸c
	لجن ۲۰T/ha	٦۱/۱۱b	۱۸/۳۹a	۱۹/۲٦b	۰/۱۵d
	لجن ۳۰T/ha	٦۱/۲۳a	۱۸/٤۱a	۱۹/٤٦a	۰/۱۲e

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



شکل ۱. اثر سطوح مختلف تیمار لجن‌فاضلاب بردرصد اسید اولئیک

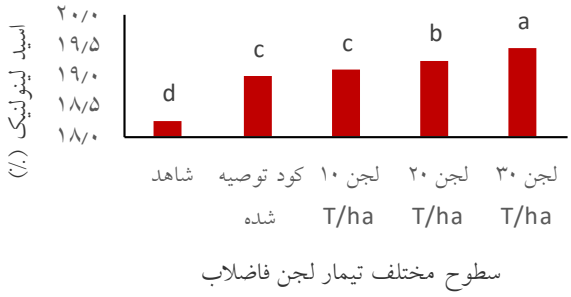


شکل ۲. اثر سطوح مختلف تیمار تلقیح بر اسید اولئیک

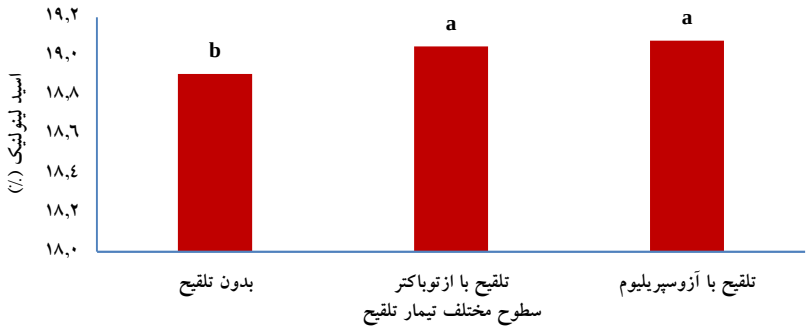
تلقیح بذور با باکتری‌های افزاینده رشد موجب کاهش معنی‌داری در اسیدهای چرب اشباع (اسید پالمتیک و استئاریک) و افزایش معنی‌داری در اسیدهای چرب غیراشباع (اسید لینولئیک و اولئیک) در مقایسه با عدم تلقیح باکتریایی (تیمار کنترل) شد. نتایج مشابهی توسط Shehata & EL-Khawas (2003) گزارش شده است. می‌توان گفت، میزان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

اسید لینولنیک

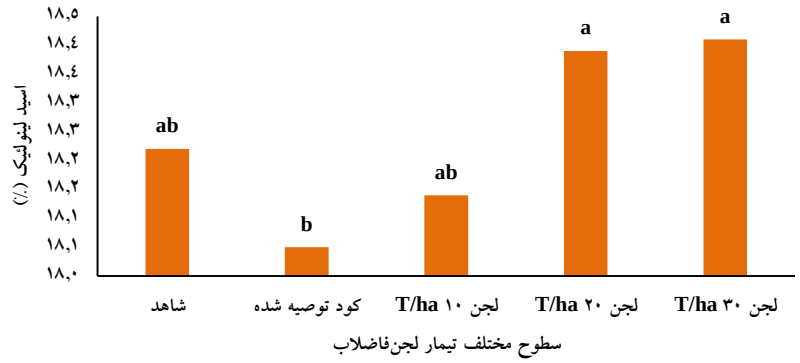
با بررسی جدول (۵) مشخص شد که استفاده از باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش اسید لینولنیک شد. تلقیح با آزوسپریلیوم با مقدار ۱۹/۰۸ درصد با تلقیح با ازتوباکتر (۱۹/۰۵ درصد) رتبه اول را داشته و در گروه آماری مشابه قرار گرفتند (جدول ۵ و شکل ٦). اثر تیمارهای لجن‌فاضلاب هم نشان داد تیمار ۲۰ و ۳۰ تن لجن‌فاضلاب در هکتار به‌ترتیب با مقادیر ۱۹/۲٦ و ۱۹/٤٦ درصد بیش‌ترین اسید لینولنیک را داشتند (جدول ۵). چنین استنباط می‌شود که بهبود شرایط محیطی در طی نمو دانه در اثر کاربرد لجن‌فاضلاب و باکتری‌های محرک رشد، عـاملی 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.



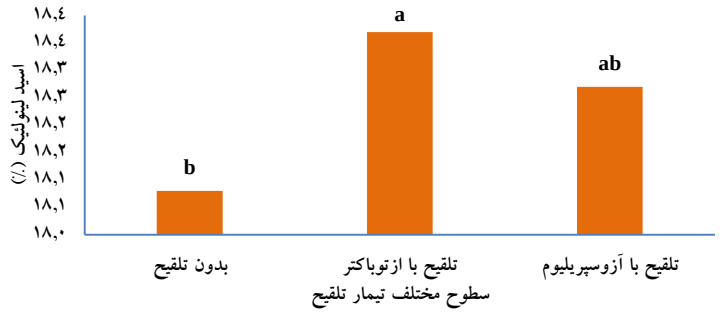
شکل ۳. اثر سطوح مختلف تیمار لجن‌فاضلاب بر درصد اسید لینولئیک



شکل٤. اثر سطوح مختلف تیمار تلقیح بر اسید لینولئیک



شکل٥. اثر سطوح مختلف تیمار لجن‌فاضلاب بر درصد اسید لینولنیک



شکل ٦. اثر سطوح مختلف تیمار تلقیح بر اسید لینولنیک

اسید ایکوزانوئیک

تیمار ۳۰ تن لجن‌فاضلاب و ازتوباکتر با مقدار ۱/۱۲ درصد و تیمار ۲۰ تن لجن‌فاضلاب و ازتوباکتر با مقدار ۱/۱۰ درصد، دارای مقدار مشابه همین تیمارها با تلقیح با آزوسپریلیوم بود (جدول ٦). البته مقدار عددی اسید ایکوزانوئیک در تیمارهای بدون تلقیح نسبت به تیمارهای تلقیح‌شده دارای مقدار کم‌تری بود. در بین تیمارهای شاهد، کود نیتروژنه و ۱۰ تن لجن‌فاضلاب که با ازتوباکتر تلقیح‌شده بودند تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. نتایج Shoghi-Kalkhoran *et al.* (2013) نشان داد که تلقیح بذور با

باکتری‌های افزاینده رشد موجب افزایش معنی‌داری در اسیدهای چرب غیراشباع (اسید لینولئیک و اولئیک) در مقایسه با عدم تلقیح (تیمار کنترل) شد. مواد آلی و فعالیت‌های میکروبی گزارش شده است که اثرات مثبتی بر ترکیب اسیدهای چرب و رشد فیزیولوژیکی محصولات زراعی دارند (Mohammadi *et al*., 2011).

اسید اروسیک

بررسی نتایج نشان داد که تیمار لجن‌فاضلاب باعث کاهش مقدار اسید اروسیک شد. به‌طوری که تیمار ۳۰ تن لجن‌فاضلاب (۰/۱۲ درصد) نسبت به تیمار شاهد بدون لجن (۰/۲۳ درصد) ٤٨ 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 مورداستفاده 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).

جدول ٦. اثر متقابل سطوح تلقیح و لجن‌فاضلاب بر اسیدهای چرب کلزا

		عملکرد دانه (kg/ha)	اسید چرب ایکوزانوئیک (%)	اسید چرب پالمتیک (%)	اسید چرب آراشیدونیک (%)	اسید چرب استئاریک (%)
بدون تلقیح	بدون کود و لجن	١٥٦٥c	١/٠٥ c	٤/٦٦ c	٠/٩٩ c	٢/٠١ b
	توصیه کودی	٢٠٥١ab	١/٠٦ b	٤/٨٢ a	١/٠٣ ab	٢/٠٦ a
	لجن ١٠ T/ha	١٦٦١c	١/٠٦ bc	٤/٨٣ a	١/٠٢ b	٢/٠٧ a
	لجن ٢٠T/ha	١٩٤٠b	١/٠٧ ab	٤/٧٣ b	١/٠٣ ab	٢/٠٧ a
	لجن ٣٠ T/ha	٢١٧٠a	١/٠٩ a	٤/٦٨ bc	١/٠٤ a	٢/٠٧ a
ازتوباکتر	بدون کود و لجن	١٦٦٠d	١/٠٥ b	٤/٦٣ c	٠/٩٩ c	٢/٠٠ b
	توصیه کودی	٢٥٨١ab	١/٠٥ b	٤/٧٨ a	١/٠٢ b	٢/٠٥ a
	لجن ١٠ T/ha	١٦٧٦c	١/٠٥ b	٤/٧٦ a	١/٠٢ b	٢/٠٧ a
	لجن ٢٠T/ha	٢٣٧٨b	١/١٠ a	٤/٦٨ b	١/٠٣ ab	٢/٠٧ a
	لجن ٣٠ T/ha	٢٦٨٠a	١/١٢ a	٤/٦٣ c	١/٠٤ a	٢/٠٧ a
آزوسپریلیوم	بدون کود و لجن	١٥٨٦d	١/٠٥ c	٤/٦٣ a	١/٠٠ b	٢/٠٢ a
	توصیه کودی	٢٣٧١ab	١/٠٥ c	٤/٧٤ a	١/٠٢ ab	٢/٠٦ a
	لجن ١٠ T/ha	١٦٣٦c	١/٠٨ bc	٤/٧٣ ab	١/٠٠ b	٢/٠٤ a
	لجن ٢٠T/ha	٢٢٠٨b	١/١٠ ab	٤/٧٠ b	١/٠٢ b	٢/٠٦ a
	لجن ٣٠ T/ha	٢٤٧٣a	١/١٢ a	٤/٦٨ bc	١/٠٣ a	٢/٠٦ a

اعداد با حروف مشابه در هر ستون، از نظر آماری با آزمون توکی و در سطح احتمال ٥ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Vatandust *et al*. (2017) بیان کردند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش میزان اسید اولئیک و لینولنیک و کاهش اسیدهای چرب پالمتیک و اروسیک گردید. ویژگی‌های کیفی هر نوع روغن بستگی به ترکیب

اسیدهای چرب آن و به‌ویژه اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک 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 عناصر سبب کاهش بیش‌تر اسید اروسیک در مقایسه با مصرف آن‌ها به‌صورت جداگانه شد. ازاین‌رو نتیجه گرفته می‌شود که عناصر غذایی که از طریق لجن‌فاضلاب 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 دارند، در هزینه‌کردن و مصرف اسید چرب غیراشباع به اسیدهای لینولئیک و لینولنیک عمل می‌کنند. دو مسیر بیوسنتز 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 ٦٤ 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 مورداستفاده 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.

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 ٦). Seyed Sharifi (2016) بیان کرد که اسیدهای چرب اشباع‌شده (اسیدهای پالمیتیک و استئاریک) در مقایسه با شاهد تلقیح‌شده با کودهای بیولوژیک کاهش یافته، در حالی‌که اسیدهای چرب اشباع‌نشده (لینولئیک، لینولنیک و اولئیک) افزایش یافته‌اند. نتایج Fadul (2014) نشان داد که بالاتربودن مواد آلی خاک باعث افزایش اسیدهای چرب غیراشباع و کاهش اسیدهای چرب اشباع بعد از مرحله هشتم رشد در کلزا شده است. نتایج با افزایش ماده آلی و از طرفی وجود باکتری‌های محرک رشد باعث کاهش اسید پالمیتیک در روغن کلزا شد. افزایش ماده آلی در خاک می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت آب‌گیری آن و فراهم‌بودن رطوبت بیش‌تر برای گیاه، سبب تداوم رشد و

تأخیر در رسیدگی شود که این امر سبب کاهش این اسید چرب اشباع می‌گردد.

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 (۱۶/۷۹ 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.

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 قابل‌توجیه 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 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 ($P\leq ۰/۰۱$) معنی‌دار شد (جدول ۷)، به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار این شاخص برحسب 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).

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

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

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

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

	بدون کود و لجن	۱۱/۲٤b	۲٦/۱۲a	۱۸/۱۲a	۲/۹۲b	۲/۰۳b
	توصیه کودی	۱۵/۱۵a	۲۲/۹۹c	۱۷/۰۰b	۳/٤٤a	۲/۵۵a
آزوسپریلیوم	لجن ۱۰ T/ha	۱۱/۱۵b	۲۳/۸۷b	۱٦/۹٤b	۲/٦٤c	۱/۸۸bc
	لجن ۲۰T/ha	۱۰/۵۰bc	۲۲/۸۵cd	۱٦/٤۸bc	۲/۳۸d	۱/۷۲cd
	لجن ۳۰ T/ha	۱۰/۰۵c	۲۲/۰٤d	۱٦/۱۸c	۲/۱۹d	۱/٦۱d

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 لجن‌فاضلاب از مقدار کارایی مصرف برحسب زیست‌توده 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 جذب‌شده توسط ریشه‌های آن گیاه می‌باشد. با توجه به رابطه عکس بین مقدار نیتروژن جذب‌شده زیست‌توده 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 لجن‌فاضلاب علاوه بر بالابودن مقدار نیتروژن جذب‌شده از خاک نسبت به سایر ترکیب‌های تیماری، شرایط به گونه‌ای بوده که گیاه توانسته است، استفاده بهتری از نیتروژن جذب‌شده داشته باشد. چنین می‌توان عنوان کرد که افزایش مقدار نیتروژن در دسترس که از طریق لجن‌فاضلاب 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 می کند.

کارایی بهره‌وری (زراعی) بر حسب زیست‌توده و عملکرد دانه

اثر تیمارهای لجن‌فاضلاب و تلقیح بر شاخص‌های کارایی بهره‌وری برحسب زیست‌توده و عملکرد دانه در سطح یک درصد ($P\leq$۰/۰۱) معنی‌دار شد (جدول ۷)، به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار این شاخص برحسب 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 ٦). 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 لجن‌فاضلاب 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، هرقدر 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 براساس دانه کاهش معنی‌داری نشان داد. کاهش میزان کارایی به‌کارگیری نیتروژن با افزایش میزان کود مصرفی از ۱۳٦ به ۱۹۵ کیلوگرم در هکتار در کلزا در برخی مطالعات گزارش شده است که این کاهش احتمالاً به‌دلیل از دست‌رفتن نیتروژن به‌صورت‌های مختلف می‌باشد (MirzaShahi & Hosseinpour, 2014).

٤. نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، 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 لجن‌فاضلاب مقدار آن‌ها افزایش داشته و در بررسی اثرات تلقیح با باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپریلیوم نیز هم‌چون لجن‌فاضلاب مشخص شد که تلقیح توانسته است اثر مثبتی بر این اسیدهای چرب داشته باشد. هم‌چنین استفاده از لجن‌فاضلاب که دارای مقدار نیتروژن بالایی (در این آزمایش ۲/٤۳ درصد) است می‌تواند جایگزینی برای کودهای نیتروژنه باشد و می‌باید با توجه به آزمون خاک مقدار موردنیاز محصول زراعی را تعیین و در اختیار گیاه قرار داد. البته باید در استفاده از لجن‌فاضلاب ملاحظات زیست‌محیطی آن را که وجود عناصر فلزات سنگین و میکروب‌های موجود در آن هست را به‌طور جدی بررسی کرد. برای از بین بردن میکروب‌های موجود در فاضلاب از روش‌های مختلف از جمله استفاده از فناوری ازن به‌دلیل خاصیت گندزدایی آن استفاده می‌شود. هم‌چنین رعایت محدودیت‌های استفاده از لجن در محصولاتی 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.

٥. تشکر و قدردانی

از دانشگاه پیام نور بابت تأمین بخشی از هزینه های این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه 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. V., Stalin, P., Muthukrishnan, P., Ravi, V., Babu, M., Simbahan, G. C., & dviento, M. A. A., (2003). Soil fertility and indigenous nutrient supply in irrigated rice domains of Asia. *Agronomy Journal*, *95*, 913-922.

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

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.

Ebrahimghochi, Z., Mohsenabadi, GH., Ehteshami, S. R., & Forghani, A. (2014). Integrated application of different Nitrigen 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., Gervaix, 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., Katepa-Mupondwa, F., & Stevenson, C. (2008). Nitrogen use efficiency and n uptake of juncea canola under diverse environments. *Agronomy*

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., Gonçalvez, 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