



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۴ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۱

صفحه‌های ۴۲۲-۴۰۷

DOI: 10.22059/jci.2021.325222.2563

مقاله پژوهشی:

تأثیر مدیریت کود، شخم و آبیاری بر میزان آبشویی نیتروژن، صفات کمی و کیفی کلزا (*Brassica napus* L.) در خاک شنی

قربان خدابین^{۱*}، مژده سادات خیاط مقدم^۲، شهریار کاظمی^۳، مهسا رفعتی آلاشتی^۴

۱. دانش‌آموخته دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲. دانش‌آموخته دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

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

۴. مربی، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۱۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی در شرایط کم‌آبیاری به‌همراه کاربرد کود اوره و ورمی‌کمپوست بر عملکرد کمی و کیفی کلزا و برآورد مقدار آبشویی نترات از خاک شنی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دویار خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۶ در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع واقع در استان البرز انجام گرفت. از لحاظ عملکرد دانه و روغن بین سیستم شخم حداقل و شخم معمول تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، از طرف دیگر در سیستم بدون شخم عملکرد روغن به‌میزان ۲۲ درصد نسبت به شخم حداقل و ۲۱/۵ درصد نسبت به شخم معمول کاهش یافت. کاربرد تلفیقی کود ورمی‌کمپوست و اوره در شرایط آبیاری مطلوب، منجر به افزایش عملکرد روغن (۲۴ درصد نسبت به شاهد) گیاه کلزا شد. در هر سه نظام شخمی بیش‌ترین میزان آبشویی نیتروژن در شرایط کاربرد کود اوره به‌دست آمد، به‌طوری‌که در مقایسه با کاربرد ورمی‌کمپوست و تیمار تلفیقی کود به‌ترتیب ۶۷ و ۵۰ درصد در سیستم بدون شخم، ۵۰ و ۳۶ درصد در شخم حداقل و ۴۹ و ۳۴ درصد در سیستم بدون شخم بیش‌تر بود. تنش کم‌آبی باعث کاهش ۷/۶ درصدی لینولئیک‌اسید شد. بیش‌ترین میزان اولئیک‌اسید (۶۳/۹ درصد) و لینولئیک‌اسید (۲۰/۷ درصد) به‌ترتیب در تیمار خاک‌ورزی حداقل × کود تلفیقی و خاک‌ورزی حداکثر × کود اوره مشاهده شد. از نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت شخم حداقل و جایگزینی کود اوره با ورمی‌کمپوست با کاهش هدررفت نیتروژن و هم‌چنین تعدیل شرایط تنش ناشی از خشکی منجر به افزایش در عملکرد دانه و روغن کلزا می‌شود.

کلیدواژه‌ها: اسید چرب، اوره، خاک‌ورزی، عملکرد دانه، ورمی‌کمپوست.

Effects of Tillage, Irrigation, and Fertility Management on Nitrate Leaching and Rapeseed (*Brassica napus* L.) Quantitative and Qualitative Traits in a Sandy Soil

Ghorban Khodabin^{1*}, Mojdeh Sadat Khayat Moghadam², Shahryar Kazemi³, Mahsa Rafati Alashti⁴

1. Former Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2. Former Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran.

4. Preceptor, Department of Agriculture science, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Received: June 07, 2021

Accepted: August 04, 2021

Abstract

This study investigates the effects of different tillage systems (no-tillage, minimum and conventional), fertilizers (no fertilizer, vermicompost (V), urea (U) and combined urea and vermicompost (VU) and irrigation regimes on various quantitative and qualitative traits of rapeseed, as well as soil nitrate leaching (NL). Field trials have been conducted between 2017 and 2019 in the Research Institute of Forests and Rangelands with no significant difference observed for seed and oil yield between the minimum and conventional till systems. However, the no-till system vs. minimum and conventional till decrease these traits by 22% and 21.5%. The combined application of vermicompost and urea under optimal irrigation conditions boosts oil yield by 24%, compared to the control) of rapeseed. Furthermore, across all tillage types, the highest NL is observed where urea was applied. When compared with urea, V and UV treatments decrease the NL by 67% and 50% in no-till plots, 50% and 36% in minimum till plots, and 49% and 34% in conventional till plots, respectively. Deficit irrigation also reduces linoleic acid by 7.6%. In addition, the highest levels of oleic acid (63.9%) and linoleic acid (20.7%) are observed under residual tillage system with combined fertilizer application and the residual tillage system with vermicompost application, respectively. The findings indicate that minimum till in combination with VU treatments supports reduced NL over conventional till and urea fertilization practices, while improving rapeseed quantitative and qualitative traits.

Keywords: Fatty acid, seed yield, tillage, urea, vermicompost.

۱. مقدمه

امروزه نیاز به کشاورزی پایدار، با توجه به استفاده از منابع تجدیدپذیر و آسیب کم‌تر به محیط زیست، از اهمیت بالایی برخوردار است. در کشاورزی مرسوم، بر اثر افزایش عملیات خاک‌ورزی کیفیت خاک نیز رو به کاهش می‌باشد (Gotosa et al., 2020). برای نمونه استفاده از روش‌های کشت بدون خاک‌ورزی و یا با حداقل خاک‌ورزی موجب بهبود کیفیت خاک می‌شود و آب‌فرسایی و بادفرسایی را کاهش می‌دهد (Omidi et al., 2010). آبشویی نیترات در زمین‌های بدون خاک‌ورزی ۱۴ درصد کم‌تر از خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد (Spiess et al., 2020). استفاده هم‌زمان از شخم حفاظتی همراه با کود آلی منجر به افزایش کیفیت خاک و جذب عناصر غذایی می‌شود (Agbede, 2010). در سیستم کشاورزی مرسوم کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار مانند اوره به دلیل افزایش عملکرد در گیاهان مختلف، منبع جذابی در کوتاه‌مدت به نظر می‌رسد. اما این کودها، سبب ایجاد مشکلاتی نظیر آلودگی‌های زیست‌محیطی، انباشت نمک‌ها و تغییر pH خاک و در نتیجه کاهش باروری، ایجاد کمپلکس نامطلوب، کاهش میزان کربن آلی، کاهش تنوع زیستی و فرسایش ژنتیکی در طولانی‌مدت می‌شود (Liu et al., 2019). هدررفت نیتروژن یکی از مشکلات اساسی در این گونه از سیستم‌های کشاورزی است، به طوری که میزان سالانه آبشویی نیترات در این سیستم‌ها ۲۵ تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (Basso & Ritchie, 2005).

با توجه به این‌که کلزا نسبت به غلات دانه‌ریز نیاز به نیتروژن بالایی دارد (Rathke et al., 2006) در نتیجه استفاده از کودهای نیتروژن‌دار برای تولید بهینه ضروری به نظر می‌رسد. اراضی به‌کار گرفته‌شده جهت کشت کلزا دارای خاک‌هایی با بافت سبک می‌باشند. زمین‌های شنی دارای پتانسیل بالایی برای شست‌وشوی نیتروژن و در

نهایت آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی هستند. این اراضی در کنار اندک ویژگی‌های مطلوب خود مانند تهویه مناسب و عدم ماندابی، به دلیل پایین بودن ظرفیت تبادل کاتیونی، قابلیت نگهداری و تأمین مقدار ناچیزی از عناصر غذایی را دارند (Guo et al., 2011). کشاورزان معمولاً در این گونه از اراضی به منظور حصول حداکثر عملکرد، به ناچار از مقادیر بالای کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژن‌دار استفاده می‌کنند که نتیجه آن هدررفت نیتروژن و ورود مقادیر زیادی از نیترات به آب‌های زیرزمینی و افزایش غلظت آن بیش از حد مجاز می‌باشد (Wang et al., 2015a). برای کاهش آبشویی نیتروژن پژوهش‌گران از مواد گوناگونی استفاده می‌کنند که از آن جمله می‌توان به کودهای کندرها و بازدارندگان نیتراتی و اوره‌آز اشاره کرد (Svecnjak & Rengel, 2006; Zhou et al., 2020).

تنش خشکی یکی از محدودیت‌های رو به گسترش در تولید و بهره‌برداری گیاهان زراعی در بسیاری از نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیاست. تنش خشکی باعث بسته‌شدن روزنه‌ها، آسیب به سیستم فتوسنتزی، تخریب غشای سلول کاهش پتانسیل آب سلول و بنابراین کاهش عملکرد می‌شود (Keshavarz & Khodabin, 2019). تغذیه خوب گیاهان در مقاومت آن‌ها در برابر انواع تنش‌های زنده و غیرزنده نقش بسیار مؤثری دارد. تنش خشکی باعث کاهش کیفیت روغن در ارقام مختلف کلزا شده است که میزان این کاهش بسته به شدت تنش و نوع رقم متفاوت بود (Aghdam et al., 2019). گیاهی که خوب تغذیه‌شده، مقاومت بهتری به کم‌آبی خواهد داشت و در این راستا کمیت و کیفیت محصول نیز تحت تأثیر قرار خواهد گرفت (Githinji et al., 2011). مدیریت کودی می‌تواند به میزان زیادی تولید محصولات را در شرایط کم‌آبی تحت تأثیر قرار دهد، بنابراین بسته به میزان دسترسی به آب، اضافه‌کردن عناصر غذایی می‌تواند

تأثیر مدیریت کود، شخم و آبیاری بر میزان آبهویی نیتروژن، صفات کمی و کیفی کلزا (*Brassica napus* L.) در خاک شنی

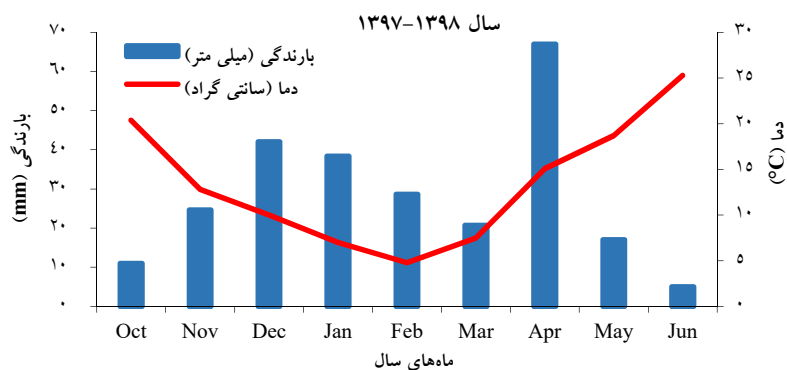
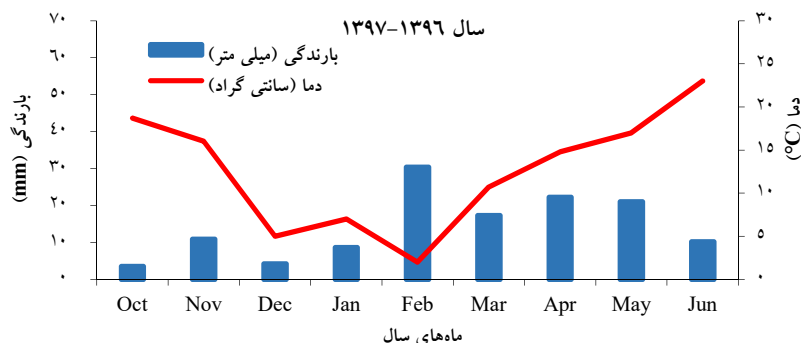
۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷ و ۱۳۹۷-۹۸ در منطقه کرج با متوسط بارندگی بلندمدت ۲۴۴ میلی‌متر که بیش‌ترین میزان آن در آذرماه و کم‌ترین آن به‌میزان یک میلی‌متر در ماه‌های مرداد و شهریور اتفاق می‌افتد، انجام گرفت (شکل ۱).

بافت خاک مزرعه آزمایش، شنی با اسیدیته ۷/۷۴ و هدایت الکتریکی ۱/۷۰ دسی‌زیمنس بر متر و میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب به ترتیب چهار و ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و میزان نیتروژن کل خاک برابر ۰/۰۶ درصد بود. هم‌چنین کود ورمی‌کمپوست مورد استفاده در این پژوهش دارای ۱/۱۲ درصد نیتروژن، هدایت الکتریکی ۳/۱ دسی‌زیمنس بر متر، اسیدیته ۵/۷ و ماده آلی ۲۸ درصد بود (جدول ۱).

موجب افزایش یا کاهش مقاومت به تنش گردد و حتی بی‌تأثیر باشد. از طرف دیگر، افزایش رشد گیاه از طریق کاربرد عناصر غذایی تحت شرایط کم‌آبی می‌تواند منجر به تسهیل استخراج آب و مواد غذایی از لایه‌های عمیق‌تر خاک شود (Smith et al., 2011).

بنابراین، اهداف این آزمایش ۱- بررسی نقش نظام‌های مختلف خاک‌ورزی به‌همراه کاربرد کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست بر عملکرد دانه و روغن کلزا (*Brassica napus* L.) و ۲- تأثیر آن بر آبهویی نیتروژن در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری می‌باشد. در واقع، پاسخ به این پرسش که مصرف کود آلی به تنهایی و یا همراه با کود نیتروژنه تحت شرایط مختلف آبیاری و نظام‌های مختلف خاک‌ورزی چه تأثیری در بهبود عملکرد کیفی و کمی روغن کلزا و جبران خسارت ناشی از کم‌آبیاری را دارد.



شکل ۱. میانگین ماهانه بارش (mm) و دما (°C) در طول فصل رشد

به‌زراعی کشاورزی

دوره ۲۴ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۱

جدول ۱. خصوصیات عمومی خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۵۰ سانتی متر و کود آلی (ورمی کمپوست)

ورمی کمپوست	خاک (۰-۵۰ cm)	
۵/۷	۷/۷۴	pH
۳/۱	۱/۷	هدایت الکتریکی خاک (dS.m ⁻¹)
۲۸	۰/۸۱	کربن آلی (%)
۱/۱۲	۰/۰۶	نیترژن کل (%)
۱/۵۱	۴	فسفر قابل جذب (mg kg ⁻¹)
۱/۳	۱۵۰	پتاسیم قابل جذب (mg kg ⁻¹)
۰/۵	۸/۴	آهن قابل جذب (mg kg ⁻¹)
۱۱۲	۱/۱۴	روی قابل جذب (mg kg ⁻¹)
۴۳	۲/۶	مس قابل جذب (mg kg ⁻¹)
۹۹۲	۷/۴	منگنز قابل جذب (mg kg ⁻¹)
	۲۱	سیلت (%)
	۵۸	شن (%)
	۲۱	رس (%)

برای تعیین سطوح مختلف آبیاری از روابط ارائه شده توسط Behera & Panda (2009) استفاده شد. در این روش، برنامه زمان بندی آبیاری براساس درصد تخلیه آب خاک در منطقه ریشه تعیین شد. مقدار آب خاک با استفاده از دستگاه انعکاس سنجی زمانی (Time-Domain Reflectometry, Model TRIME-FM, England) در عمق ۵۰ سانتی متر تعیین شد.

میزان کود نیترژن براساس نتایج آزمون خاک ۱۶۰ کیلوگرم نیترژن خالص در نظر گرفته شد. از آنجاکه کود اوره حاوی ۴۶ درصد نیترژن خالص و کود ورمی کمپوست مصرفی در این پژوهش (با ۲۵ درصد رطوبت) حاوی ۱/۱۲ درصد نیترژن است کودپاشی به صورت ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیترژن دار اوره در تیمار F2، ۱۴ تن در هکتار ورمی کمپوست در تیمار F3 و ۱۷۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۷ تن ورمی کمپوست در

آزمایش به صورت کرت های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. سیستم های خاک ورزی به عنوان کرت اصلی در سه سطح شامل بدون خاک ورزی (کشت با کارنده کشت مستقیم و بدون عملیات خاک ورزی)، خاک ورزی حداقل (یک بار با جیزل آماده سازی بستر، سپس عملیات کاشت با کارنده مرسوم منطقه) و خاک ورزی رایج (شخم با گاوآهن برگردان دار و دو بار دیسک و کاشت با کارنده مرسوم منطقه) بودند. کرت فرعی شامل آبیاری در دو سطح (آبیاری براساس ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و آبیاری براساس ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و تیمار کودی در چهار سطح [عدم کاربرد کود (F1)، ۳۵۰ کیلوگرم کود شیمیایی اوره (F2)، ۱۴ تن در هکتار کود ورمی کمپوست (F3)، ۱۷۵ کیلوگرم کود شیمیایی اوره + ۷ تن در هکتار کود ورمی کمپوست (F4)] در کرت فرعی قرار گرفت.

هکتار در تیمار F4 استفاده شد. در هر دوسال آزمایش، کاشت در تاریخ پنج مهرماه صورت گرفت و از رقم نیما برای این منظور استفاده شد. که رقمی زمستانه، آزادگرده افشان، قابل کشت در مناطق معتدل و سرد و از نظر کیفیت روغن جزو ارقام دوصفر (۰۰) می باشد. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف به طول پنج متر، فاصله خطوط ۳۰ سانتی متر از هم بود که دو خط کناری به عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند. فاصله بوته ها روی خطوط کاشت پنج سانتی متر بود. بنابراین تراکم بوته حدود ۷۰ بوته در مترمربع بود. کلیه عملیات مربوط به داشت به جز آبیاری به صورت یکسان و براساس عرف منطقه انجام شد. برای آبیاری واحدهای آزمایشی از لوله های پلی اتیلن همراه با یک کنتور حجمی استفاده شد.

نحوه مصرف کود اوره مصرفی در کرت های حاوی کود اوره به صورت یک سوم در هنگام کاشت و دو سوم به صورت سرک در دو مرحله از رشد (شروع ساقه رفتن و ظهور اولین غنچه های گل) انجام گرفت. کود ورمی کمپوست نیز در کرت های حاوی کود ورمی کمپوست قبل از کاشت به زمین اضافه شد. مقابله با علف هرز در طی فصل رشد به صورت دستی صورت گرفت. پس از اجرای آزمایش مطابق نقشه کاشت و سبز شدن و استقرار گیاهچه، مبارزه با آفات به ویژه شته مومی با استفاده از سموم متاسیستوکس (۱/۵ لیتر در هکتار) و اکتاین (یک لیتر در هکتار) صورت گرفت.

جهت تعیین میزان نیترات شسته شده به صورت کیلوگرم در هکتار نیاز به تعیین دو عامل است؛ ۱- غلظت نیترات معدنی در نمونه زه آب در عمق پایین تر از عمق توسعه ریشه و ۲- میزان نفوذ عمقی آب. در این آزمایش برای تهیه نمونه زه آب از زیر منطقه توسعه ریشه صفر تا ۵۰ سانتی متر، از دستگاه (Soil water Sampler (S.W.S.) (Model 1900, Soil Moisture Equipment Co. USA)

استفاده شد. بدین منظور در قسمت مرکزی کرت ها، به وسیله اوگر دستی حفره ای به قطر ۵ سانتی متر و عمق ۶۵ سانتی متر ایجاد شد. نیترات هر مرحله نمونه برداری به روش Cadmium Reduction Method 8039 (Hach Co.) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Model dr/2500, Hach Co.) اندازه گیری شد. برای اندازه گیری نفوذ عمقی آب از رابطه (۱) استفاده شد (Errebhi *et al.*, 1998).

$$\text{DDP} = \text{I} + \text{P} - \Delta\text{SW} - \text{ET}_c - \text{R} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این فرمول، DDP نفوذ عمقی روزانه آب به میلی متر، P بارندگی (میلی متر)، I آبیاری (میلی متر)، ΔSW تغییرات روزانه رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه (میلی متر) (اندازه گیری شده توسط TDR براساس رطوبت حجمی)، ET_c تبخیر و تعرق مزرعه به میلی متر و R روان آب (میلی متر). برای تعیین تبخیر و تعرق از رابطه (۲) استفاده شد (Allen *et al.*, 1998).

$$\text{ET}_{\text{crop}} = \text{ET}_0 \times K_c \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه، ET_{crop} تبخیر و تعرق گیاه، ET_0 تبخیر و تعرق پتانسیل و K_c ضریب گیاهی می باشند. از آنجایی که دقت مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده با رابطه فائو-پنمن-مانتیت در مقایسه با مقادیر لایسیمتری، همبستگی نزدیکی دارد (Allen, 1996)، لذا برای تعیین ET_0 از این رابطه و داده های هواشناسی کرج در فاصله ۱۰۰۰ متری از محل انجام آزمایش استفاده شد. مقادیر K_c نیز برای گیاه کلزا در مراحل مختلف رشد به دست آمد (Allen *et al.*, 1998). با توجه به سیکل بسته آبیاری هر کرت مقدار R در رابطه (۱) صفر فرض شد.

بعد از تعیین غلظت نیترات در نمونه زه آب و تعیین میزان نفوذ عمقی، از حاصل ضرب این دو عامل مقدار کیلوگرم نیترات شسته شده در هکتار تعیین شد.

میزان کارایی مصرف نیتروژن (Nitrogen use efficiency, NUE)، از رابطه (۳) به دست آمد:

(میانگین هر دو آبیاری) ۲۶ درصد بیش‌تر از سال اول بود (جدول ۳).

بیش‌ترین آبتیاری نیترات در سال دوم و در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین ۷۶/۱ کیلوگرم در هکتار اتفاق افتاد. کم‌ترین میزان آبتیاری در سال اول و تیمار کم‌آبیاری به‌دست آمد (۱۹/۳ کیلوگرم در هکتار) که نسبت به تیمار برتر ۶۹ درصد کاهش داشت. بیش‌ترین میزان آبتیاری نیترات در سال دوم و تیمار شخم رایج × کود شیمیایی اوره با میانگین ۸۱/۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۴). کم‌ترین میزان آبتیاری در تیمار بدون شخم × عدم کاربرد کود در سال اول (۱۰/۰۳ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد.

بیش‌تر بودن میزان نیترات زه‌آب در تیمارهای آبیاری مطلوب را می‌توان مربوط به شست‌وشوی نیترات توسط آب آبیاری دانست. از آنجاکه این آزمایش در زمینی با خاک شنی و تهویه بالا انجام شده بود، اوره به‌سرعت به آمونیوم و سپس طی فرایند نیتریفیکاسیون به نیترات تبدیل شده و به‌علت بار منفی نیترات (NO_3^-) و عدم نگهداری آن توسط خاک، به سرعت از منطقه توسعه ریشه خارج می‌شود. از طرفی میزان بارندگی بیش‌تر در سال دوم، منجر به افزایش نیترات زه‌آب در سال دوم شد. پژوهش‌های گذشته نیز رابطه مستقیمی بین میزان بارندگی و نیترات شسته‌شده از خاک را نشان داد (Wang et al., 2015b). میزان آبتیاری نیترات در سال دوم و در هر سه سطح سیستم خاک‌ورزی، در تیمار کود اوره بیش‌تر از سایر سطوح کودی بود. افزایش میزان نیتروژن قابل‌دسترس (کود اوره) همراه با آب آبیاری بیش‌تر (آبیاری مطلوب) منجر به آبتیاری بیش‌تر نیترات از خاک شنی شده که با نتایج پژوهش‌گران مطابقت دارد (Li et al., 2007). از طرفی شخم رایج با زیر و رو کردن خاک و هوادهی، باعث سرعت‌بخشیدن تجزیه مواد آلی و تبدیل

(رابطه ۳) = کارایی مصرف نیتروژن عملکرد دانه / نیتروژن مصرفی (کیلوگرم / کیلوگرم) به‌منظور بررسی تیمارهای اعمال‌شده بر صفات مورد مطالعه، نمونه‌برداری‌ها در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در هر دو سال (چهار تیمار) انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان عملکرد دانه، پس از حذف حاشیه‌ها، کلیه بوته‌های موجود در مساحت دو مترمربع میانی از هر کرت آزمایشی برداشت و سپس به‌روش دستی دانه‌ها از خورجین جدا و توزین شدند. درصد روغن دانه با استفاده از دستگاه NMR (Bruker, mq20, Germany) اندازه‌گیری شد و سپس عملکرد روغن دانه از حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد روغن دانه محاسبه شد. اسیدهای چرب با دستگاه GC (Varian 3800, Australia) و GC-mass (Agilent, model 7890B, USA) اندازه‌گیری شد (Nazeri et al., 2018). پس از بررسی یکنواختی واریانس داده‌های دو سال آزمایش براساس آزمون بارتلت، اقدام به آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS Institute, 2015) شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد. ترسیم شکل با استفاده از داده‌پرداز Microsoft Office 2013 صورت گرفت.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. آبتیاری نیترات

نتایج جدول تجزیه واریانس حاکی از آن است که اثر سال، سال × رژیم‌های آبیاری، رژیم‌های آبیاری × تیمار کودی، خاک‌ورزی × تیمار کودی، برهم‌کنش سال × سیستم خاک‌ورزی × تیمار کودی در صفت آبتیاری نیترات معنی‌دار بود (جدول ۲). این صفت تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و تیمار کودی قرار گرفت. با توجه به جدول مقایسه میانگین میزان آبتیاری نیترات در سال دوم

تأثیر مدیریت کود، شخم و آبیاری بر میزان آبشویی نیتروژن، صفات کمی و کیفی کلزا (*Brassica napus L.*) در خاک شنی

آن‌ها به عناصر معدنی و در نتیجه آزادسازی نیتروژن
معدنی می‌شود که این امر خود موجب شست‌وشوی
بیش‌تر نیترات از خاک می‌شود (Spiess et al., 2020;)
(Gotosa et al., 2020).

جدول ۲. نتایج تجزیه مرکب برخی صفات مورد بررسی کلزا

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییرات
نیتریک اسید	نیتریک اسید	اولئیک اسید	عملکرد روغن	عملکرد دانه	کارایی مصرف نیتروژن	آبشویی نیتروژن		
۰/۵ns	۷/۵ns	۲/۵ns	۱۱۸۰۷۹۹**	۵۷۷۴۳۰۴**	۲۰۹**	۱۱۹۴۳**	۱	سال
۰/۲	۲/۸	۳/۰۸	۹۴۱۴	۳۵۱۹۹	۰/۸۸	۴۹/۹	۴	سال (تکرار)
۰/۹ns	۴/۹*	۸/۰۸**	۱۰۷۲۸۵۸**	۶۱۹۰۳۹۵**	۲۳۰**	۲۵۶۶**	۲	خاک‌ورزی
۱/۴ns	۰/۰۱ns	۱/۲ns	۱۰۰۱۴۶ns	۴۶۳۸۴۲ns	۱۴/۴*	۴۷/۶ns	۲	سال × خاک‌ورزی
۰/۴	۰/۸	۰/۹	۲۸۶۶۸	۱۳۵۳۷۵	۲/۸۶	۱۷۸/۸	۸	سال × خاک‌ورزی (تکرار)
۲۰/۱**	۹۵/۷**	۱۰۳/۴**	۷۹۴۸۸۰**	۳۹۵۱۸۵۵۲**	۱۳۴۶**	۴۲۷۶۱**	۱	آبیاری
۰/۱ns	۰/۲ns	۰/۱۵ns	۱۱۹۹۵۷**	۵۶۵۸۲۲**	۱۲/۶**	۱۷۵**	۱	سال × آبیاری
۱/۱ns	۲/۲ns	۰/۷۱ns	۷۰۲۵ns	۶۰۵۶۷ns	۱/۸۹ns	۱۰۱/۱ns	۲	سال × خاک‌ورزی × آبیاری
۰/۱ns	۱/۱ns	۱/۹ns	۴۲۴۲ns	۵۱۷۵۷ns	۲/۱۳ns	۱۲۲/۹ns	۲	سال × خاک‌ورزی × آبیاری
۰/۳	۱/۵	۰/۷۲	۱۱۱۳۶	۳۶۶۲۴	۱/۳۷	۵۰/۷	۱۲	سال × آبیاری × خاورزی (تکرار)
۱/۰۷**	۸/۷**	۷/۷**	۹۷۶۴۵۱**	۵۲۷۵۳۴۸**	۱۰/۶**	۹۹۸۴**	۳	کود
۰/۱۶ns	۰/۷۴ns	۰/۲ns	۱۹۶۵۲۴**	۹۳۳۲۹۹**	۵۰/۳**	۸۶۲**	۳	سال × کود
۰/۲*	۲/۰۱**	۲/۱*	۲۸۸۰۸ns	۱۵۸۰۸۷*	۲/۹۶ns	۱۵۸/۱*	۶	سال × کود
۰/۱۴ns	۱/۰۱ns	۰/۳ns	۴۱۳۸۴*	۱۷۵۳۱۲*	۹/۷**	۱۶۹*	۶	سال × خاک‌ورزی × کود
۰/۳*	۲/۲ns	۲/۵*	۱۱۴۳۶۳**	۶۳۰۱۸۷**	۲۲/۶**	۲۳۸*	۳	سال × کود
۰/۱۸ns	۰/۹ns	۰/۰۱ns	۱۴۶۲۵ns	۶۴۷۴۸ns	۳/۲۶ns	۸۵/۹ns	۳	سال × آبیاری × کود
۰/۲*	۰/۵ns	۰/۳ns	۲۳۴۲۸ns	۱۳۵۱۶۱ns	۳/۵۶ns	۹۶/۳ns	۶	سال × کود
۰/۱*	۰/۵ns	۰/۶ns	۱۶۴۳۷ns	۹۹۵۳۳ns	۲/۱۶ns	۶۵ns	۶	سال × خاک‌ورزی × آبیاری × کود
۰/۱	۰/۵	۰/۸	۱۴۱۵۷	۶۴۱۵۵	۱/۷۳	۶۹/۵	۷۲	خطا
۵/۱	۳/۷	۱/۴	۱۰/۳	۹/۳	۷/۲۵	۱۷/۰۱		ضریب تغییرات (%)

ns, *, **, #: به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی‌دار.

جدول ۳. مقایسه میانگین برهم‌کنش سال × آبیاری بر صفات مورد بررسی در کلزا

سال	آبیاری	آبشویی نیترات (Kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف نیتروژن (Kg kg ⁻¹)	عملکرد دانه (Kg ha ⁻¹)	عملکرد روغن (Kg ha ⁻¹)
سال اول	آبیاری معمول	۴۵/۳ b	۲۰/۶ b	۳۱۰۶/۲ b	۱۳۲۳ b
۱۳۹۶-۹۷	کم آبیاری	۱۹/۱ d	۱۲/۹ d	۱۹۳۳/۱ d	۷۹۶ d
سال دوم	آبیاری معمول	۵۸/۵ a	۲۲/۷ a	۳۳۸۱/۳ a	۱۴۴۷ a
۱۳۹۷-۹۸	کم آبیاری	۲۹/۸ c	۱۶/۳ c	۲۴۵۹/۰۳ c	۱۰۳۵ c

میانگین‌های هر ستون با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

جدول ۴. مقایسه میانگین برهم کنش سه گانه سال × خاک ورزی × کود بر صفات مورد بررسی در کلزا

سال	خاک ورزی	کود	آبشویی نیترات (Kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف نیتروژن (Kg kg ⁻¹)	عملکرد دانه (Kg ha ⁻¹)	عملکرد روغن (Kg ha ⁻¹)
سال اول ۱۳۹۶-۹۷	بدون خاک ورزی	F1	۱۰/۰۳ m	-	۱۸۵۴ n	۷۸۳ j
		F2	۴۶/۵ fg	۱۴/۰۴ h	۲۲۴۸ kl	۹۴۰ hi
		F3	۱۶/۶ l	۱۴/۳ h	۲۲۹۰ jkl	۹۷۸ gh
		F4	۲۷/۵ jk	۱۳/۹ h	۲۲۲۵ klm	۹۵۳ hi
خاک ورزی حداقل	F1	۱۲/۳ lm	-	۲۰۹۱ lmn	۸۸۱ hij	
	F2	۵۲/۲ ef	۱۹/۶ bcd	۳۱۴۷ bcde	۱۳۲۳ cd	
	F3	۳۱/۲ ijk	۱۶/۶ f	۲۶۵۹ fgh	۱۱۱۹ ef	
	F4	۳۸/۹ ghi	۱۶/۲ fg	۲۶۰۶ ghi	۱۱۰۰ fg	
خاک ورزی رایج	F1	۱۵/۴ l	-	۲۱۲۴ klmn	۸۸۶ hij	
	F2	۶۶/۰۷ cd	۲۰/۳۱ bc	۳۲۵۰ bcd	۱۳۴۵ bcd	
	F3	۲۸/۹ jk	۱۶/۸ ef	۲۶۹۱ fg	۱۱۲۵ ef	
	F4	۳۸/۹ ghi	۱۹/۰۳ cd	۳۰۴۶ de	۱۲۸۳ d	
بدون خاک ورزی	F1	۱۴/۶ lm	-	۱۹۴۴ mn	۸۲۶ ij	
	F2	۷۵/۶ abc	۱۴/۹ gh	۲۳۹۸ hji	۱۰۰۶ fgh	
	F3	۲۲/۶ kl	۱۶/۰۸ fg	۲۵۷۳ ghij	۱۱۰۲ fg	
	F4	۳۳ hij	۱۸/۱ de	۲۹۰۸ ef	۱۲۳۹ de	
سال دوم ۱۳۹۷-۹۸	خاک ورزی حداقل	F1	۱۴ lm	-	۲۵۷۴ ghij	۱۱۰۵ efg
		F2	۸۱ ab	۲۰/۱ bc	۳۲۲۹ bcd	۱۳۵۵ bcd
		F3	۳۵/۱ hij	۲۱/۰۷ b	۳۳۷۲ bc	۱۴۴۹ bc
		F4	۴۵/۶ fg	۲۳/۹ a	۳۸۳۷ a	۱۶۶۱ a
خاک ورزی رایج	F1	۱۷/۸ l	-	۲۳۴۴ ijk	۹۷۱ gh	
	F2	۸۱/۵ a	۱۹/۲ cd	۳۰۸۶ cde	۱۲۶۴ d	
	F3	۴۷ fg	۲۱/۱ b	۳۳۸۹ b	۱۴۷۹ b	
	F4	۵۸/۱ de	۲۱/۱ b	۳۳۸۴ b	۱۴۳۴ bc	

میانگین های هر ستون با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی دار می باشند.

به خاطر خواص منحصر به فرد ورمی کمپوست از قبیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، قدرت جذب بالای نیترات و آزادسازی تدریجی آن باشد (Liu et al., 2019).

با توجه به ظرفیت تبادل کاتیونی بالای مواد آلی، هنگامی که وجود آمونیوم در خاک افزایش می یابد، توسط کودهای آلی جذب شده و مانع از ادامه نیتریفیکاسیون و تولید نیترات می شود و نیتروژن به صورت آمونیوم در

با توجه به میانگین دو سال آزمایش، کمترین میزان آبشویی نیترات از کرت بدون خاک ورزی و تیمار کودی ورمی کمپوست به دست آمد (جدول ۴). از آنجاکه در این تیمار، خاک ورزی انجام نشده بود، به نظر می رسد هوادهی و فرایند نیتریفیکاسیون به کندی انجام شده که منجر به کاهش آبشویی نیترات شده است. از طرفی کم تر بودن میزان آبشویی در تیمار بدون خاک ورزی و کود ورمی کمپوست می تواند

۶۸ و ۶۱/۵ درصد آبشویی بیش‌تری داشت، اما عملکرد دانه ۷ و ۱۲ درصد کم‌تری نسبت به تیمارهای F3 و F4 به‌دست آورد (جدول ۵).

بنابراین در شرایط کم‌آبیاری استفاده از کود شیمیایی نه از لحاظ زیست‌محیطی و نه از لحاظ اقتصادی منطقی به‌نظر نمی‌رسد. میزان آبشویی نیترات تحت تأثیر برهم‌کنش رژیم‌های آبیاری × تیمار کودی قرار گرفت (جدول ۲). بیش‌ترین میزان آبشویی نیترات در آبیاری مطلوب و کود اوره به‌دست آمد (۸۳/۱ کیلوگرم در هکتار). در هر دو سطح آبیاری، تیمار کودی ورمی‌کمپوست کم‌ترین آبشویی را داشت اما با تلفیق کود اوره و ورمی‌کمپوست، میزان آبشویی افزایش داشت. کم‌ترین میزان آبشویی در تیمار کم‌آبیاری × عدم کاربرد کود با میانگین ۱۰/۴ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵).

۳.۲. کارایی مصرف نیتروژن

نتایج جدول تجزیه واریانس حاکی از آن است که اثر سال، سال × رژیم‌های آبیاری، رژیم‌های آبیاری × تیمار کودی، برهم‌کنش سال × سیستم خاک‌ورزی × تیمار کودی در صفت کارایی مصرف نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۲).

خاک برای مدت طولانی‌تر حفظ می‌شود (Niu et al., 2018). اما در تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره (F2)، فراهمی یون آمونیوم و فعالیت آنزیم اوره‌آز، منجر به تولید مقدار زیادی نیترات شده است. با توجه به بار منفی نیترات و عدم نگهداری آن توسط ذرات خاک، در اثر آبیاری و یا بارندگی، به طبقات پایین‌تر پروفایل خاک حرکت کرده که در نهایت غلظت آن در نمونه زه‌آب افزایش پیدا می‌کند. آبیاری مطلوب و تیمار ۱۰۰ درصد کود اوره، بیش‌ترین میزان آبشویی نیترات را به‌همراه داشت (جدول ۵). از آنجاکه عناصر غذایی در کودهای شیمیایی به یک‌باره در دسترس گیاه قرار می‌گیرند، افزایش میزان نیترات زه‌آب در آزمایش حاضر دور از انتظار نیست که با نتایج پژوهش‌گران مطابقت دارد (Li et al., 2012). در شرایط آبیاری کامل، نیترات شسته‌شده از تیمار F2 به‌ترتیب ۴۳/۳ و ۲۷/۳ درصد بیش‌تر از تیمار F3 و F4 بود درحالی‌که عملکرد دانه آن تنها ۸/۲ و ۲/۶ درصد بیش‌تر از تیمارهای F3 و F4 بود. در واقع کاربرد عنصر نیتروژن به‌صورت اوره (به‌ویژه در اراضی با بافت سبک و شنی) به‌منظور حصول عملکرد بیش‌تر اقتصادی نیست. هم‌چنین در شرایط کم‌آبیاری، تیمار F2 نسبت به F3 و F4 به‌ترتیب

جدول ۵. مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری × کود بر صفات موردبررسی در کلزا

آبیاری	کود	آبشویی نیترات (Kg ha ⁻¹)	کارایی مصرف نیتروژن (Kg ha ⁻¹)	عملکرد دانه (Kg ha ⁻¹)	عملکرد روغن (Kg ha ⁻¹)	اولئیک‌اسید (%)	لینولئیک‌اسید (%)
آبیاری معمول	F1	۱۷/۵ d	-	۲۵۵۶ c	۱۰۹۳ c	۶۳/۳ a	۶/۳ d
	F2	۸۳/۱ a	۲۲/۵ a	۳۶۰۴ a	۱۵۲۱ a	۶۳/۹ a	۶/۱ e
	F3	۴۷/۱ bc	۲۰/۶ b	۳۳۰۷ b	۱۴۲۳ b	۶۳/۵ a	۶/۰۵ e
	F4	۶۰/۴ b	۲۱/۹ a	۳۵۰۷ a	۱۵۰۳ a	۶۳/۸ a	۶/۱ e
کم‌آبیاری	F1	۱۰/۴ e	-	۱۷۵۵ f	۷۲۳ f	۶۰/۹ c	۷/۲ a
	F2	۵۱/۲ b	۱۳/۶ e	۲۱۸۲ e	۸۹۰ e	۶۲/۲ b	۶/۹ b
	F3	۱۶ d	۱۴/۶ d	۲۳۵۰ de	۹۹۴ d	۶۲/۳ b	۶/۹ b
	F4	۱۹/۷ cd	۱۵/۵ c	۲۴۹۵ cd	۱۰۵۳ cd	۶۲/۴ b	۶/۶ c

میانگین‌های هر ستون با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

خاک‌ورزی خاک از تخریب خاک‌دانه‌ها و هدروری عناصر جلوگیری می‌کند. از طرفی ورمی‌کمپوست موجود در تیمار کودی، با آزادسازی تدریجی عناصر در طول دوره رشد، از آشنویی عناصر جلوگیری می‌کند. فراهمی عناصر و جذب آن‌ها توسط گیاه در نهایت منجر به افزایش تولید دانه گیاه می‌شود. پژوهش‌گران نیز گزارش کرده‌اند که کود آلی تأثیرات مثبتی بر کارایی جذب عناصر دارند (Abd El-Lattief, 2011). با توجه به میانگین کودی، خاک‌ورزی حداکثر باعث کاهش NUE شد که علت آن را می‌توان زیر و رو کردن بیش از حد خاک و تخریب خاک‌دانه‌ها دانست که در نهایت از ظرفیت نگهداری عناصر خاک می‌کاهد. در چنین شرایطی، با هر بار آبیاری مقدار زیادی از عناصر موردنیاز گیاه همراه با زه‌آب از محیط ریشه خارج می‌شود. تیمار F2 و F4 در آبیاری کامل (جدول ۵)، بیش‌ترین NUE را دارا بودند. علت این امر را می‌توان به حضور رطوبت و نیتروژن موردنیاز گیاه اشاره کرد که منجر به افزایش عملکرد دانه گیاه شدند. در تیمار کم‌آبیاری، هر واحد از نیتروژن جذب‌شده، کارایی کم‌تری در تولید دانه دارند. در چنین شرایطی می‌توان با کم‌تر کردن نیتروژن مصرفی، باعث افزایش مصرف نیتروژن شد.

۳.۳. عملکرد دانه و روغن

جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده، اثر متقابل سال × رژیم‌های آبیاری، سال × تیمار کودی، رژیم‌های آبیاری × تیمار کودی، سال × سیستم خاک‌ورزی × تیمار کودی بر صفت عملکرد دانه و روغن معنی‌دار بود (جدول ۲). اثر متقابل سیستم خاک‌ورزی × تیمار کودی بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار بود و بر عملکرد روغن معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیش‌ترین عملکرد دانه در سال دوم و تیمار آبیاری مطلوب با میانگین ۳۳۸۱/۳ کیلوگرم

بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن در سال دوم و تیمار آبیاری مطلوب با میانگین ۲۲/۷ کیلوگرم در کیلوگرم به‌دست آمد (جدول ۳)، که نسبت به همین تیمار در سال اول ۹/۲۵ درصد و نسبت به کم‌آبیاری در سال دوم ۲۸/۲ درصد بیش‌تر بود. کم‌ترین کارایی مصرف نیتروژن در تیمار کم‌آبیاری در سال اول با میانگین ۱۲/۹ کیلوگرم در کیلوگرم به‌دست آمد. جدول برهم‌کنش سه‌گانه سال × سیستم خاک‌ورزی × تیمارهای کودی (جدول ۴) حاکی از آن بود که بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن در سال دوم و تیمار حداقل خاک‌ورزی × کود تلفیقی اوره + ورمی‌کمپوست با میانگین ۲۳/۹ کیلوگرم در کیلوگرم به‌دست آمد. کم‌ترین کارایی مصرف نیتروژن در سال اول و شرایط بدون شخم و تمام تیمارهای کودی مشاهده شد (جدول ۴). نتایج برهم‌کنش تیمار رژیم‌های آبیاری × تیمارهای کودی (جدول ۵) حاکی از آن بود که بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن در شرایط آبیاری مطلوب و کود اوره (۲۲/۵ کیلوگرم در کیلوگرم) و کود تلفیقی اوره + ورمی‌کمپوست (۲۱/۹) به‌دست آمد. با توجه به میانگین تیمارهای کودی، سال اول از کارایی مصرف نیتروژن بیش‌تری (۳۲/۸ درصد) نسبت به سال دوم برخوردار بود (جدول ۵). از طرفی کم‌ترین کارایی مصرف نیتروژن در شرایط کم‌آبیاری و کود اوره با میانگین ۱۳/۶ کیلوگرم/کیلوگرم به‌دست آمد.

بیش‌ترین NUE در سال دوم و آبیاری مطلوب بوده است؛ وجود رطوبت از جمله عواملی است که باعث تسریع در جذب عناصر می‌شود. بنابراین در سال دوم همراه با افزایش آبیاری میزان جذب نیتروژن نیز بیش‌تر شد. رطوبت بیش‌تر همراه با فراهمی نیتروژن منجر به افزایش عملکرد دانه شد و با توجه به ثابت‌بودن نیتروژن مصرفی، کارایی مصرف نیتروژن افزایش پیدا کرد. در سال دوم، شخم حداقل و تیمار F4 کودی، بیش‌ترین میزان NUE را داشت (جدول ۴). شخم حداقل با کاهش

کمپوست با میانگین ۱۶۶۱ کیلوگرم به دست آمد (جدول ۴). کمترین عملکرد روغن در سال اول و تیمار بدون شخم × کرت بدون کود با میانگین ۷۸۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نسبت به تیمار برتر ۵۲/۸ درصد کم تر بود. عملکرد روغن تحت تأثیر رژیم های آبیاری × تیمارهای کودی تغییر کرد، به نحوی که در هر دو رژیم آبیاری، تیمار کود اوره و کود تلفیقی اوره + ورمی - کمپوست بیشترین عملکرد دانه را به دست آورد (جدول ۵). در مجموع، بیشترین عملکرد روغن در شرایط آبیاری کامل و تیمار کود اوره (۱۵۲۱ کیلوگرم در هکتار) و تیمار کود تلفیقی اوره + ورمی کمپوست (۱۵۰۳ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۵). کمترین عملکرد روغن در شرایط کم آبیاری و کرت بدون کود (۷۲۳ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. با توجه به میانگین تیمارهای کودی، کم آبیاری موجب کاهش ۳۴ درصدی عملکرد روغن نسبت به آبیاری مطلوب شد.

تنش کم آبی سبب کاهش عملکرد دانه و روغن گیاه شد (Khodain et al., 2021). وقتی گیاه با تنش کم آبی مواجه می شود، سعی بر کاهش از دست رفتن آب از طریق بستن روزنه های خود دارد، که به نوبه خود سبب کاهش قابلیت دسترسی CO₂ برای فتوسنتز و کاهش عملکرد خواهد شد (Sun et al., 2013). همچنین در خاک های خشک، جریان عناصر غذایی به سمت ریشه گیاه و جذب مواد غذایی به وسیله گیاه کاهش می یابد، که این خود دلیلی برای کاهش عملکرد در این شرایط می باشد (Díaz-López et al., 2012).

میزان بارندگی در سال دوم بیشتر بود که خود توجیهی برای افزایش عملکرد در سال دوم نسبت به سال اول در هر دو شرایط آبیاری است. همچنین اجرای سامانه های خاک ورزی حداقل (حفاظتی) با برجای گذاشتن بقایای گیاهی در شرایط فصل رشد گرم و

در هکتار که نسبت به شرایط مشابه در سال اول ۸/۱ درصد و نسبت به کم آبیاری در همین سال (سال دوم) ۲۷/۲ درصد بیشتر بود (جدول ۳). برهم کنش سال × سیستم خاک ورزی × تیمارهای کودی (جدول ۴) نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در سال دوم و تیمار شخم حداقل × کود تلفیقی اوره + ورمی کمپوست با میانگین ۳۸۳۷ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. این در حالی بود که کمترین میزان آن در سال اول و تیمار بدون خاک ورزی × کرت بدون کود با میانگین ۱۸۵۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۴). برهم کنش رژیم های آبیاری × تیمارهای کودی (جدول ۵) نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب × تیمارهای کودی اوره و کرت بدون کود با میانگین ۱۷۵۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. در مجموع تیمارهای کودی، تیمار آبیاری مطلوب افزایش عملکردی ۳۲ درصدی داشت. همچنین در مجموع دو سال آزمایش، تیمار کود تلفیقی با عملکردی برابر با ۳۰۰۱ کیلوگرم در هکتار، افزایشی حدود ۵/۷ درصدی نسبت به دو تیمار کودی دیگر و ۳۰ درصدی نسبت به کرت شاهد داشت (جدول ۵). بیشترین عملکرد روغن در سال دوم آزمایش در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین ۱۴۴۷ کیلوگرم روغن در هکتار) به دست آمد که نسبت به کمترین عملکرد روغن (سال اول تیمار کم آبیاری) ۴۵ درصد بیشتر بود. به طور کلی، با توجه به میانگین دو تیمار آبیاری، سال دوم ۱۴/۶ درصد عملکرد روغن بیشتری نسبت به سال اول داشت (جدول ۳). در سال اول و دوم آزمایش، کم آبیاری به ترتیب باعث کاهش ۴۰ و ۲۸/۴ درصدی عملکرد روغن نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول ۳). جدول برهم کنش سال × سیستم خاک ورزی × تیمارهای کودی حاکی از آن بود که بیشترین عملکرد روغن در سال دوم و تیمار حداقل خاک ورزی × کود تلفیقی اوره + ورمی -

چرب معنی دار بود. برهم کنش رژیم های آبیاری × تیمار کودی به جز لینولئیک اسید بر درصد دیگر اسیدهای چرب اختلاف معنی داری ایجاد کرد (جدول ۲). اگرچه میزان اولئیک اسید تمام تیمارهای کودی در شرایط آبیاری مطلوب در یک سطح آماری و گروه برتر بود (جدول ۵)، اما کم آبیاری موجب کاهش ۲/۶ درصدی اولئیک اسید نسبت به آبیاری مطلوب شد. کم ترین میزان اولئیک اسید در شرایط قطع آبیاری و کرت بدون کود با میانگین ۶۰/۹ درصد مشاهده شد (جدول ۵). نتایج برهم کنش سیستم های خاک ورزی × تیمارهای کودی حاکی از آن بود که بیش ترین درصد اولئیک اسید در شرایط شخم حداقل و کود تلفیقی اوره + ورمی کمپوست با میانگین ۶۳/۹ درصد به دست آمد (جدول ۶). هم چنین در مجموع تیمارهای کودی، سیستم خاک ورزی حداقل نسبت به تیمار بدون خاک ورزی و خاک ورزی حداکثر، به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۷۵ درصد اولئیک اسید بیشتری داشت (جدول ۶).

بیش ترین میزان لینولئیک اسید در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین ۲۰/۶ درصد به دست آمد، که نسبت به کم آبیاری ۷/۶ درصد بیشتر بود (شکل ۲). بیش ترین کم ترین میزان لینولئیک اسید به ترتیب در سیستم های خاک ورزی حداقل و تیمار کود ورمی کمپوست (۲۰/۷ درصد) و سیستم شخم حداکثر و تیمار کرت بدون کود (۱۸/۷ درصد) به دست آمد که اختلافی ۹/۶ درصدی داشتند (جدول ۶). در مجموع تیمارهای کودی، شخم حداقل نسبت به شخم حداکثر و کرت بدون شخم، ۱/۴۱ و ۲/۸۴ درصد لینولئیک اسید بیشتری داشت (جدول ۶).

بیش ترین میزان لینولئیک اسید در شرایط کم آبیاری و کرت بدون کود با میانگین ۷/۲ درصد مشاهده شد (جدول ۵). کم ترین درصد لینولئیک اسید نیز در شرایط آبیاری مطلوب و تیمارهای حاوی کود مشاهده شد (جدول ۵). کم ترین درصد لینولئیک اسید نیز در شرایط

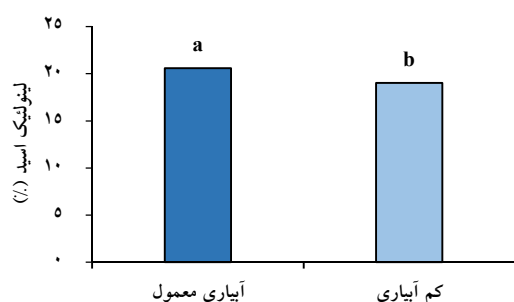
خشک، به دلیل کاهش تبخیر سطحی آب، افزایش رطوبت خاک، بهبود شرایط دمایی خاک و افزایش رشد ریشه و افزایش معدنی شدن نیتروژن خاک در مقایسه با شخم رایج، موجب افزایش عملکرد دانه و روغن می شود. از دیگر کارکردهای مثبت شخم حفاظتی و حفظ بقایای گیاهی می توان به تأمین مواد غذایی آزاد شده برای گیاه، بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک و کنترل علف های هرز به عنوان یک عامل رقابتی با گیاه اصلی اشاره کرد (Agbede et al., 2010). به نظر می رسد ورمی کمپوست با کاهش فشردگی خاک و افزایش خلل و فرج آن موجب بهبود ساختار خاک و تهویه مناسب آن شده و از طرفی محتوای آب قابل دسترس خاک را افزایش داده است. مجموعه این عوامل منجر به فراهمی مطلوب عناصر غذایی ضروری گیاه می شود که نتیجه نهایی آن بهبود فتوسنتز بوده و تأثیر مثبت بر اجزای عملکرد گیاه داشت. ترکیب دو کود ورمی کمپوست و اوره، به سبب تأثیر ورمی کمپوست در تأمین مناسب عناصر غذایی و نیز جلوگیری از آبشویی کود اوره، باعث افزایش عملکرد دانه و روغن کلزا شد. نتایج مطالعه دیگر نشان می دهد کاربرد پنج تن ورمی کمپوست در هکتار، عملکرد دانه و روغن کلزا را به ترتیب ۷ و ۱۰ درصد افزایش داد (Feizabadi et al., 2020). در مجموع می توان این گونه استنباط کرد که شخم حفاظتی همراه با کود تلفیقی علاوه بر نیتروژن، فسفر، پتاس و سایر عناصر قابل دسترس خاک برای گیاه را فراهم می کند که می تواند باعث رشد بهتر محصول و در نتیجه افزایش عملکرد نسبت به شخم رایج شود.

۳. ۴. اسیدهای چرب

اثر سیستم های خاک ورزی به جز درصد لینولئیک اسید، در باقی اسیدهای چرب معنی دار بود (جدول ۲). اثر متقابل سیستم های خاک ورزی × تیمار کودی بر درصد اسیدهای

تأثیر مدیریت کود، شخم و آبیاری بر میزان آبتروی نیتروژن، صفات کمی و کیفی کلزا (*Brassica napus L.*) در خاک شنی

تأثیر مثبتی بر کیفیت روغن کلزا دارد (Sakuma *et al.*, 2006). در پژوهش حاضر کم آبیاری باعث کاهش میزان لینولئیک اسید شد که هم‌راستا با نتایج دیگران بود (Aghdam *et al.*, 2019; Feizabadi *et al.*, 2020). اسیدهای چرب از جمله اجزای تشکیل‌دهنده غشای تیلاکوئیدی هستند که در شرایط تنش تغییر ماهیت می‌دهند (Vrablik & Watts, 2012).



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر ساده آبیاری بر درصد لینولئیک اسید میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

آبیاری مطلوب و تیمارهای حاوی کود مشاهده شد (جدول ۵). در مجموع تیمارهای کودی، کم آبیاری باعث افزایش ۱۲ درصدی لینولئیک اسید شد. هم‌چنین در مجموع دو سطح آبیاری، لینولئیک اسید در تیمارهای حاوی کود تقریباً در یک سطح و ۳/۸۵ درصد کم‌تر از کرت بدون کود بود (جدول ۵). بیش‌ترین میزان لینولئیک اسید در شرایط بدون شخم و کرت بدون کود با میانگین ۷/۰۱ درصد مشاهده شد (جدول ۶). هم‌چنین خاک‌ورزی حداکثر × تیمار کود تلفیقی اوره + ورمی‌کمپوست با میانگین ۶/۱ کم‌ترین درصد لینولئیک اسید را به دست آمد که اختلاف ۱۳ درصدی با تیمار برتر داشت (جدول ۶). در مجموع تیمارهای کودی، کرت بدون شخم از لینولئیک اسید بیش‌تری نسبت به دیگر برخوردار بود.

میزان آبیاری گیاه از جمله عواملی است که باعث تغییر در کیفیت روغن کلزا می‌شود (Khodabin *et al.*, 2021). به‌علاوه گزارش شده که افزودن ماده آلی به خاک موجب افزایش فعالیت میکروبی محیط خاک می‌شود که

جدول ۶. مقایسه میانگین برهم‌کنش خاک‌ورزی × کود بر صفات مورد بررسی در کلزا

خاک‌ورزی	کود	اولئیک اسید (%)	لینولئیک اسید (%)	لینولئیک اسید (%)
بدون خاک‌ورزی	F1	۶۱/۹ e	۱۹/۱ fg	۷/۰۱ a
	F2	۶۲/۳ de	۱۹/۷ cd	۶/۷ bc
	F3	۶۲/۶ cde	۱۹/۳ efg	۶/۶ bcd
	F4	۶۲/۷ cd	۱۹/۹ cd	۶/۵ cd
خاک‌ورزی حداقل	F1	۶۲/۰۲ e	۱۹/۵ def	۶/۵ cd
	F2	۶۳/۸ ab	۲۰/۲ abc	۶/۴ cd
	F3	۶۳/۲ bc	۲۰/۷ a	۶/۴ de
	F4	۶۳/۹ a	۲۰/۱ bcd	۶/۴ cd
خاک‌ورزی رایج	F1	۶۲/۴ de	۱۸/۷ g	۶/۸ ab
	F2	۶۳/۱ cd	۲۰/۷ ab	۶/۴ de
	F3	۶۲/۹ cd	۱۹/۷ cdef	۶/۴ de
	F4	۶۲/۶ cde	۲۰/۱ bcd	۶/۱ e

میانگین‌های هر ستون با حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

به اولئیک اسید را فراهم کرده است. نتایج به دست آمده در این پژوهش همراستا با نتایج Gasulla *et al.* (2013) و در مغایرت با نتایج Buerstmayr *et al.* (2007) بود که از علل آن می توان به نوع گیاه، شدت و مدت تنش اشاره کرد.

۴. نتیجه گیری

با توجه به نتایج این مطالعه مشخص شد که در هر دو سال بیشترین میزان آبتشویی نترات خاک مربوط به آبیاری مطلوب بود. در سیستم بدون شخم به دلیل کاهش تجزیه مواد آلی و در سیستم متداول خاک ورزی، به دلیل تخریب خاک دانه خاک، میزان عملکرد دانه و روغن نسبت به شخم حداقل، کم تر بود. نتایج حاصل از این مطالعه مشخص نمود که سیستم شخم حداقل و کاربرد ورمی کمپوست در خاک شنی، مانع از آبتشویی نترات شد. به نظر می رسد تیمارهای مذکور از نظر اقتصادی و زیست محیطی نیز مفید و نتیجه بخش باشد و می تواند گامی در جهت نیل به کشاورزی پایدار محسوب شود. این پژوهش بار دیگر اهمیت کشاورزی حفاظتی را به منظور بهبود و افزایش ماده آلی در پایداری بوم نظام های کشاورزی را مورد تأکید قرار داد. پیشنهاد می شود در ارزیابی های بعدی، شاخص های بیولوژیکی و میکروبی و فعالیت آنزیم ها در پایش تغییرات کیفیت خاک مورد توجه بیش تری قرار گیرد. در مجموع، در خاک های سبک و شنی به جای استفاده مداوم از کودهای شیمیایی، می توان از ترکیب کود شیمیایی + کود آلی استفاده کرد که هم باعث کاهش آلودگی آب های زیرزمینی شود و هم به اهداف کشاورزی پایدار نزدیک تر شود.

۵. تشکر و قدردانی

از زحمات استادان و کارکنان محترم مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع استان البرز که ما را در انجام این مهم یاری کردند، تشکر و قدردانی می گردد.

گزارش شده که تبدیل استئاریک اسید اولین مرحله از تبدیل اسیدهای چرب اشباع به غیراشباع است و آنزیم های دخیل در این فرایند با افزایش حرارت مختل می شوند (Aslam *et al.*, 2009). به نظر می رسد که تنش حاصل از کم آبی، مانع از تبدیل استئاریک اسید (C_{18:0}) (توسط آنزیم Δ-9 Desaturase) به اولئیک اسید (C_{18:1}) شده است و با کاهش اولئیک اسید، تبدیل اولئیک اسید به لینولئیک اسید (C_{18:2}) (توسط آنزیم Δ-12 Desaturase) نیز مختل می شود (Bates *et al.*, 2013).

از نتایج حاضر می توان این گونه استنباط نمود که در شرایط تنش کم آبی، با بسته شدن روزنه ها و افزایش دمای تاج پوشش گیاه، فرایند تولید اسیدهای چرب مختل شده که در نهایت منجر به کاهش اولئیک و لینولئیک اسید شده است (Nazeri *et al.*, 2018). هم چنین تنش خشکی سبب افزایش متابولیت های ثانویه در گیاه می شود که بر طبق فرضیه موازنه رشد-تمايز هر کمبودی که رشد را بیش از فتوسنتز محدود کند تولید و تجمع متابولیت های ثانویه را افزایش می دهد (Xiaolu *et al.*, 2016). با توجه به ویژگی های ورمی کمپوست، کاربرد این ماده، به تنهایی و یا به صورت تلفیقی با کود شیمیایی، منجر به ذخیره بیش تر رطوبت در خاک شده که از شدت تنش کم آبی می کاهد. از طرفی، کاربرد ورمی کمپوست با افزایش زیست توده گیاه، باعث افزایش سطح برگ و تولید بیش تر اسیدهای چرب می شود (Feizabadi *et al.*, 2020). در واقع افزایش لینولئیک اسیدها در شرایط کم آبی، با افزایش جاسمونات ها و فعال کردن سیستم دفاعی آنزیمی و غیر آنزیمی گیاه باعث افزایش مقاومت گیاه به شرایط کم آبی می شود. بیش ترین میزان اولئیک اسید در شرایط شخم حداقل و کود ورمی کمپوست به دست آمد. می توان این طور نتیجه گیری کرد که خاک ورزی حداقل و کاربرد ورمی کمپوست با حفظ رطوبت و جلوگیری از فرسایش عناصر خاک، شرایط برای تبدیل استئاریک اسید

- H., & Zechner, E. (2007). Agronomic performance and quality of oat (*Avena sativa* L.) genotypes of worldwide origin produced under Central Europeangrowing conditions. *Field crops research*, 101, 343-351. doi: 10.1016/j.fcr.2006.12.011
- Díaz-López, L., Gimeno, V., Simón, I., Martínez, V., Rodríguez-Ortega, W.M., & García-Sánchez, F. (2012). Jatropha curcas seedlings show a water conservation strategy under drought conditions based on decreasing leaf growth and stomatal conductance. *Agricultural Water Management*, 105, 48-56.
- Errebhi, M., Rosen, C. J., Gupta, S.G., & Birong, D. E. (1998). Potato Yield Response and Nitrate Leaching as Influenced by Nitrogen Management. *Agromy Journal*, 90, 10-15. Doi: 10.2134/agronj1998.00021962009000010003x
- Feizabadi, A., Noormohammadi, G., & Fatehi, F. (2020). Change in growth, physiology and fatty acid profile of rapeseed treated with vermicompost under drought stress. *Journal Soil Science and Plant Nutrition*. Online available. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00353-4>
- Gasulla, F., vom Dorp, K., Dombink, I., Zaehring, U., Gisch, N., & Doermann, P. (2013). The role of lipid metabolism in the acquisition of desiccationtolerance in *Craterostigma plantagineum*: a comparative approach. *The Plant Journal*, 75, 726-741. doi: 10.1111/tpj.12241
- Githinji, H. K., Okalebo, J. R., Othieno, C. O., Bationo, A., Kihara, J., & Waswa, B. S. (2011). Effects of Conservation Tillage, Fertilizer Inputs and Cropping Systems on Soil Properties and Crop Yield in Western Kenya. In *Innovations as Key to the Green Revolution in Africa*, 281-288. Springer, Dordrecht.
- Gotosa, J., Kodzwa, J., Gwenz, W., & Nyamangara, J. (2020). Maize nitrogen uptake and productivity under reducedand conventional tillage. Online available. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. <https://doi.org/10.1007/s10705-020-10104-7>
- Guo, P., Wang, C., Jia, Q., Wang, Q., Han, G., & Tian, X. (2011). Response ofsoil microbial biomass and enzymaticactivities to fertilizations of mixedinorganic and organic nitrogen at asubtropical forest in East China. *Plant and Soil*, 338, 355-366.
- Keshavarz, H., & Khodabin, Gh. (2019). The role of uniconazole in improving physiological and biochemical attributes of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) subjected to drought stress. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 22(2), 161-168.
- ## ۶. تعارض منافع
- هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.
- ## ۷. منابع
- Abd El-Lattief, E.A. (2011). Growth and fodder yield of forage pearl millet in newly cultivated land as affected by date of planting and integrated use of mineral and organic fertilizers. *Asian Journal of Crop Science*, 3, 35-42.
- Aghdam, A.M., Sayfzadeh, S., Shirani rad, A.H., Valadabadi, S.A., & Zakerin, H.R. (2019). The assessment of water stress and delay cropping on quantitative and qualitative traits of repeseed cultivars. *Industrial Crop and Products*, 131, 160-165. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.051>
- Agbede, T.M. (2010). Tillage and fertilizer effects on some soilproperties, leaf nutrient concentrations, growth and sweet potatoyield on an Alfisol in southwestern Nigeria. *Soil and Tillage Research*, 110, 25-32.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirement. *FAO irrigation and Drainage Paper*, NO.56, Rome, Italy.
- Allen, R.G. (1996). Assessing integrity of weather data for use in referenceevapotranspiration estimation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 122(2), 97-106.
- Aslam, M.N., Nelson, M.N., Kailis, S.G., Bayliss, K.L., Speijers, J., & Cowling, W.A. (2009). Canola oil increases in polyunsaturated fatty acids and decreases in oleic acid indrought-stressedMediterranean-typeenvironments. 2008. *Plant Breeding*.128(4), 348-355. doi:10.1111/j.1439-0523.2008.01577.x
- Basso, B., & Ritchie, J. T. (2005). Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfalfa rotation in Michigan. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 108(4), 329-341.
- Bates, P.D., Stymne, S., & Ohlrogge, J. (2013). Biochemical pathways in seed oil synthesis. *Current Oponion in Plant Biology*, 16(3), 358-364. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2013.02.015>
- Behera, S.K., & Panda, R.K. (2009). Effect of fertilization and irrigation schedule on water and fertilizer solute transport for wheat crop in a sub-humid sub-tropical region. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 130, 141-155.
- Buerstmayr, H., Krenn, N., Stephan, U., Grausgruber,

- Khodabin, G., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Rad, A.H.S., Modarres-Sanavy, S.A.M., Hashemi, S.M., & Bakhshandeh, E., (2021). Effect of Late-Season Drought Stress and Foliar Application of ZnSO₄ and MnSO₄ on the Yield and Some Oil Characteristics of Rapeseed Cultivars. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00489-x>
- Li, Ch., Hao, X., Blackshaw, R.E., O'Donovan, J.T., Neil Harker, K., & Clayton, G.W. (2012). Nitrous oxide emissions in response to ESN and urea, herbicide management and canola cultivar in a no-till cropping system. *Soil & Tillage Research*, 118, 97-106.
- Li, X., Hu, C., Delgado, J.A., Zhang, Y., & Ouyang, Z. (2007). Increase nitrogen use efficiency as a key mitigation alternative to reduce nitrate leaching in north chinaplain. *Agriculture Water Management*, 89, 137-147.
- Liu, M., Wang, C., Wang, F., & Xie, Y. (2019). Maize (*Zea mays*) growth and nutrient uptake following integrated improvement of vermicompost and humic acid fertilizer on coastal saline soil. 2019. *Applied Soil Ecology*, 142, 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.04.024>
- Nazeri, P., Shirani Rad, A.H., ValadAbadi, S.A., Mirakhori, M., & Hadidi Masoule, E. (2018). Effect of sowing dates and late season water deficit stress on quantitative and qualitative traits of canola cultivars. *Outlook on Agriculture*, 47(4), 291-297.
- Niu, Y., Luo, J., Liu, D., Müller, C., Zaman, M., Lindsey, S., & Ding, W. (2018). Effect of biochar and nitrapyrin on nitrous oxide and nitric oxide emissions from a sandy loam soil cropped to maize. *Biology and Fertility of Soils*, 54(5), 645-658.
- Omidi, H., Tahmasebi, Z., Badi, H. A. N., Torabi, H., & Miransari, M. (2010). Fatty acid composition of canola (*Brassica napus* L.), as affected by agronomical, genotypic and environmental parameters. *Comptes Rendus Biologies*, 333(3), 248-254.
- Rathke, G. W., Behrens, T., & Diepenbrock, W. (2006). Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 117(2-3), 80-108.
- Sakuma, Y., Maruyama, K., Qin, F., Osakabe, Y., Shinozaki, K., & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2006). Dual function of an Arabidopsis transcription factor DREB2A in water-stress-responsive and heat-stress-responsive gene expression. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(49), 18822-18827.
- Smith, M.K., Smith, J.P., & Stirling, G.R. (2011). Integration of minimum tillage, crop rotation and organic amendments into a ginger farming system: Impacts on yield and soil borne diseases. *Soil and Tillage Research*, 114, 108-116.
- Spiess, E., Humphrys, C., Richner, W., Schneider, M. K., Piepho, H. P., Chervet, A., & Prasuhn, V. (2020). Does no-tillage decrease nitrate leaching compared to ploughing under a long-term crop rotation in Switzerland? *Soil and Tillage Research*, 199, 104590.
- Sun, X.P., Yan, H.L., Kang, X.Y., & Ma, F.W. (2013). Growth, gas exchange, and water-use efficiency response of two young apple cultivars to drought stress in two scion-one rootstock grafting system. *Photosynthetica*, 51(3), 404-410.
- Svecnjak, Z., & Rengel, Z. (2006). Canola cultivars differ in nitrogen utilization efficiency at vegetative stage. *Field Crops Research*, 97, 221-226.
- Vrablik, T.L., & Watts, J.L. (2012). Emerging roles for specific fatty acids in developmental processes. *Genes & Development*, 26(7), 631-637.
- Wang, H., Guo, Z., Shi, Y., Zhang, Y., Yu, Zh. (2015a). Impact of tillage practices on nitrogen accumulation and translocation in wheat and soil nitrate-nitrogen leaching in drylands. *Soil & Tillage Research*, 153, 20-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.03.006>
- Wang, X., Shi, Y., Guo, Z., Zhang, Y., Yu, Zh. (2015b). Water use and soil nitrate nitrogen changes under supplemental irrigation with nitrogen application rate in wheat field. *Field Crops Research*, 183, 117-125.
- Xiaolu, X., Jie, Y., Aoxue, L., Yu, C., & Fan, Y. (2016). Drought stress and re-watering increase secondary metabolites and enzyme activity in dendrobium moniliforme. *Industrial Crop and Product*, 30, 385-393. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.041>
- Zhou, X., Wang, SH., Ma, SH., Zheng, X., Wang, ZH., & Lu, CH. (2020). Effects of commonly used nitrification inhibitors-dicyandiamide (DCD), 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP), and nitrapyrin on soil nitrogen dynamics and nitrifiers in three typical paddy soils. *Geoderma*, 380, 114637. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114637>