مجله پژوهش‌های به زراعی
جلد۱۷ ، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴

مجله پژوهش‌های به زراعی

بررسی تأثیر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر عملکرد دانه و ترکیب اسیدهای چرب برخی ژنوتیپ‌های جدید کلزا در منطقه کرج

محسن یوسفی[1*]، امیرحسین شیرانی راد[2]

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران
۲- استاد موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۲۲

چکیده

به منظور بررسی تغییرات عملکرد دانه و ترکیب اسیدهای چرب ناشی از کاربرد اسید سالیسیلیک اسید بر ژنوتیپ‌های جدید کلزا در شرایط تنش خشکی آخر فصل، آزمایشی به صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و طی سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در منطقه کرج اجرا شد. عامل آبیاری و سالیسیلیک اسید به صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و عامل ژنوتیپ در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. آبیاری در دو سطح شامل آبیاری معمول یا شاهد و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به بعد و سالیسیلیک اسید در دو سطح محلول‌پاشی با آب خالص (شاهد) و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید به میزان دو میلی‌گرم در لیتر و ژنوتیپ‌های کلزا شامل: FJL425, FJL153, FJL330, FJL424, FJL290, OKAPI بود. نتایج تحقیق نشان داد که اثر سطوح آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آبیاری × ژنوتیپ در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر عملکرد دانه نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال ژنوتیپ FJL330 با میانگین ۶۵۲۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشت، اما همین ژنوتیپ در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد کمترین عملکرد دانه را نشان داد. در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد رقم اکاپی با ۳۶۴۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. همچنین نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر میزان گلوکوزینولات دانه تایید نمودند که در شرایط آبیاری معمول ژنوتیپ‌های FJL330، FJL290 کمترین میزان گلوکوزینولات را داشتند. در شرایط تنش، رقم اکاپی کمترین میزان گلوکوزینولات را تولید نمود.

واژه‌های کلیدی: اروسیک اسید، اولئیک اسید، تنش خشکی، ژنوتیپ، کلزا

* نگارنده مسئول (miryousefi70@gmail.com)

مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. این گیاهان علاوه بر دارا بودن ذخایر غنی اسیدهای چرب، حاوی پروتئین نیز می‌باشند. کلزا به عنوان یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در سطح جهان مطرح می‌باشد (Bybordi, 2012). ژنوتیپ‌های بدون اروسیک اسید کلزا مقادیر زیادی اسید اولئیک و لینولئیک (بعضی لینولنیک) اندوخته می‌کنند که برای تغذیه پستانداران کاملاً مناسب هستند. بنابراین، روغن کلزا با ۶۱ درصد اولئیک اسید، ۲۰ درصد اسید لینولئیک، در حال حاضر به عنوان بهترین روغن در تغذیه انسان مورد قبول است (Spasibionek *et al*., 2004).

تأثیر تنش خشکی روی گیاه تابع ژنوتیپ، طول دوره خشکی، شرایط آب و هوایی و مرحله رشد گیاه می‌باشد (Roa & Mandham, 1991). زمان وقوع تنش مهم‌تر از شدت خشکی می‌باشد (Kazi *et al*., 2002). Qaderi *et al* (2006) گزارش نمودند که مراحل مختلف رشد کلزا حساسیت‌های متفاوتی به خشکی داشته و سهم آن در عملکرد متفاوت می‌باشد. این امر می‌تواند به آسانی به‌وسیله آزمایش‌های حذف آبیاری در مراحل مختلف چرخه حیات گیاه مشخص شود.

Ahmadi & Bahrani (2009) گزارش نمودند دوره زایشی به تنش خشکی بیش‌ترین حساسیت را دارد. Tohidi *et al* (2009) گزارش نمودند تنش خشکی در مرحله طویل شدن ساقه و مرحله گل‌دهی بیش‌ترین خسارت را به کلزا وارد نموده و باعث کاهش تعداد خورجین در بوته شده است و در نهایت عملکرد دانه را کاهش داده است.

سالیسیلیک اسید، ترکیبی فنولیکی است که نقش تنظیم‌کنندگی در فرآیندهای زیستی و بیوشیمیایی گیاهان دارد (Khan *et al*., 2003) که از آن جمله می‌توان به تنظیم تعرق، بسته شدن روزنه‌ها، تراوایی غشاء، رشد و فتوسنتز اشاره کرد (Shakirova *et al*., 2003). سالیسیلیک اسید یک آنتی اکسیدانت محلول در آب است که صدمات ناشی از تنش خشکی را در گیاه کاهش می‌دهد (Noreen & Ashraf, 2008). با توجه به نیاز

روز افزون به روغن‌های نباتی و وابستگی شدید کشور در این رابطه، توجه ویژه‌ای باید به توسعه کشت دانه‌های روغنی مخصوصاً کلزا گردد. بنابراین هدف از اجرای این تحقیق بررسی تأثیر سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر خصوصیات شیمیایی دانه یعنی اسیدهای چرب و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مختلف کلزا بود که به این منظور ارقام مطلوب مورد مطالعه قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه ۴۰۰ هکتاری موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج طی سال‌های زراعی ۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام شد. عرض جغرافیایی محل انجام آزمایش، ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی آن ۵۱ درجه و ۶ دقیقه شرقی بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۲۱ متر است. این منطقه براساس آمار آب و هوایی و منحنی آمبروترمیک به دلیل داشتن ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز خشک، جزء مناطق آب و هوایی مدیترانه ای گرم و خشک و با داشتن زمستان سرد و مرطوب و تابستان گرم و خشک جزء رژیم رطوبتی خشک محسوب می شود. براساس اطلاعات ۳۰ ساله هواشناسی کرج، متوسط بارندگی منطقه ۲۴۳ میلی متر در سال است.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

مشخصات	عمق نمونه برداری (سانتی متر)	عمق نمونه برداری (سانتی متر)
	۰-۳۰	۳۰-۶۰
هدایت الکتریکی(دسی زیمنس بر متر)	۱/۴۵	۱/۲۴
pH	۷/۹	۷/۲
درصد مواد خنثی شونده	۸/۵۶	۸/۶۸
درصد رطوبت گل اشباع	۳۶	۳۸
کربن آلی (درصد)	۰/۹۱	۰/۹۹
نیتروژن کل (درصد)	۰/۰۹	۰/۰۷
فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۴/۷	۱۵/۸
پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلو گرم)	۱۹۷	۱۵۵
درصد رس	۲۸	۲۵
درصد سیلت	۴۷	۴۹
درصد شن	۲۵	۲۶
بافت خاک	رسی لومی	رسی لومی

آزمایشی به صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و طی سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در منطقه کرج اجرا شد. عامل آبیاری و سالیسیلیک اسید به صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و عامل ژنوتیپ در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. آبیاری در دو سطح شامل آبیاری معمول یا شاهد و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به بعد و سالیسیلیک اسید در دو سطح محلول‌پاشی با آب خالص (شاهد) و محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید به میزان دو در لیتر و ژنوتیپ‌های کلزا شامل: FJL425, FJL153, FJL330, FJL424, FJL290, OKAPIبود.

به منظور آماده سازی زمین پس از گاورو شدن، به وسیله گاوآهن برگردان دار شخم زده شد. سپس جهت خردشدن کلوخ‌ها و همچنین یکنواخت شدن وضعیت خاک مزرعه، زمین مذکور دیسک و ماله زده شد. براساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی، اقدام به کود پاشی (قسمتی از کود نیتروژنه و تمامی کود فسفره و پتاسه مورد نیاز) و پخش علف کش ترفلان به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار به طور یکنواخت در سطح مزرعه شد و به وسیله دیسک سبک، کود و

علف‌کش با خاک مخلوط شدند. به منظوراستفاده بهینه از نیتروژن، بقیه کود نیتروژنه مورد نیاز به صورت سرک در مرحله شروع ساقه رفتن و ظهور اولین غنچه‌های گل مصرف گردید.

پس از اجرای آزمایش مطابق نقشه کاشت و سبز شدن و استقرار گیاهچه، عملیات داشت شامل کنترل آفات به ویژه شته مومی با استفاده از سم کونفیدور انجام پذیرفت.

به منظور تعیین عملکرد دانه، بوته‌های موجود از هر کرت پس از حذف اثر حاشیه از سطحی معادل ۲ متر مربع برداشت و سپس عملکرد دانه پس از کوبیدن و جدا کردن کاه از دانه و توزین دانه‌ها تعیین شد.

سنجش پروفیل اسیدهای چرب

برای این منظور از ۱۰۰ گرم نمونه بذر انتخابی و ارسال شده از هر کرت به آزمایشگاه موسسه بیوتکنولوژی کشاورزی، بخش فیزیولوژی استفاده شد. ۲۰۰ میکرولیتر از هر نمونه روغن به اضافه ۴۰۰ میکرولیتر KOH متیله را درون ویال‌های شیشه‌ای مقاوم در برابر حرارت ریخته شد و به مدت یک دقیقه فرآیند ورتکس انجام شد. سپس ویال‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری در دمای ۵۰ سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از این‌که نمونه‌ها سرد شدند، یک میلی‌لیتر ان- هگزان به نمونه‌ها اضافه و به مدت یک دقیقه ورتکس شدند. در این مرحله محلول به صورت دو فاز جداگانه در می‌آمد که از فاز بالایی به میزان ۲۰ میکرولیتر به دستگاه گاز کروماتوگراف تزریق گردید. گاز کروماتوگراف مورد استفاده در این طرح دستگاه Varian cp-3800 بود. ستون به کار رفته از نوع موئین یا کاپیلاری ویژه متیل استر اسیدهای چرب (CIPSILL88) بود. گاز حامل نیتروژن و گازهای کمکی هلیم و هوا هر یک با خلوص بسیار بالا بودند. نوع آشکارساز FID و شدت جریان یک میلی‌لیتر در دقیقه بود. دمای ستون ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد و دمای تزریق کننده و آشکارساز ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد بود. آمپول استاندارد متیل استر اسیدهای چرب F.A.M.E.Mix GLC-10,50 (sigma) جهت تشخیص زمان بازداری منحنی متیل استرهای مورد نظر مورد استفاده قرار گرفت.

جهت اندازه‌گیری میزان گلوکوزینولات و ترکیب اسیدهای چرب روغن دانه، از دستگاه HPLC

(High Performance Liquid Chromatography) استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها، بر اساس مدل آماری طرح مورد استفاده و به کمک نرم افزار آماری SAS و MSTAT-C صورت گرفت. قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، تست نرمال بودن داده‌ها انجام شد و بعد از اطمینان از توزیع نرمال داده‌ها نسبت به تجزیه و تحلیل آن‌ها اقدام گردید. مقایسه میانگین‌های هر صفت با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آبیاری × ژنوتیپ در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بودند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح آبیاری بر عملکرد دانه نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری معمول با میانگین ۵۹۲۱ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که نسبت به تیمار قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد با میانگین ۲۷۲۳ کیلوگرم در هکتار اختلاف زیادی داشت (جدول ۳). علت عملکرد بیشتر دانه در آبیاری نرمال، وجود آب کافی در دسترس گیاه می‌باشد که باعث افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه شده و در نتیجه عملکرد دانه افزایش یافته است. عملکرد دانه کلزا تابعی از تعداد غلاف در واحد سطح، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه است (Habket, 1993) پس هر عاملی که باعث کاهش این صفات شود بطور غیرمستقیم عملکرد دانه را نیز کاهش خواهد داد. همچنین خشکی از طریق تأثیر روی ظرفیت‌های بیوشیمیایی در جذب کربن می‌تواند بر عملکرد دانه تأثیر بگذارد .(Pari *et al.*, 2002) نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح ژنوتیپ بر عملکرد دانه نشان داد که ژنوتیپ‌های FJL425، FJL290 و اُکاپی به ترتیب با میانگین‌های ۴۴۲۳، ۴۶۵۵ و ۴۵۲۸ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر عملکرد دانه نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال ژنوتیپ FJL330 با میانگین ۶۵۲۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشت، اما در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل-

دهی به بعد ژنوتیپ FJL330 کمترین عملکرد دانه را در بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش داشت. در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد رقم اکاپی ۳۶۴۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد (شکل ۱). تفاوت در رابطه بین ظرفیت فتوسنتزی و میزان رشد و عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف یک گونه در سال‌های اخیر مورد بررسی قرار گرفته است (Ashraf & Bashir, 2003) طبق نتایج حاصل از این آزمایش مشخص شد که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه شد. اما ژنوتیپ‌ها می‌توانند عکس‌العمل متفاوتی از خود نشان دهند.

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آبیاری × ژنوتیپ در سطح یک درصد بر میزان پالمتیک اسید معنی‌دار بودند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح آبیاری بر پالمتیک اسید نشان می‌دهد که قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد باعث کاهش پالمتیک اسید شده است به طوری که تیمار آبیاری معمول با میانگین ۵/۸۹ درصد نسبت به تیمار قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد برتری معنی‌داری داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ژنوتیپ بر پالمتیک اسید نشان-دهنده این بود که ژنوتیپ FJL153 با میانگین ۵/۰۵ درصد کمترین میزان پالمتیک اسید را داشت و دیگر ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در یک گروه آماری مشترک قرار گرفتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری × ژنوتیپ بر میزان پالمتیک اسید نشان داد که در شرایط آبیاری معمول ژنوتیپ‌های FJL330 و FJL290 بیشترین میزان پالمتیک اسید را داشتند و کمترین میزان پالمتیک مربوط به ژنوتیپ اکاپی بود، اما در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد ژنوتیپ اکاپی بیشترین مقدار پالمتیک اسید را داشت (شکل ۲).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که میزان لینولئیک اسید تحت تأثیر تیمارهای آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آن‌ها در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح آبیاری بر میزان لینولئیک اسید نشان می‌دهد که اعمال تنش در مرحله گل‌دهی باعث افزایش میزان لینولئیک اسید نسبت به آبیاری نرمال قرار گرفت. آبیاری معمول با میانگین ۴/۶۲

درصد نسبت به قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد از مقدار لینولئیک اسید کمتری برخوردار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ژنوتیپ بر میزان لینولئیک اسید نشان داد که ژنوتیپ FJL153 با میانگین ۶/۰۵ درصد بیشترین میزان لینولئیک اسید را به خود اختصاص داد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سطوح آبیاری و ژنوتیپ بر لینولئیک اسید نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال رقم اکاپی بیشترین میزان لینولئیک را داشت. در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد ژنوتیپ‌های FJL153 و FJL330 بیشترین میزان لینولئیک اسید را داشتند (شکل ۳).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری بر میزان لینولنیک اسید در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح آبیاری بر میزان لینولئیک اسید نشان داد که آبیاری معمول با میانگین ۲۰/۸۵ درصد نسبت به قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد برتری معنی‌داری داشت (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری بر میزان اولئیک اسید در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان اولئیک اسید در تیمار آبیاری معمول با میانگین ۶۵/۳۹ درصد مشاهده گردید و نسبت به تیمار قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد برتری معنی‌داری داشت (جدول ۳). همانطور که می‌دانیم، اولئیک اسید یکی از اسیدهای چرب غیر اشباع مهم است که علاوه بر اهمیتی که در تغذیه دارد، روغن حاوی آن مقاومت بالایی در برابر اکسیداسیون داشته و برای مصارف پخت و پز بسیار مناسب است (ناصری، ۱۳۷۰). بنابراین وقوع تنش خشکی در مرحله گلدهی می‌تواند باعث کاهش کیفیت روغن کلزا شود. بین ژنوتیپ‌ها از نظر میزان اولئیک اسید و لینولنیک اسید اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، که نشان‌دهنده بالا بودن کیفیت روغن این ارقام (۶۴~۶۳ درصد) می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری، ژنوتیپ، اثر متقابل آبیاری × ژنوتیپ در سطح یک درصد و سالیسیلیک اسید در سطح ۵ درصد بر میزان اروسیک اسید معنی‌دار بودند

(جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر آبیاری بر اروسیک اسید نشان داد که قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد باعث افزایش معنی‌دار میزان اسید اروسیک با میانگین ۰/۳۱ درصد نسبت به آبیاری معمول شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح سالیسیلیک اسید بر میزان اروسیک اسید نشان داد که استفاده از سالیسیلیک اسید باعث کاهش معنی‌دار اروسیک اسید نسبت به تیمار آب خالص گردید (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ژنوتیپ بر اروسیک اسید بیانگر این بود که ژنوتیپ‌های FJL425، FJL290 و رقم اکاپی کمترین میزان اروسیک اسید را داشتند، بنابراین از کیفیت بالاتری برخوردار هستند. ژنوتیپ FJL153 با میانگین ۰/۳۲ درصد بیشترین میزان اروسیک اسید را در بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر میزان اروسیک اسید نشان داد که در شرایط آبیاری معمول ژنوتیپ‌های FJL425، FJL330، FJL290 کمترین و ژنوتیپ‌های FJL153، FJL424 و اکاپی بیشترین میزان اروسیک اسید را داشتند. در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد رقم اکاپی کمترین و ژنوتیپ‌های FJL153 و FJL330 بیشترین میزان اروسیک اسید را داشتند (شکل ۴). بنابراین از آنجا که اروسیک اسید برای انسان بسیار مضر است و ارقامی که فاقد این اسید چرب هستند از بعد تغذیه‌ای در رده عالی قرار می‌گیرند (۱۳۸۰)، لذا رقم اکاپی در شرایط تنش در مرحله گلدهی، بالاترین کیفیت را دارا است.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری، ژنوتیپ و اثر متقابل آبیاری × ژنوتیپ بر میزان گلوکوزینولات دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر آبیاری بر میزان گلوکوزینولات دانه نشان داد که تنش در مرحله گل‌دهی باعث افزایش میزان گلوکوزینولات دانه گردید. افزایش گلوکوزینولات باعث کاهش کیفیت و ارزش غذایی کنجاله دانه کلزا می‌شود (Salisbury *et al*, 1987) که تحت تأثیر عوامل ارثی و محیطی قرار دارد (Fieldsand *et al.*, 1991). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر ژنوتیپ بر میزان گلوکوزینولات دانه نشان داد که ژنوتیپ‌های FJL425،

FJL330، FJL290 کمترین و ژنوتیپ FJL153 با میانگین ۱۵ میلی گرم بر گرم وزن تازه بیشترین میزان گلوکوزینولات را داشت (جدول ۳). پژوهشگران تنوع ژنتیکی زیادی در بین واریته‌های کلزا از نظر میزان گلوکوزینولات دانه گزارش کرده‌اند (Burton *et al.*, 2004). مصطفوی راد و همکاران (۱۳۹۰) نیز گزارش دادند که ژنوتیپ‌های کلزا از نظر عملکرد دانه، ترکیب اسیدهای چرب، محتوی گلوکوزینولات، تفاوت معنی‌داری داشتند (مصطفوی راد و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر میزان گلوکوزینولات دانه نشان داد که در شرایط آبیاری معمول ژنوتیپ-های FJL330، FJL290 کمترین و ژنوتیپ FJL424 و رقم اکاپی بیشترین میزان گلوکوزینولات را داشتند. در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد، رقم اکاپی کمترین و ژنوتیپ FJL153 بیشترین میزان گلوکوزینولات را داشت (شکل ۵).

نتایج تجزیه همبستگی صفات نشان داد که عملکرد دانه با میزان پالمتیک اسید، لینولنیک اسید و اولئیک اسید همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. همچنین عملکرد دانه با لینولئیک اسید، اروسیک اسید و گلیکوزینولات دانه همبستگی منفی معنی‌داری داشت (جدول ۴). به نظر می‌رسد که اسید لینولنیک در افزایش عملکرد دانه نقش بسزایی داشته باشد، چون این اسید چرب نقش مهمی در فتوسنتز ایفا می‌کند (Hugly *et al.*, 2009) و برای توسعه دانه گرده ضرورت دارد (Mc Conn & Browse, 2006). با توجه به وجود همبستگی منفی و معنی‌دار بین اولئیک اسید و لینولئیک اسید، اروسیک اسید و گلیکوزینولات دانه، با افزایش اسید اولئیک، اسیدهای چرب مذکور کاهش خواهد یافت. رابطه معکوس بین میزان اسیدهای چرب اولئیک و لینولئیک در آفتابگردان (Flagella *et al.*, 2002) و کلزا (مصطفوی‌راد و همکاران، ۱۳۹۰; Abdul & Fayyazul, 2006) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان استنباط کرد که پاسخ ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی از نظر عملکرد دانه و ترکیب اسیدهای چرب متفاوت بود. در شرایط آبیاری نرمال ژنوتیپ FJL330 بیشترین عملکرد دانه را داشت، اما همین رقم در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد رقم اکاپی ۳۶۴۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. نتایج همچنین نشان‌دهنده این بود که وقوع تنش علاوه بر کاهش عملکرد دانه، باعث کاهش کیفیت روغن شد. به طوری که تنش باعث افزایش عوامل ضد کیفیتی روغن مثل اروسیک اسید و گلوکوزینولات شد و در عین حال باعث کاهش میزان اسیدهای چرب غیر اشباع مثل لینولنیک اسید و اولئیک اسید شد. در ارتباط با تأثیر سالیسیلیک می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از این محلول باعث کاهش اروسیک اسید شد و در سایر اسیدهای چرب تأثیر قابل توجهی مشاهده نشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد دانه و ترکیب اسیدهای چرب کلزا

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	پالمتیک اسید	لینولئیک اسید	لینولنیک اسید	اولئیک اسید	اروسیک اسید	میزان گلوکوزینولات دانه
سال	۱	۳۰۰۱۲۶۷/۵۰۷ ns	۴/۵۸۰ ns	۰/۴۹۰ ns	۱۵/۹۴۷ ns	۱۲/۳۶۶ ns	۴۰/۲۱۷ *	۱۳/۹۴۰ ns
خطا	۴	۶۵۸۵۱۴/۴۰۳	۰/۳۸۷	۰/۲۳۵	۱۰/۴۳۰	۱۱/۴۷۵	۵/۲۴۷	۳/۰۵۸
آبیاری	۱	۳۶۸۳۴۰۷۶/۸۴۰ **	۷۰/۹۸۱**	۱۹۹/۵۱۱*	۴۳۸/۳۵۴**	۴۳۶/۵۵۹ *	۱۰۰۹۵/۲۲۶**	۱۳۷۵/۶۸۰ **
سال × آبیاری	۱	۸۹۴۱۲۷/۸۴۰ ns	۰/۸۵۹ ns	۰/۰۹۷ ns	۱/۸۴۸ ns	۴/۹۵۲ ns	۳۰/۱۵۸ ns	۱۲/۵۲۸ ns
سالیسیلیک اسید	۱	۲۹۹۴۳۴۱/۸۴۰ ns	۰/۲۸۶ ns	۰/۵۸۶ ns	۵/۶۱۳ ns	۳/۵۰۴ ns	۵۷/۶۳۳ ns	۵/۴۱۳ ns
سال ×سالیسیلیک اسید	۱	۴۱۵۸۲/۰۰۷ ns	۰/۰۱۸ ns	۰/۰۰۳ ns	۱/۱۷۹ ns	۰/۳۴۱ ns	۰/۰۶۷ ns	۰/۰۳۱ ns
آبیاری× سالیسیلیک اسید	۱	۹۳۶۰/۵۶۳ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۸۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۴۷۸ ns	۰/۱۵۳ ns
سال × آبیاری ×سالیسیلیک اسید	۱	۷۲۶۳۳۰/۰۶۲ ns	۰/۰۴۰ ns	۰/۳۳۴ ns	۰/۴۳۰ ns	۰/۴۵۵ ns	۱۹/۸۷۷ ns	۲/۶۰۹ ns
خطا	۱۲	۸۴۲۰۸۹/۲۰۸	۰/۳۵۵	۰/۹۰۷	۴/۰۳۱	۸/۸۱۴	۱۱/۱۱۶	۲/۷۸۵
ژنوتیپ	۵	۱۸۳۷۶۹۵/۴۷۵ **	۰/۲۳۶ *	۰/۸۰۵ **	۱/۳۸۷ ns	۴/۵۴۸ ns	۵۸/۱۰۶ **	۸/۶۷۷ **
سال × ژنوتیپ	۵	۹۱۸۳۸/۴۷۵ *	۰/۱۰۸ ns	۰/۳۴۸ ns	۱/۰۶۹ ns	۰/۸۳۲ ns	۳۴/۹۰۲ **	۴/۵۰۸ *
آبیاری× ژنوتیپ	۵	۴۵۴۵۸۳/۷۱۳**	۰/۵۷۱ **	۲/۱۲۰ *	۴/۰۱۰ ns	۶/۹۳۱ ns	۱۳۳/۸۴۴ **	۱۳/۷۸۹ **
سال × آبیاری × ژنوتیپ	۵	۴۵۴۵۸۳/۷۱۳ ۹۲۲۰۴۵/۶۲۴*	۰/۱۶۶ ns	۰/۴۹۸ *	۱/۳۴۶ ns	۳/۳۶۱ ns	۲۶/۲۵۲ *	۳/۵۴۸ ns
سالیسیلیک اسید× ژنوتیپ	۵	۱۰۶۰۹۵/۶۵۷ ns	۰/۰۲۳ ns	۰/۰۶۵ ns	۰/۱۳۴ ns	۰/۶۹۴ ns	۲/۰۴۷ ns	۰/۳۲۰ ns
سال ×سالیسیلیک اسید× ژنوتیپ	۵	۹۶۶۶/۷۲۴ ns	۰/۰۱۶ ns	۰/۰۴۳ ns	۰/۰۹۳ ns	۰/۴۱۴ ns	۱/۵۹۵ ns	۰/۲۴۸ ns
آبیاری ×سالیسیلیک اسید× ژنوتیپ	۵	۵۹۱۴۶۶/۸۷۹ ns	۰/۰۴۸ ns	۰/۲۲۹ ns	۱/۲۵۷ ns	۱/۶۰۳ ns	۱۱/۷۹۷ ns	۱/۴۵۹ ns
سال × آبیاری ×سالیسیلیک اسید× ژنوتیپ	۵	۷۹۷۷۶۳/۸۷۹ *	۰/۰۵۴ ns	۰/۲۶۸ ns	۱/۲۰۰ ns	۱/۳۳۶ ns	۱۶/۶۱۱ ns	۲/۲۱۵ ns
خطا	۸۰	۳۲۳۸۰۱/۷۲۴	۰/۰۹۵	۲۲۹۰	۱/۸۲۱	۶/۴۷۲	۱۰/۱۲۸	۱/۶۲۲
ضریب تغییرات (درصد)	–	۸/۹	۵/۹۳	۸/۲۶	۵/۲	۴/۰۰	۱۰/۴۸	۱۰/۶۸

ns ، * و ** به ترتیب بیانگر غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ می‌باشند.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثر ساده آبیاری، سالیسیلیک اسید و ژنوتیپ بر عملکرد و ترکیب اسیدهای چرب

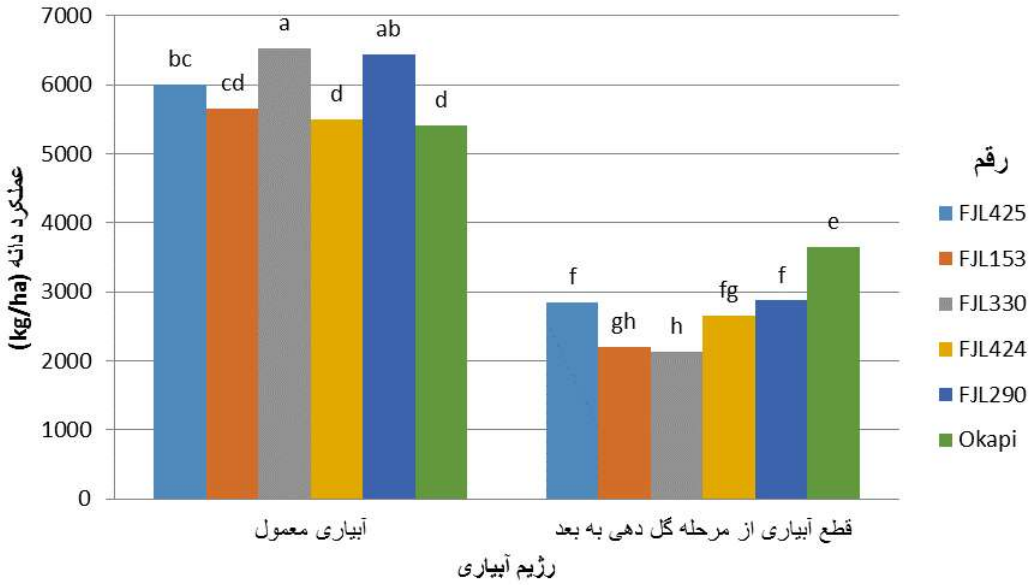
آبیاری	عملکرد دانه (kg/ha)		پالمتیک اسید (٪)		لینولئیک اسید (٪)		لینولنیک اسید (٪)		اولئیک اسید (٪)		اروسیک اسید (٪)		میزان گلوکوزینولات دانه (mg/g.fw)	
آبیاری معمول	۵۹۲۱	a	۵/۸۹	a	۴/۶۲	b	۲۰/۸۵	a	۶۵/۳۹	a	۰/۲۱	b	۸,۸۳	b
قطع آبیاری از مرحله گل دهی به بعد	۲۷۲۳	b	۴/۴۸	b	۶/۹۷	a	۱۷/۶۳	b	۶۱/۹۱	b	۰/۳۸	a	۱۵,۰	a
سالیسیلیک اسید														
آب خالص	۴۱۷۸	a	۵/۱۴	a	۵/۸۶	a	۱۸/۱۹	a	۶۳/۵۰	a	۰/۳۱	a	۱۲,۱۲	a
سالیسیلیک اسید	۴۴۶۶	a	۵/۲۳	a	۵/۷۳	a	۱۹/۳۰	a	۶۳/۸۰	a	۰/۲۹	b	۱۱,۷۳	a
ژنوتیپ														
FJL425	۴۴۲۳	a	۵/۲۹	a	۵/۶۹	bc	۱۹,۲۳	a	۶۴/۰۲	a	۰/۲۹	c	۱۱,۶۶	c
FJL153	۳۹۲۴	c	۵/۰۵	b	۶/۰۵	a	۱۸,۷۷	a	۶۳/۰۰	a	۰/۳۲	a	۱۲,۸۴	a
FJL330	۴۳۲۷	ab	۵/۱۷	ab	۵/۸۴	a-c	۱۹,۲۵	a	۶۳/۷۰	a	۰/۳۰	bc	۱۱,۹۲	bc
FJL424	۴۰۷۶	bc	۵/۱۰	ab	۵/۹۶	ab	۱۸,۸۴	a	۶۳/۲۴	a	۰/۳	ab	۱۲,۴۳	ab
FJL290	۴۶۵۵	a	۵/۲۹	a	۵/۶۰	c	۱۹,۳۶	a	۶۳/۹۷	a	۰/۲۸	c	۱۱,۳۴	c
Okapi	۴۵۲۸	a	۵/۲۲	ab	۵/۶۴	c	۱۹,۱۹	a	۶۳/۹۸	a	۰/۲۹	c	۱۱,۳۸	c

سطوح تیماری که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در گروه بندی با آزمون دانکن در سطح ۵٪ در گروه آماری مشابهی قرار دارند.

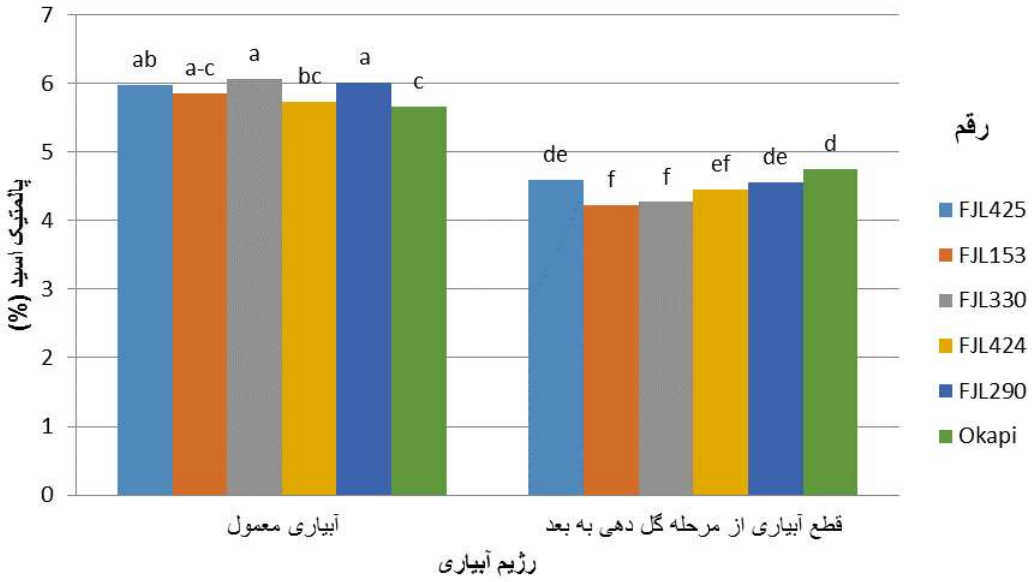
جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات مورد آزمون

	عملکرد دانه	پالمتیک اسید	لینولئیک اسید	اولئیک اسید	اولئیک اسید	اروسیک اسید	گلوکوزینولات دانه
عملکرد دانه	۱						
پالمتیک اسید	۰/۸۸۰ **	۱					
لینولئیک اسید	-۰/۹۳۴ **	-۰/۸۵۳ **	۱				
لینولنیک اسید	۰/۸۱۴ **	۰/۸۸۹ **	-۰/۷۸۲ **	۱			
اولئیک اسید	۰/۶۶۲ **	۰/۶۵۹ **	-۰/۵۸۴ **	۰/۶۴۶ **	۱		
اروسیک اسید	-۰/۹۶۳ **	-۰/۸۸۳ **	۰/۹۲۷ **	-۰/۸۰۴ **	-۰/۶۹۰ **	۱	
گلوکوزینولات دانه	-۰/۹۴۷ **	-۰/۸۷۱ **	۰/۹۴۴ **	-۰/۸۰۵ **	-۰/۶۲۷ **	۰/۹۳۴ **	۱

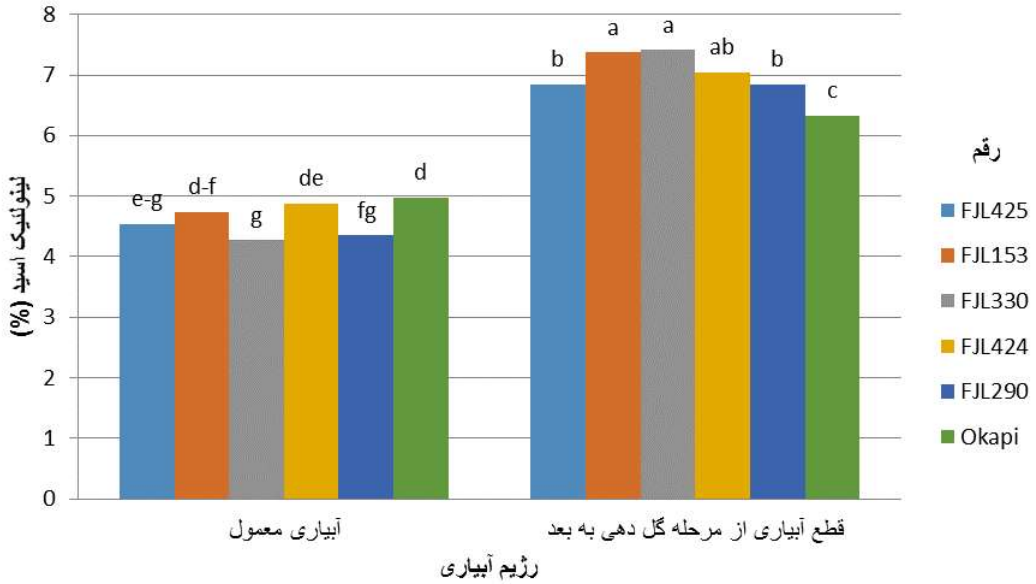
** بیانگر غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۱٪ می‌باشد.



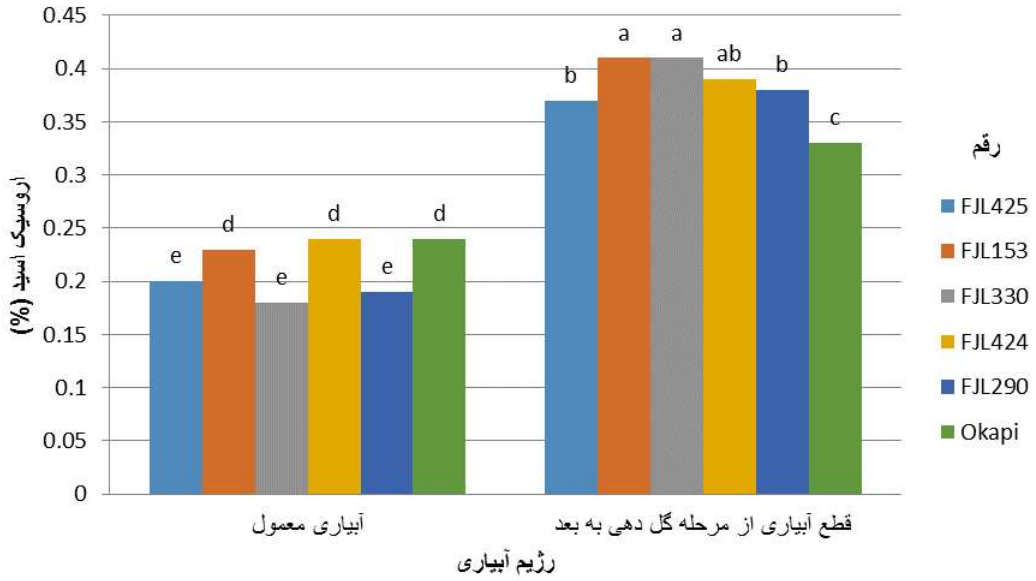
شکل ۱- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر عملکرد دانه



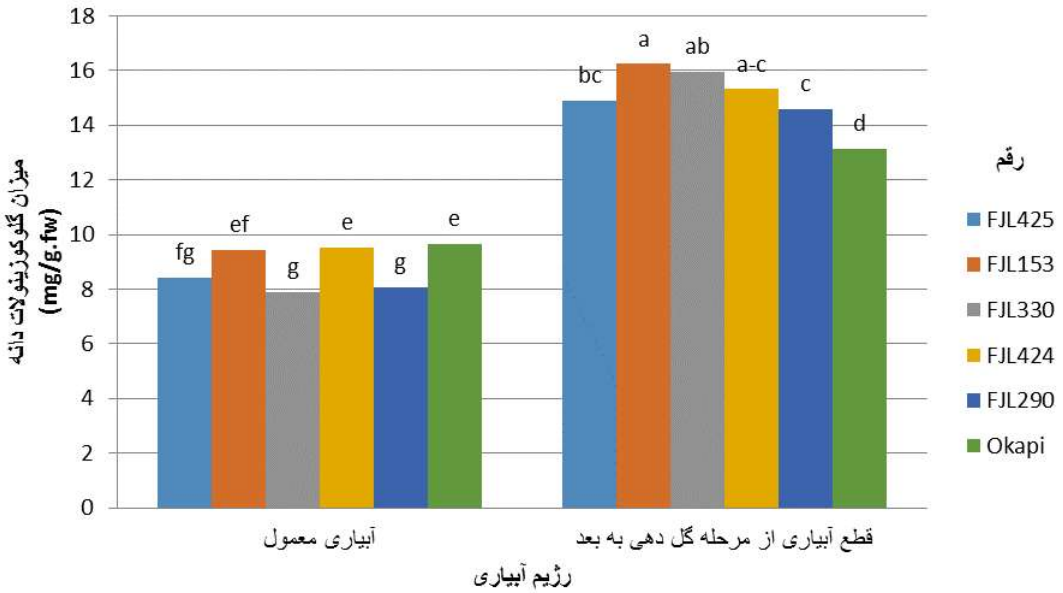
شکل ۲- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر میزان پالمتیک اسید



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر میزان لینولئیک اسید



شکل ۴- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر میزان اروسیک اسید



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ بر میزان گلوکوزینولات دانه

منابع

دستپاک، آ. ۱۳۸۰. تعیین قرابت و بررسی شیمیوتاکسونومی چند رقم کدو (*Cucurbita*)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه. ۱۸۹ ص.

مصطفوی راد، م.، ز. طهماسبی سروستانی، ع. م. مدرس ثانوی، و ا. قلاوند. ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد، ترکیب اسیدهای چرب و میزان عناصر ریز مغذی بذر در ژنوتیپ‌های پرمحصول کلزا تحت تأثیر مقادیر مختلف گوگرد. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، ۴ (۱): ۶۰-۴۳.

ناصری، ف. ۱۳۷۰. دانه‌های روغنی. انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۳۲ ص.

Abdul, M. and H. Fayyazul. 2006. Effects of sulphur on fatty acid accumulation in *Brassica* cultivars. Int. J. Agric. Biol, 5: 588-592.

Ahmadi, M. and M.J. Bahrani. 2009. Yield and yield components of rapeseed as influenced by water stress at different growth stages and nitrogen levels .

In: McGregor, D.I. (edn.). Proceedings of 8th International Rapeseed Congress. Canada Saskatoon, 686-694.

Flagella Z., T. Rotunnon, E. Tarantino, R. Di-Caterina, and A. Decaro. 2002. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annus* L.) hybrids in relation to sowing date and water regime. Europ J. Agron, 17: 3. 221-230.

Habekotte B. 1993. Quantitative analysis of pod formation, seed set and seed filling in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) under field conditions. Field Crops Res, 35: 21-33.

Hugly, S., L. Kunt, J. Browse, and C. Somerville. 2009. Enhanced thermal tolerance of photosynthesis and altered chloroplast ultrastructure in a mutant of Arabidopsis deficient in lipid desaturastion. Plant Physiol, 90: 1134-1142.

Kazi, B.R., F.C. Oad, G.H. Jamro, L. Jamil, and A.A. Lakho. 2002. Correlation study between irrigation frequencies and brassica plant character. Journal of Applied Sciences, 6: 625-627.

American-Eurasian Journal. Agriculture. & Environment. Science, 5 (6): 755-761.

Ashraf, M. and A. Bashir. 2003. Relationship of photosynthetic capacity at the vegetative stage and during grain development with grain yield of two hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in yield. Eur. J. Agron, 19: 277-87.

Bybordi, A. 2012. Effect of ammonium/nitrate ratio on photosynthesis, respiration and some vegetative traits of canola grown under salinity stress. Journal of Food, Agriculture & Environment, 10(1): 467-474.

Burton, W.A., V.L. Ripley, D.A. Potts, and P.A. Salisbury. 2004. Assessment of genetic diversity in selected breeding lines and cultivars of canola quality Brassica juncea and their implications for canola breeding. Euphytica, 136: 181-192 .

Fieldsend, J.K., F.E. Murray, P.E. Bilsborrow, G.F. Milford, and E.J. Evans. 1991. Glucosinolate accumulation during seed development in winter sown oilseed rape (*B. napus*).

Roa, M.S. and N.J. Mandham. 1991. Soil plant-water relations of oilseed rape (*B.napus, B.compestris*), Journal. Agriculture. Science.combridge,117:197-205.

Shakirova, F.M, R.A. Sakhahutdinova, M.V. Berzukova, R.A. Fatkhutdinova, and D.R. Fatkhutdinova. 2003. Change in hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Sci, 164: 317.

Spasibionek, S, J. Krzymański, and I. Bartkowiak-Broda. 2003. Mutants of *Brassica napus* with changed fatty acid composition. Pp. 221-223. Processing of 11th Internatinal Rapeseed Congress. Kopenhaga, Dania.

Sulisbury, P., J. Sang, and R. Cawood. 1987. Genetic and environmental factors influencing glucosinolate content in rapeseed in southern Australia. In: Proceedings of the 7th International rapeseed congress, Poland. The plant breeding and acclimatization institute, Poznan, 516-520.

Tohidi-M, H.R., A.H. Shirani-Rad, G .Nour-Mohammadi, D. Habibi, S.A.M. Modarres-anavy, M. Mashhadi-Akbar-Boojar, and A. Dolatabadian. Khan W, Prithiviraj B and Smith D. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. Plant Physiol., 160: 485-92.

Mc Conn, M. and J. Browse. 2006. The critical requirement for linolenic acid is pollen development, net photosynthesis, in an Arabidopsis mutant. Plant Cell, 8: 403-416.

Noreen, S. and M. Ashraf. 2008. Alleviation of adverse effects of salt stress on sunflower (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of salicylic acid: growth and photosynthesis. Pakistan Journal Botany, 40(4): 1657-1663.

Parry, M.A.J, P.J. Andralojic, S. Khan, P.J. Lea, and A.J. Keys. 2002. Rubisco activity: effects of drought. Annals of Botany, 89: 833-839.

Qaderi, M.M, M. Kurepin, V. Leonid, and R. David. 2006. Growth and physiological responses of canola (*Brassica napus*) to three components of global climate change: temperature, carbon dioxide and Drought. Physiologia plantarum, 4: 710-721.

application. L Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, 3: 243-250.

2009. Response of six oil seed rape genotype to water stress and hydrogical

Investigation of water stress and salicylic acid effects on grain yield and fatty acids composition of some new Rapeseed genotypes in Karaj region

Mohsen Yousefi[1*], Amirhossein Shirani Rad[2]

1. Ph.D graduated, Department of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
2. Research Professor of Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Received: 2025.3.13 **Accepted: 2025.6.12**

Abstract:

We investigated the physiological changes of new rapeseed genotypes influenced by salicylic acid under water stress in Karaj, Iran during 2019 and 2020. The experiment was arranged as factorial split-plot based on RCBD with three replications. Irrigation in 2 levels (normal irrigation and cut off irrigation after flowering stage) and salicylic acid in 2 levels (Control and 2 mg/l of salicylic acid foliar application) as factorial in main plots and 6 genotypes (FJL425, FJL153, FJL330, FJL424, FJL290 and Okapi) in sub plots were considered. The results of ANOVA showed that effect of irrigation regime, genotype and irrigation regimes × genotype interaction was significant on grain yield. Result of and irrigation regimes × genotype interaction revealed that *FJL330* with mean of 6524 kg/ha had the highest grain yield under normal irrigation, but the same genotype had the lowest grain yield under water stress. Results also demonstrated that FJL330 and FJL290 genotypes had the lowest glucosinolate content under normal irrigation. Okapi had the lowest glucosinolate under water stress.

Keywords: Oleic acid, rapeseed, genotype, drought stress, erucic acid

* Corresponding author (miryousefi70@gmail.com)