نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد سیزدهم، شماره ۴(۵۲)، زمستان ۱۳۹۸، صفحه ۵۱۶-۴۹۹

تغییرات کیفی و عملکرد ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) به تنش خشکی آخر فصل در شرایط کشت تاخیری

مجتبی روحی[۱]، محمد بنایان اول[۲*] و امیرحسین شیرانی‌راد[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۸ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۷/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۲۰

چکیده

ارقام جدید زمستانه کلزا (شش لاین آماده معرفی امید بخش و رقم بومی احمدی به‌عنوان شاهد) برای واکنش به تنش خشکی آخر فصل در شرایط کشت تاخیری در دو سطح شامل تاریخ کاشت معمول (۲۰ مهر) و تاریخ کاشت تأخیری (۵ آبان) و دو سطح آبیاری شامل آبیاری معمول (شاهد) و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد، به‌صورت آزمایش فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ و ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج مورد بررسی قرار گرفتند. تاریخ کاشت و آبیاری به‌عنوان عامل اصلی و ارقام به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. رقم L72 در هر دو تاریخ کاشت مقدار پالمتیک اسید بیشتری داشت. بیشترین مقدار اولئیک اسید و لینولئیک اسید به‌ترتیب معادل ۶۶/۲ و ۱۸/۳۴ درصد در تاریخ کاشت ۲۰ مهر ماه و آبیاری نرمال به‌دست آمدند. بیشترین مقدار اروسیک اسید در رقم HW3 معادل ۰/۲۷ درصد و بیشترین مقدار لینولنیک اسید معادل ۶/۹۵ درصد در تاریخ کاشت ۲۰ مهر از رقم L72 حاصل شد در حالی‌که کمترین مقدار لینولنیک اسید از تیمار تاریخ کاشت ۵ آبان در رقم HW3 به‌دست آمد. در تیمار قطع آبیاری، گلوکوزینولات دانه ۱۴ درصد بیشتر از آبیاری معمول بود. بیشترین عملکرد دانه به مقدار ۴۲۳۱/۲ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۲۰ مهر از رقم L72 و کمترین آن در تاریخ کاشت ۵ آبان از رقم HW3 حاصل شد. در تاریخ کاشت ۲۰ مهر، بیشترین درصد و عملکرد روغن دانه به‌ترتیب معادل ۴۶/۵۴ درصد و ۲۵۷۶/۶ کیلوگرم در هکتار از رقم L72 و کمترین مقدار این صفات در تاریخ کاشت ۵ آبان از رقم HW3 تولید شدند. به‌طورکلی، نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی آخر فصل رقم L72 در هر دو تاریخ کاشت بیشترین عملکرد دانه و روغن را به‌عنوان دو صفت مهم در این گیاه زراعی به خود اختصاص داد.

واژگان کلیدی: اسید لینولئیک، اسید لینولنیک، تنش خشکی، کلزا.

۱- دانشجوی دکترای اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. (نگارنده‌ی مسئول) Banayan@um.ac.ir
۳- استاد موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) از مهم‌ترین گیاهان روغنی است که از نظر تولید روغن بعد از سویا و نخل روغنی مقام سوم دنیا را به خود اختصاص داده‌است (Anonymous, 2018). کنجاله کلزا حاوی ۴۸–۴۰ درصد روغن و ۴۰–۳۴ درصد پروتئین است. روغن آن به‌دلیل ترکیب مناسب اسیدهای چرب غیراشباع اولئیک (امگا ۹)، لینولئیک (امگا ۶)، و آلفا لینولئیک (امگا ۳) و داشتن پایین‌ترین میزان اسیدهای چرب اشباع (حدود ۷ درصد) با کیفیت‌ترین روغن خوراکی است (Starner *et al*., 2002). براساس آمار در سال ۲۰۱۸ سطح زیر کشت، میزان تولید و میانگین عملکرد جهانی کلزا به‌ترتیب حدود ۴۵/۲ میلیون هکتار، ۷۹/۶ میلیون تن و ۹۹۰/۳ کیلوگرم در هکتار بوده است (FAO, 2018). کلزا به دلیل راندمان مصرف آب بالا، تحمل به خشکی (AL- Barrak, 2006) و تحمل متوسط به شوری (Nielsen, 1997) جایگاه ویژه‌ایی از نظر تولید در مناطق خشک و نیمه خشک دارد (Bray *et al*., 2000). تنش خشکی به شدت بر کاهش عملکرد کلزا اثر گذار است. تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدود کننده تولید محصولات در سیستم‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌رود (Debaeke and Aboudrare, 2004). اگرچه کمبود آب در بسیاری از مراحل نموی، عملکرد کلزا را کاهش می‌دهد ولی اثرات منفی تنش در طی مراحل گلدهی و نمو خورجین‌ها بارزتر است (Sinaki *et al*., 2007). روبرتسون و هولاند (Robertson and Holland, 2004) اثر تنش خشکی بر گیاه زراعی را تابعی از ژنوتیپ، شدت و مدت تنش، شرایط آب و هوایی و مراحل نمو گزارش کردند. احمدی و بحرانی (Ahmadi and Bahrani, 2009) بیان داشتند که عملکرد کلزا می‌تواند به‌وسیله دوره‌های نسبتاً کوتاهی از کمبود آب و رطوبت خاک در خلال مرحله زایشی محدود شود. محققین ضمن بررسی تنش خشکی در مراحل مختلف نمو در گیاهان زراعی، حساس‌ترین مراحل را در لوبیا پر شدن دانه (Nielsen and Nelson, 1998)، در سویا مراحل اواسط تا اواخر دانه‌بندی (Brevedan and Egli, 2003)، در ماش گلدهی و تشکیل نیام (Sadeghipour, 2008)، در کلزا گلدهی و پر شدن دانه (Sinaki *et al*., 2007)، در کنجد مرحله گلدهی و پر شدن دانه (Jain, 2010) بیان کرده‌اند.

سینکی و همکاران (Sinaki *et al*., 2007) گزارش نمودند تنش خشکی درصد روغن دانه را ۲۰ درصد نسبت به شرایط نرمال کاهش داد. در عین حال اثر تنش خشکی به زمان، مدت و شدت کمبـود آب بستگی دارد. لذا، مشخص کردن زمان‌های بحرانی آبیاری و زمان‌بندی دقیق و به هنگام آن می‌تواند در حفظ آب، بهبود کارآیی آن و پایداری کشاورزی نقش مؤثری داشته باشد. با این وجود یافته‌های ایگبدون و همکاران (Igbadun *et al*., 2006) نشان داد که عکس‌العمل گیاه زراعی بیش از آنکه وابسته به کل آب مصرفی در طول فصل رشد باشد به مقدار آب مصرفی در مراحل مختلف نمو وابسته است. تغییر در تاریخ کاشت می‌تواند زمان رشد و نمو کلزا را تغییر داده و از اثرات منفی تنش رطوبتی و حرارتی در مراحل بحرانی گیاه جلوگیری کند (Chen *et al*., 2003). در آزمایشی با تاخیر کشت ارقام بهاره کلزا کاهش عملکردی معادل ۴۳ تا ۶۳ درصد گزارش شده است (Chen *et al*., 2005).

نتایج بررسی پاسبان‌اسلام و علیزاده (Pasban Eslam and Alizadeh, 2019) در خصوص کلزا نشان داد که ارقام رایج منطقه مانند اکاپی و نیما در خاک شور، عملکرد دانه و روغن کمتری نشان دادند. بین اجزای عملکرد دانه با همدیگر و با عملکرد دانه و روغن و همچنین بین عملکرد روغن با عملکرد دانه و با درصد روغن دانه همبستگی مثبت و معنی دار به دست آمد. نتایج کلی تحقیقات نشان می‌دهد که ارقام مختلف کلزا به دلیل تفاوت‌های ژنتیکی، عکس‌العمل‌های متفاوتی به تنش خشکی نشان داده و عوامل مدیریتی از جمله تغییر در تاریخ کاشت می‌تواند از طریق تاثیر بر مراحل نمو خسارت ناشی از خشکی را کاهش داده و علاوه بر کاهش میزان آب مصرفی عملکرد کمی و کیفی محصول را تحت تاثیر قرار دهد.

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی در مراحل انتهایی رشد زایشی و همچنین ارزیابی تاثیر کاهش دوره رشد، به‌منظور گزینش ارقام برتر جهت توصیه در کشت پاییزه کلزا بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی ۴۰۰ هکتاری موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج طی سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ و ۱۳۹۵-۱۳۹۴ اجرا 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 بر اساس آمار آب و هوایی و منحنی آمبروترمیک جزو مناطق آب و هوایی مدیترانه‌ای گرم و خشک و با داشتن زمستان سرد و مرطوب و تابستان گرم و خشک جزو رژیم رطوبتی خشک محسوب می‌شود. متوسط بارندگی منطقه طی دوره ۳۰ ساله، ۲۴۴ میلی‌متر در سال است (اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک کرج). میانگین دمای ماهانه و بارش تجمعی ماهانه کرج در دوره آزمایش در شکل ۱ نمایش داده شد است.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی آبیاری در دو سطح شامل آبیاری معمول (شاهد) و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی و عامل فرعی ارقام کلزا شامل BAL11، BAL6، BAL3، BAL8، HW3، Ahmadi و L72 و کشت تاخیری در دو سطح شامل تاریخ کاشت معمول (۲۰ مهر) و تاریخ کاشت تأخیری (۵ آبان) بود. دلیل قطع آبیاری در این پژوهش، نبود آب کافی برای آبیاری کلزا است اما شدت تنش به لحاظ عددی مد نظر نبود. تاریخ کاشت معمول منطقه نیز ۲۰ مهر می‌باشد و جهت مقایسه اثر تنش، تاریخ کاشت تاخیری نیز در نظر گرفته شد.

زمین آزمایش در دو سال قبل به‌ترتیب آیش و تحت کشت گندم بوده و از یکنواختی مناسب برخوردار می‌باشد. قبل از کاشت، جهت تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک از عمق ۳۰-صفر و ۶۰- ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری به‌عمل آمد. مقادیر کود مورد نیاز پس از آزمون خاک و بر اساس دستورالعمل موسسه تحقیقات آب و خاک اعمال شد. کودهای فسفر و پتاسیم قبل از تهیه بستر و کود اوره در سه نوبت (همراه با کشت، شروع رشد مجدد و شروع گلدهی) به خاک اضافه شد. به‌منظور کنترل علف‌های هرز، سم‌پاشی با علف‌کش ترفلان به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار انجام و سپس به‌وسیله دیسک با خاک

مخلوط خواهد شد. هر کرت فرعی شامل سه پشته به فاصله ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر و دو ردیف کاشت روی پشته به فاصله ۳۰ سانتی‌متر و به طول ۶ متر بود. به‌منظور جلوگیری از نفوذ آب به تیمارهای مجاور، بین هر تکرار ۶ متر، بین پلات‌های اصلی ۳ متر و بین پلات‌های فرعی ۱/۲ متر در نظر گرفته شد. به‌منظور اطمینان داشتن از تراکم مطلوب، در هنگام کاشت، بذر بیشتری استفاده و برای دست‌یابی به تراکم مورد نظر (۶۵ و ۴۵ بوته در متر مربع به‌ترتیب برای ارقام و هیبریدها) در مرحله ۴ تا ۶ برگی نسبت به تنک مزرعه اقدام شد. کنترل علف‌های هرز باریک برگ با استفاده از علف‌کش سوپر گالانت به‌میزان ۰/۷ لیتر در هکتار پس از سبز شدن علف‌های هرز صورت گرفت. کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ به‌صورت مکانیکی و در دو نوبت (همزمان با تنک و قبل از شروع ساقه رفتن) انجام و برای کنترل شته مومی از شته‌کش مناسب در مقاطع مورد نیاز استفاده شد.

برای تعیین عملکرد دانه مساحتی معادل ۲/۴ متر مربع (۲ متر طولی از چهار ردیف وسط هر کرت) با رعایت اثر حاشیه‌ای برداشت شد. درصد روغن دانه با استفاده از دستگاه NMR[1] اندازه‌گیری و عملکرد روغن نیز محاسبه شد.

استرهای متیل اسیدهای چرب با روش ساواگ و همکاران (Savage *et al.*, 1997) آماده شد. ۲ میلی‌لیتر سود ۰/۰۱ مولار (در متانول) به لوله‌ی حاوی حدود ۱۰ میلی گرم روغن اضافه شد. ۰/۵ میلی‌لیتر هگزان افزوده شد و سپس در حمام آب ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد. پس از آن، تری فلوراید بر (BF3) ۲۰٪ (در متانول) به لوله اضافه شد و نمونه‌ها ۱۰ دقیقه دیگر در حمام آب ۶۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. سپس لوله حاوی نمونه زیر جریان آب سرد خنک شده و ۲ میلی‌لیتر کلراید سدیم ۲۰٪ (وزنی/حجمی) و ۱ میلی‌لیتر هگزان اضافه شد. پس از هم‌زدن کامل، لایه هگزان حاوی متیل‌استر اسیدهای چرب به‌وسیله سانتریفیوژ جداسازی شد. درصد اسیدهای چرب از طریق کروماتوگرافی اندازه‌گیری شد.

آنالیز متیل‌استر اسیدهای چرب به‌وسیله کروماتوگراف گازی متیل‌استر اسیدهای چرب بر اساس روش آزادمرد دمیرچی و دوتا (Azadmard-Damirchi and Dutta, 2006) تجزیه شدند. دستگاه GC مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای و تزریق‌کننده از نوع اسپلیت /اسپلیت‌لس بود. ستون موئیناز جنس سیلیکا (BPX 70) به طول ۵۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۲ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر بود. دمای تزریق کننده و آشکارساز به‌ترتیب ۲۳۰ و ۲۵۰ درجه سلسیوس بود. دمای آون با نرخ ۲ درجه در دقیقه از ۱۵۸ درجه سلسیوس به ۲۲۰ درجه سلسیوس افزایش داده شد و به مدت ۵ دقیقه در همین دما ماند. گاز هلیوم به‌عنوان گاز حامل و گاز نیتروژن به‌عنوان گاز کمکی با سرعت جریان ۳۰ میلی‌لیتر در دقیقه استفاده شد. با مقایسه زمان بازداری پیک‌های به‌دست آمده در گازکروماتوگرام با استانداردهای متیل استر اسیدهای چرب، اسیدهای چرب مربوطه شناسایی و برحسب درصد تعیین مقدار شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS انجام گردید. مقایسه میانگین اثرات اصلی به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون L.S.Means انجام شد.

۱- Nuclear Magnetic Resonance

نتایج و بحث

پالمتیک اسید: نتایج نشان داد که اثر اصلی رقم، اثر اصلی آبیاری و اثرات متقابل تاریخ کاشت در رقم بر پالمتیک اسید معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم نتایج نشان داد که در تاریخ کاشت ۲۰ مهر و رقم L72 بیشترین پالمتیک اسید به مقدار ۵/۵۸ درصد حاصل شد. کمترین مقدار نیز در تاریخ کاشت ۵ آبان و رقم HW3 حاصل شد. به‌طورکلی، رقم L72 در هر دو تاریخ آزمایش پالمتیک اسید بیشتری داشت (شکل ۲).

خصوصیات کیفی هر نوع روغن بستگی به ترکیب اسیدهای چرب آن دارد و یکی از اهداف اصلاحی مهم در کلزا علاوه بر کمیت روغن، افزایش کیفیت روغن می‌باشد. تحقیقات پاندی و همکاران (Pandey *et al.*, 2001) روی گیاه آفتابگردان نیز بیانگر افزایش میزان این اسید چرب در شرایط تنش خشکی بود، که با نتیجه تحقیق حاضر مبنی بر افزایش اسید پالمتیک بر اثر تنش خشکی مطابقت دارد. در بررسی نصر و همکاران (Nasr *et al.*, 2006) نیز اسیدهای چرب مهم استئاریک و پالمیتیک به‌طور مشترک در ۱۰ رقم کلزا مشاهده و مقادیر آنها به‌ترتیب ۲/۲-۰/۱۵ درصد و ۸-۴ درصد تعیین گردید.

لینولئیک اسید: نتایج نشان داد که اثر اصلی رقم، اثر اصلی آبیاری و اثرات متقابل تاریخ کاشت در سال، و سال در تاریخ کاشت در آبیاری بر لینولئیک اسید معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج در خصوص اثر متقابل سال در آبیاری در تاریخ کاشت نشان داد که در سال اول، تاریخ کاشت ۲۰ مهر ماه و آبیاری نرمال لینولئیک اسید به مقدار ۱۸/۳۴ درصد حاصل شد که بیشترین مقدار بود. کمترین مقدار نیز در تیمار سال دوم، تاریخ کاشت ۵ آبان و قطع آبیاری از خورجین‌دهی به بعد حاصل شد. به‌طورکلی، در سال اول لینولئیک اسید بیشتری نسبت به سال دوم در سطوح مختلف تنش و تاریخ کاشت حاصل شد. کوزاکی و همکاران (Kosaki *et al.*, 2001) علت اکسید شدن سریع کلزا را وجود درصد بالایی از اسیدهای چرب غیراشباع دانستند که همزمان با افزایش تنش خشکی این درصد نیز افزایش می‌یابد.

اروسیک اسید: نتایج نشان داد اثرات اصلی رقم و تاریخ کاشت بر اروسیک اسید معنی‌دار بود (جدول ۱). در تاریخ کاشت ۲۰ مهر نیز اروسیک اسید به‌مقدار ۰/۲۶ درصد حاصل شد که ۱۶ درصد بیشتر از ۵ آبان بود (جدول ۳). در رقم HW3 اروسیک اسید به مقدار ۰/۲۷ درصد حاصل شد که بیشترین مقدار بود (جدول ۴). کیفیت روغن کلزا معمولاً بر اساس میزان اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک و اروسیک تعیین می‌گردد که به میزان زیادی تحت تاثیر دما در طی دوره گلدهی تا رسیدن دانه قرار می‌گیرند (Brevedan and Egli, 2003). اگرچه تاکنون مدارک مستندی در مورد مضرات وجود مقادیر بالای اسید اروسیک در رژیم غذایی بر سلامت انسان ارایه نشده است، ولی مطالعات انجام شده روی حیوانات مشخص کرده که میزان بالای اسید اروسیک در جیره غذایی موجب انباشته شدن چربی‌های زنجیره بلند در قلب این جانوران شده است. طبق قوانین سازمان غذا و داروی ایالت متحده، میزان اسید اروسیک در روغن خوراکی کلزا باید کمتر از ۲ درصد باشد و وجود مقادیر بالای اسید اروسیک خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی و عروقی را در انسان افزایش می‌دهد.

اولئیک اسید: اثر اصلی سال، اثر اصلی رقم و اثرات متقابل آبیاری در سال، تاریخ کاشت در

سال و اثر متقابل سال در آبیاری در تاریخ کاشت بر اولئیک اسید معنی‌دار بود (جدول ۱). در سال اول، تاریخ کاشت ۲۰ مهر ماه و آبیاری نرمال اولئیک اسید به‌مقدار ۶۶/۲ درصد حاصل شد. کمترین مقدار نیز در تیمار سال دوم، تاریخ کاشت ۵ آبان و قطع آبیاری از خورجین‌دهی به بعد حاصل شد. در سال اول اولئیک اسید بیشتری نسبت به سال دوم در سطوح مختلف تنش و تاریخ کاشت حاصل شد. نتایج حاصل از مطالعات نشان داد که تنش کم‌آبی موجب افزایش اسید اولئیک گردید. در شرایط تنش کم‌آبی، نسبت درصد اسیدهای چرب اشباع به اسیدهای چرب غیراشباع در روغن دانه ارقام کلزا افزایش می‌یابد زیرا اسیدهای چرب غیراشباع از اسیدهای چرب اشباع به‌وجود می‌آیند (Yang *et al.*, 2003). یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2003) بر کاهش درصد روغن دانه و عملکرد روغن ارقام کلزا در شرایط تنش کم‌آبی در مرحله گل‌دهی اذعان داشته‌اند و این امر می‌تواند به‌واسطه اکسیداسیون برخی اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه و کاهش قابلیت تبدیل هیدرات‌های کربن به روغن در شرایط تنش روی داده باشد.

لینولنیک اسید: نتایج نشان داد که اثر اصلی رقم، اثر اصلی آبیاری و اثرات متقابل تاریخ کاشت در سال و تاریخ کاشت در رقم بر لینولنیک اسید معنی‌دار بود (جدول ۱). در خصوص اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم نتایج نشان داد که در تاریخ کاشت ۲۰ مهر و رقم L72 بیشترین مقدار لینولنیک اسید به مقدار ۶/۹۵ درصد و کمترین مقدار آن در تاریخ کاشت ۵ آبان و رقم HW3 حاصل شد. به‌طورکلی، رقم L72 در هر دو تاریخ آزمایش لینولنیک اسید بیشتری داشت (شکل ۳). محققان در بررسی گونه‌های مختلف جنس براسیکا به تنش کم‌آبی گزارش کردند که میزان اسید لینولنیک تحت شرایط تنش کاهش می‌یابد. در بررسی دیگری افزایش ۱/۷ تا ۲ درصدی اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه مانند اسید لینولئیک و اسید لینولنیک به همراه کاهش ۳/۸ درصدی اسید اولئیک در روغن دانه کلزا به‌واسطه تنش خشکی در شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای گزارش شده است (Bilsborrow and Narton, 1991).

پرولین برگ: از دیگر شاخص‌هایی که به نظر می‌رسد اثر سوء تنش را کاهش دهد میزان پرولین است، بنابراین میزان آن محاسبه شد. نتایج نشان داد که اثر اصلی سال، اثر اصلی آبیاری، اثر اصلی رقم، اثر اصلی تاریخ کاشت و اثرات متقابل سال در تاریخ کاشت، و سال در آبیاری بر پرولین برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج در خصوص اثر متقابل سال در تاریخ کاشت نشان داد که در سال دوم و تاریخ کاشت ۲۰ مهر ماه پرولین برگ به‌مقدار ۲۰/۳۱ میکرومول بر گرم وزن تر برگ حاصل شد که بیشترین مقدار بود. کمترین مقدار نیز در تیمار سال اول، و تاریخ کاشت ۲۰ مهر حاصل شد. در خصوص اثر متقابل سال و تاریخ کاشت نتایج نشان داد که در سال اول و تاریخ کاشت ۲۰ مهر بیشترین پرولین برگ به مقدار ۲۱/۲ میکرومول بر گرم وزن تر برگ و کمترین مقدار نیز در سال دوم و تاریخ کاشت ۵ آبان حاصل شد. به‌طور کلی، تاریخ کاشت ۲۰ مهر در هر دو سال آزمایش پرولین برگ بیشتری داشت.

استارنر و همکاران (Starner *et al.*, 2002) عامل تجمع پرولین در اثر تنش خشکی را به افزایش پرولین در شیره سلولی گیاهان و انتقال آن به برگ‌ها مربوط دانستند. از آن‌جایی که

مقادیر پرولین توسط تعادل بین بیوسنتز و کاتابولیسم تعیین می‌شود (Jain *el al.*, 2010)، لذا، کاهش مصرف پرولین نیز در شرایط تنش از دلایل تجمع آن در گیاه می‌باشد، به‌طوری که توقف در اکسایش پرولین در پتانسیل‌های آب پایین اتفاق می‌افتد. از دیگر دلایل تجمع پرولین می‌تواند تخریب پروتئین‌ها باشد. افزایش در غلظت پرولین یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌های تحمل به کم‌آبی در کلزا به‌شمار می‌رود و گزارش شده است که اعمال تنش اسمزی در سطح ۱/۵- مگاپاسکال سبب افزایش معنی‌دار محتوی پرولین در ریشه و ساقه ارقام کلزا گردید.

گلوکوزینولات دانه: یافته‌های این بررسی حاکی از آن بود که اثر اصلی سال، اثر اصلی آبیاری، اثر اصلی رقم و اثر اصلی تاریخ کاشت بر گلوکوزینولات دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). در تیمار قطع آبیاری گلوکوزینولات دانه به مقدار ۴۵/۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک کنجاله حاصل شد که ۱۴ درصد بیشتر از حالت قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی بود (جدول ۲). در تاریخ کاشت ۲۰ مهر نیز گلوکوزینولات دانه به مقدار ۲۳/۲ میلی‌گرم در گرم وزن خشک کنجاله حاصل شد که ۱۵ درصد بیشتر از ۵ آبان بود (جدول ۳). در رقم HW3 گلوکوزینولات دانه به مقدار ۲۰/۵۹ میلی‌گرم در گرم وزن خشک کنجاله و کمترین مقدار نیز در رقم BAL8 حاصل شد (جدول ۴). لارچر و همکاران (Larcher, 2003) نتایج مشابهی را گزارش نمودند و دلیل تغییرات گسترده را به تفاوت ارقام در مکان‌های مختلف نسبت دادند.

کربوهیدرات محلول برگ: نتایج نشان داد که اثر اصلی سال، اثر اصلی آبیاری، اثر اصلی رقم، اثر اصلی تاریخ کاشت و اثرات متقابل سال در تاریخ کاشت، سال در آبیاری، سال در تاریخ کاشت در رقم، و سال در رقم در آبیاری در تاریخ کاشت بر کربوهیدرات محلول برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که در سال اول، قطع آبیاری، تاریخ کاشت ۵ آبان و رقم BAL6 بیشترین کربوهیدرات محلول برگ به مقدار ۲۶/۴۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کمترین مقدار نیز در تیمار سال دوم، آبیاری شاهد، تاریخ کاشت ۲۰ مهر و رقم HW3 به‌دست آمد. در شرایط تنش کم‌آبی با وجود کاهش تثبیت کربن در برگ‌های تحت تنش، گیاهان مقدار زیادی از کربوهیدرات‌های محلول در آب مانند گلوکز، فروکتوز و ساکارز تجمع می‌دهند، نوع کربوهیدرات‌های محلول در میان گونه‌ها متفاوت است (Debaeke and Aboudrare, 2004).

کلروفیل کل: نتایج نشان داد که اثر اصلی رقم، اثر اصلی تاریخ کاشت و اثر اصلی آبیاری بر کلروفیل کل معنی‌دار بود (جدول ۱). در تیمار قطع آبیاری کلروفیل کل به مقدار ۱/۷۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر حاصل شد که ۲۱ درصد بیشتر از حالت قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی بود (جدول ۲). در تاریخ کاشت ۲۰ مهر نیز کلروفیل کل به‌مقدار ۱/۶۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر حاصل شد که ۱۹ درصد بیشتر از ۵ آبان بود (جدول ۳). در رقم L72 کلروفیل کل به مقدار ۱/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر و کمترین مقدار نیز در رقم HW3 حاصل شد (جدول ۴). استارنر و همکاران (Starner *et al.*, 2002) اظهار داشتند که از دست رفتن کلروفیل در شرایط تنش خشکی می‌تواند یک جنبه سازگاری و مفید داشته باشد، چرا که با کاهش میزان کلروفیل انرژی خورشید جذب شده کاهش یافته و به دنبال آن خسارت‌های ناشی از تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن کاهش می‌یابد. مفاخری و همکاران (Mafakheri *et al.*,

2010) نیز کاهش میزان کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی را گیاهان بابونه و نخود گزارش کرده بودند.

عملکرد دانه: نتایج نشان داد که اثر اصلی سال، اثر اصلی آبیاری، اثر اصلی رقم، اثر اصلی تاریخ کاشت و اثرات متقابل تاریخ کاشت در رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). در آبیاری شاهد عملکرد دانه به مقدار ۴۴۴۴/۷ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که ۳۰ درصد بیشتر از تیمار قطع آبیاری بود (جدول ۲). در خصوص اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم نتایج نشان داد که در تاریخ کاشت ۲۰ مهر و رقم L72 بیشترین عملکرد دانه به مقدار ۶۱۳۹ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. کمترین مقدار نیز در تاریخ کاشت ۵ آبان و رقم HW3 حاصل شد. به‌طور کلی، رقم L72 در هر دو تاریخ آزمایش عملکرد دانه بیشتری داشت (شکل ۳). محققان اظهار داشتند هنگامی که در مرحله رشد خورجین‌ها، گیاه با کمبود آب مواجه گردد، انتقال مواد غذایی به دانه‌ها تقلیل یافته و عملکرد کاهش می‌یابد که ناشی از کاهش تعداد و اندازه خورجین‌ها می‌باشد. تأمین آب کافی در طی مراحل گلدهی و نمو اولیه خورجین‌ها، زمانی که تعداد خورجین‌ها و دانه‌ها مشخص می‌شود، نقش حیاتی دارد و کمبود آب در مرحله گلدهی با تأثیر منفی بر تشکیل خورجین و اندازه دانه، موجب کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Ghasemian-Ardestani, 2019). در این زمینه محققان (Debaeke and Aboudrare, 2004) اظهار داشتند هنگامی که در مرحله رشد خورجین‌ها، گیاه با کمبود آب مواجه گردد، انتقال مواد غذایی به دانه‌ها تقلیل یافته و عملکرد کاهش می‌یابد (Khalili and Hamze, 2019; Shargi and Khalilivand Behrouzyar, 2019) که ناشی از کاهش تعداد و اندازه خورجین‌ها می‌باشد. به‌نظر می‌رسد در این بررسی علت تغییر عملکرد دانه و کاهش و افزایش آن به عملکرد ارقام تحت تاثیر مکان و همچنین اجزای عملکرد مرتبط باشد، بنابراین می‌توان رقم L72 را در منطقه توصیه کرد.

روغن دانه: نتایج نشان داد که اثر اصلی رقم، و اثرات متقابل سال در تاریخ کاشت و رقم در تاریخ کاشت بر روغن دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). در خصوص اثر متقابل سال و تاریخ کاشت نتایج نشان داد که در سال اول و تاریخ کاشت ۲۰ مهر بیشترین روغن دانه به مقدار ۲۴/۳۱ درصد و کمترین مقدار نیز در سال دوم و تاریخ کاشت ۵ آبان حاصل شد. به‌طور کلی، تاریخ کاشت ۲۰ مهر در هر دو سال آزمایش روغن دانه بیشتری داشت (جدول ۵). در خصوص اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم نتایج نشان داد که در تاریخ کاشت ۲۰ مهر و رقم L72 بیشترین روغن دانه به مقدار ۴۶/۵۴ درصد و کمترین مقدار نیز در تاریخ کاشت ۵ آبان و رقم HW3 حاصل شد. رقم L72 در هر دو تاریخ آزمایش روغن دانه بیشتری داشت (شکل ۴). محققان نیز گزارش کردند که تنش کم‌آبی بر اساس دور آبیاری ۱۴ روز کاهش چشم‌گیری بر درصد روغن دانه کلزا در مقایسه با دور آبیاری هفت روز نداشته است. عوامل ژنتیکی از پارامترهای اصلی تعیین کننده درصد روغن دانه کلزا است و تأثیر عوامل محیطی بر درصد روغن دانه بسیار کم می‌باشد (Debaeke and Aboudrare, 2004).

عملکرد روغن دانه: نتایج نشان داد که اثر اصلی سال، اثر اصلی آبیاری، اثر اصلی رقم، اثر اصلی تاریخ کاشت و اثرات متقابل تاریخ کاشت در رقم بر عملکرد روغن دانه معنی‌دار بود (جدول ۱).

در آبیاری شاهد عملکرد روغن به مقدار ۲۳۲۱/۱ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که ۲۱ درصد بیشتر از تیمار قطع آبیاری بود چرا که درصد روغن دانه و عملکرد دانه این‌گونه بود و از آنجا که عملکرد روغن حاصل‌ضرب دو عامل عملکرد دانه و درصد روغن است لذا تغییر این صفت منطقی به نظر می‌رسد (جدول ۲). در خصوص اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم نتایج نشان داد که در تاریخ کاشت ۲۰ مهر و رقم L72 بیشترین عملکرد روغن دانه به مقدار ۲۵۷۶/۶ کیلوگرم در هکتار وکمترین مقدار نیز در تاریخ کاشت ۵ آبان و رقم HW3 حاصل شد. رقم L72 در هر دو تاریخ آزمایش، عملکرد روغن دانه بیشتری داشت (شکل ۵). در بررسی دیگری نیز قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی سبب افت عملکرد روغن در ۲۲ رقم کلزای پاییزه شد. هدف اصلی از کشت کلزا استحصال روغن می‌باشد، بنابراین عملکرد روغن اهمیت بیشتری نسبت به میزان روغن دانه دارد. دلیل این امر ناشی از کنترل بیشتر درصد روغن دانه توسط عوامل ژنتیکی و تأثیر پذیری بالای عملکرد روغن از تغییرات عملکرد دانه نسبت به درصد روغن بوده است. در این زمینه گزارش شده است که در تعیین عملکرد روغن کلزا تأثیر عملکرد دانه در مقایسه با درصد روغن بسیار بیشتر می‌باشد (Soleimani *et al.*, 2011).

نتیجه‌گیری کلی

در تاریخ کاشت معمول (۲۰ مهر ماه) و آبیاری معمول، لاین امید بخش L72 (رقم نفیس) بالاترین عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه را خود اختصاص داد. همچنین، در شرایط تاریخ کاشت معمول (۲۰ مهر ماه) و تنش خشکی آخر فصل (قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد)، رقم مذکور بالاترین عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه را نشان داد. به‌طورکلی، در حالت اعمال تنش، رقم L72 در هر دو تاریخ آزمایش بیشترین عملکرد دانه و روغن را به‌عنوان دو صفت مهم داشت و به عنوان رقم برتر برای منطقه قابل توصیه است.

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب صفات اندازه‌گیری شده بر روی ۷ رقم کلزا تحت اثر رژیم آبیاری و تاریخ کاشت، طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۴ و ۱۳۹۴-۱۳۹۵

Table 1- Combined variance analysis of traits measured on 7 rapeseed variety under irrigation regime and planting date during 2014-2015 and 2015-2016

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	پالمتیک اسید Palmitics acid	اولئیک اسید Oleic acid	لینولئیک اسید Linoleic acid	لینولنیک اسید Linolinic acid	اروسیک اسید Erosik acid	کلروفیل کل Total Chlorophyll	پرولین برگ Leaf Proline
سال Year	1	$0.19^{n.s}$	16.76^{**}	$15.42^{n.s}$	$7.2^{n.s}$	$0.016^{n.s}$	$0.221^{n.s}$	263.71^{**}
تکرار درون سال Rep (Year)	4	0.0617^{**}	0.22^{*}	7.29^{**}	1.19^{**}	0.006^{**}	0.071^{**}	2.99^{**}
رژیم آبیاری Irrigation	1	7.1541^{**}	$20.87^{n.s}$	67.02^{**}	25.87^{**}	$0.329^{n.s}$	2.622^{*}	339.44^{*}
سال×آبیاری Year×Irrigation	1	$0.0016^{n.s}$	0.47^{*}	$0^{n.s}$	$0^{n.s}$	$0.004^{n.s}$	$0.002^{n.s}$	$0.08^{n.s}$
تاریخ کاشت Planting data	1	22.046^{**}	$69.51^{n.s}$	$318.68^{n.s}$	$103.48^{n.s}$	1.654^{**}	14.617^{**}	1884.23^{*}
سال×تاریخ کاشت Year× Planting date	1	$0.0016^{n.s}$	1.82^{**}	2.39^{**}	3.05^{*}	$0.0003^{n.s}$	$0.001^{n.s}$	7.56^{**}
آبیاری×تاریخ کاشت Planting date×Irrigation	1	$0.7643^{n.s}$	$0.1^{n.s}$	$1.2^{n.s}$	$2.89^{n.s}$	$0.01^{n.s}$	$0.034^{n.s}$	$28.18^{n.s}$
سال× آبیاری × تاریخ کاشت Year× Planting date×Irrigation	1	$0.0076^{n.s}$	1.61^{**}	0.49^{*}	$0.21^{n.s}$	$0.0014^{n.s}$	$0.027^{n.s}$	30.71^{**}
خطای اصلی Erorr a	12	0.01	0.08	0.07	0.64	0.005	0.01	0.62
رقم Variety	6	0.2631^{**}	0.96^{**}	3.91^{**}	1.02^{**}	0.0171^{**}	0.12^{**}	20.56^{**}
سال×رقم Year× Variety	6	$0.0024^{n.s}$	$0.07^{n.s}$	$0.15^{n.s}$	$0.04^{n.s}$	$0.0003^{n.s}$	$0.014^{n.s}$	$0.19^{n.s}$
آبیاری×رقم Variety×Irrigation	6	$0.0028^{n.s}$	$0.05^{n.s}$	$0.1^{n.s}$	$0.01^{n.s}$	$0.0003^{n.s}$	$0.016^{n.s}$	$0.19^{n.s}$
سال× آبیاری × رقم Year×Variety ×Irrigation	6	$0.0023^{n.s}$	$0.09^{n.s}$	$0.11^{n.s}$	$0.08^{n.s}$	$0.0004^{n.s}$	$0.008^{n.s}$	$0.12^{n.s}$
تاریخ کاشت×رقم Variety×Planting date	6	0.0453^{**}	$0.1^{n.s}$	$0.38^{n.s}$	0.1^{*}	$0.001^{n.s}$	$0.006^{n.s}$	$3.92^{n.s}$
سال×تاریخ کاشت×رقم Year×Variety×Planting date	6	$0.0042^{n.s}$	$0.03^{n.s}$	$0.28^{n.s}$	$0.01^{n.s}$	$0.00037^{n.s}$	$0.012^{n.s}$	$1.14^{n.s}$
رقم×آبیاری×تاریخ کاشت Irrigation×Variety×Planting date	6	$0.0204^{n.s}$	$0.09^{n.s}$	$0.07^{n.s}$	$0.04^{n.s}$	$0.0005^{n.s}$	$0.007^{n.s}$	$0.29^{n.s}$
سال× رقم×آبیاری×تاریخ کاشت Year×Variety×Irrigation×Planting date	6	$0.0131^{n.s}$	$0.07^{n.s}$	$0.08^{n.s}$	$0.03^{n.s}$	$0.0003^{n.s}$	$0.008^{n.s}$	$0.95^{n.s}$
خطای فرعی Erorr b	96	0.01	0.07	0.63	0.3	0.002	0.009	0.65
ضریب تغییرات C.V. (٪)	-	8.3	7.6	11.3	9.9	5.6	5.12	12.7

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, * and **: non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۱-
Table 1- Continued

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	گلوکوزینولات دانه Glycosinolat	کربوهیدرات محلول برگ carbohydrate Leaf solution	عملکرد دانه Seed yield	روغن دانه Oil seed	عملکرد روغن دانه Seed yield
سال Year	1	82.9^{*}	629.97^{**}	11370693^{**}	$7.13^{n.s}$	1843468.6^{**}
تکرار درون سال Rep (Year)	4	7.41^{**}	24.6^{**}	$182485.1^{n.s}$	1.39^{**}	$50216.93^{n.s}$
رژیم آبیاری Irrigation	1	646.7^{*}	2449.57^{*}	44252340^{*}	$49.32^{n.s}$	10751696.7^{*}
سال×آبیاری Year×Irrigation	1	$3.28^{n.s}$	$3.99^{n.s}$	$90887.65^{n.s}$	$1.68^{n.s}$	$4731.43^{n.s}$
تاریخ کاشت Planting data	1	2713.91^{*}	11362.76^{*}	16162170^{*}	$243.6^{n.s}$	39690652.1^{*}
سال×تاریخ کاشت Year× Planting date	1	$5.64^{n.s}$	53.15^{**}	$303906.2^{n.s}$	8.84^{**}	$121449.3^{n.s}$
آبیاری×تاریخ کاشت Planting date×Irrigation	1	$0.17^{n.s}$	$14.45^{n.s}$	$1471314^{n.s}$	$3.94^{n.s}$	$596936.5^{n.s}$
سال× آبیاری × تاریخ کاشت Year× Planting date×Irrigation	1	$1.25^{n.s}$	112.3^{**}	$1113113^{n.s}$	$0.11^{n.s}$	$226700.7^{n.s}$
خطای اصلی Erorr a	12	1.22	2.51	342291.2	0.54	75686.67
رقم Variety	6	29.91^{**}	116.27^{**}	2112883^{**}	2.54^{**}	524561.3^{**}
سال×رقم Year× Variety	6	$0.63^{n.s}$	$3.22^{n.s}$	$17849.3^{n.s}$	$0.08^{n.s}$	$3943.86^{n.s}$
آبیاری×رقم Variety×Irrigation	6	$0.69^{n.s}$	$2^{n.s}$	$17264.81^{n.s}$	$0.07^{n.s}$	$1678.73^{n.s}$
سال× آبیاری × رقم Year×Variety ×Irrigation	6	$0.94^{n.s}$	$2.67^{n.s}$	$33207.6^{n.s}$	$0.06^{n.s}$	$7877.08^{n.s}$
تاریخ کاشت×رقم Variety×Planting date	6	$3.02^{n.s}$	$8.09^{n.s}$	312494.6^{*}	0.47^{*}	90908.3^{*}
سال×تاریخ کاشت×رقم Year×Variety×Planting date	6	$0.86^{n.s}$	7.49^{**}	$72137.4^{n.s}$	$0.07^{n.s}$	$16302.92^{n.s}$
رقم×آبیاری×تاریخ کاشت Irrigation×Variety×Planting date	6	$0.77^{n.s}$	$1.06^{n.s}$	$8767.02^{n.s}$	$0.12^{n.s}$	$3227.98^{n.s}$
سال× رقم×آبیاری×تاریخ کاشت Year×Variety×Irrigation×Planting date	6	$0.52^{n.s}$	6.52^{*}	$14897.8^{n.s}$	$0.14^{n.s}$	$3527.48^{n.s}$
خطای فرعی Erorr b	96	0.84	2.22	458596.6	0.29	95735.91
ضریب تغییرات C.V. (٪)	-	9.6	8.4	9.4	12.7	7.7

^{ns}، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

^{ns}, * and **: non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- میانگین صفات اندازه‌گیری شده در رژیم‌های آبیاری مختلف
Table 2- Average of measured traits in different irrigation regimes

رژیم آبیاری Irrigation	پالمتیک اسید Palmitics acid (%)	لینولنیک اسید Linolinic acid (%)	گلوکوزینولات دانه Glycosinolat ($mg.g^{-1}$)	کلروفیل کل Total Chlorophyll ($mg.g^{-1}FW$)	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد روغن دانه Oil yield
1	5.19 ± 0.05^{a}	5.66 ± 0.09^{b}	16.81 ± 0.47^{b}	1.47 ± 0.03^{a}	4444.72 ± 142.6^{a}	2022.55 ± 70.55^{a}
2	4.77 ± 0.04^{b}	6.45 ± 0.12^{a}	20.77 ± 0.48^{a}	1.21 ± 0.04^{b}	3414.93 ± 118.75^{b}	1514.76 ± 56.06^{b}
LSD	0.23	0.65	2.34	0.04	434.4	145.5

جدول ۳- میانگین صفات اندازه گیری شده در تاریخ کشت‌های مختلف

Table 3- Mean of measured traits in different cultivars

تاریخ کاشت Planting date	اروسیک اسید Erosik acid (%)	گلوکوزینولات دانه Glycosinolat ($mg.g^{-1}$)	کلروفیل کل Chlorophyll total ($mg.g^{-1}FW$)
1	0.22±0.01	$14.76±0.26^{b}$	$1.64±0.02^{a}$
2	0.42±0.01	$22.82±0.29^{a}$	$1.04±0.02^{b}$
LSD	0.03	3.45	0.15

جدول ۴- میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ارقام مختلف

Table 4- Average of measured traits in different cultivars

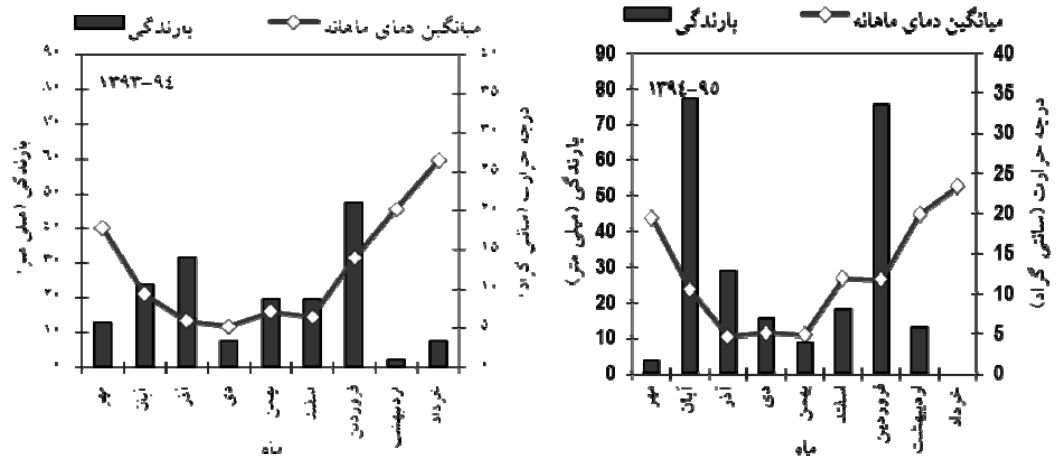
رقم Variety	اولئیک اسید Oleic acid (%)	لینولنیک اسید Linolinic acid (%)	اروسیک اسید Erosik acid (%)	پرولین برگ Leaf Proline ($\mu mol.gFW^{-1}$)	گلوکوزینولات دانه Glycosinolat ($mg.g^{-1}$)	کلروفیل کل Total Chlorophyll ($mg.g^{-1}FW$)
Ahmadi	$64.8±0.2^{cd}$	$6.12±0.23^{ab}$	$0.33±0.03^{bc}$	$15.84±0.89^{c}$	$18.99±1.06^{c}$	$1.34±0.07^{c}$
BAL11	$64.8±0.16^{cd}$	$6.09±0.2^{ab}$	$0.32±0.02^{bc}$	$15.58±0.75^{cd}$	$19.14±0.88^{bc}$	$1.32±0.07^{cd}$
BAL3	$64.7±0.17^{d}$	$6.17±0.2^{ab}$	$0.34±0.02^{ab}$	$15.24±0.77^{d}$	$19.59±0.91^{b}$	$1.28±0.07^{de}$
BAL6	$64.94±0.17^{bc}$	$5.97±0.21^{bc}$	$0.31±0.02^{cd}$	$16.31±0.83^{b}$	$18.21±0.96^{d}$	$1.37±0.07^{bc}$
BAL8	$64.52±0.18^{e}$	$6.38±0.22^{a}$	$0.36±0.02^{a}$	$14.51±0.77^{e}$	$20.51±0.95^{a}$	$1.23±0.07^{e}$
HW3	$65.02±0.17^{ab}$	$5.91±0.26^{bc}$	$0.3±0.02^{de}$	$16.6±0.85^{b}$	$17.92±0.96^{d}$	$1.4±0.07^{ab}$
L72	$65.1±0.18^{a}$	$5.73±0.21^{c}$	$0.28±0.03^{e}$	$17.33±0.95^{a}$	$17.17±1.04^{e}$	$1.44±0.07^{a}$
LSD	0.22	0.12	0.18	0.14	1.34	0.11

جدول ۵- میانگین صفات اندازه گیری شده تحت اثر برهم‌کنش سال × تاریخ کاشت × رژیم آبیاری

Table 5- Average of measured traits under the influence of year x sowing date × irrigation regime

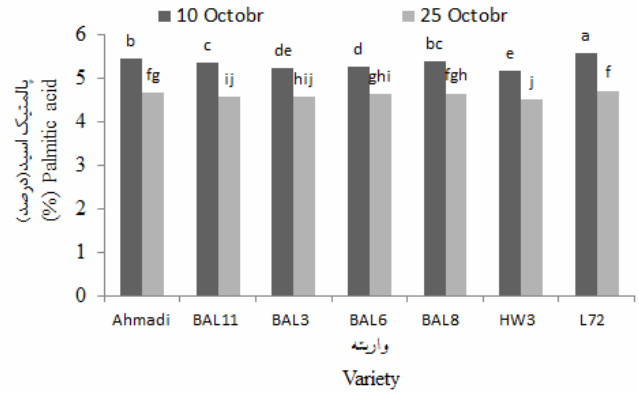
.

سال Year	تاریخ کاشت Planting data	رژیم آبیاری Irrigation	اولئیک اسید Oleic acid (%)	لینولئیک اسید Linoleic acid (%)	پرولین برگ Leaf Proline ($\mu mol.gFW^{-1}$)
1	10 Novamber	Control	$65.8±0.052^{a}$	$19.17±0.102^{a}$	$20.52±0.324^{b}$
1	10 Novamber	cut	$64.06±0.032^{e}$	$16.12±0.154^{e}$	$11.72±0.15^{f}$
1	25 Novamber	Control	$64.74±0.077^{d}$	$17.85±0.14^{c}$	$15.94±0.335^{d}$
1	25 Novamber	cut	$63.49±0.08^{f}$	$14.91±0.188^{g}$	$10.48±0.146^{g}$
2	10 Novamber	Control	$65.93±0.069^{a}$	$18.42±0.22^{b}$	$21.69±0.289^{a}$
2	10 Novamber	cut	$64.99±0.09^{c}$	$15.66±0.256^{f}$	$15.46±0.278^{d}$
2	25 Novamber	Control	$65.47±0.035^{b}$	$16.9±0.229^{d}$	$18.92±0.21^{c}$
2	25 Novamber	cut	$64.24±0.091^{e}$	$14.65±0.187^{h}$	$12.6±0.32^{e}$
LSD			0.23	1.34	1.56



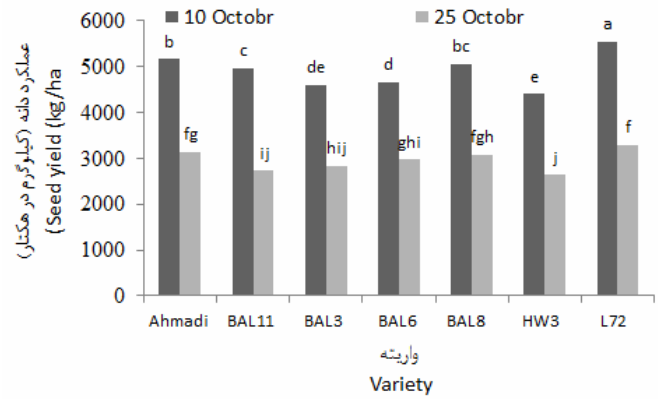
شکل ۱- میانگین دمای ماهانه و بارش ایستگاه سینوپتیک کرج در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴

Figure 1- Mean monthly temperature and precipitation of Karaj synoptic station during two cropping years, 2014 and 2015



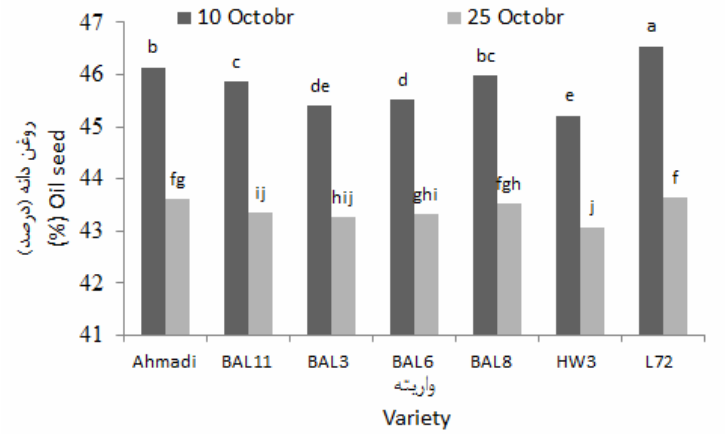
شکل ۲- تاثیر رقم و تاریخ کاشت بر پالمیتیک اسید

Figure 2 - Effect of variety and planting date on palmitic acid



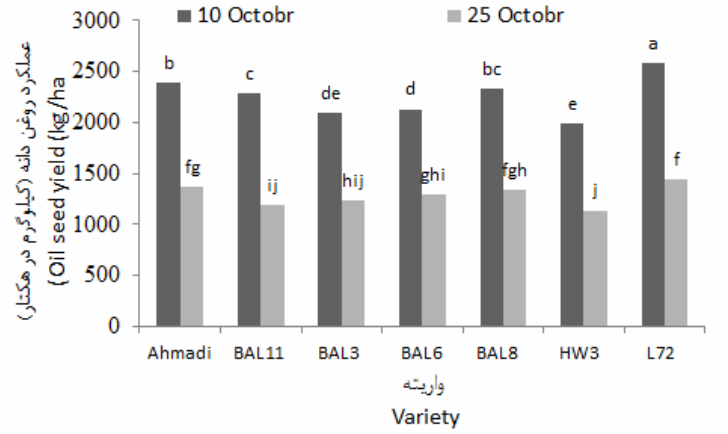
شکل ۳-تاثیر رقم و تاریخ کاشت بر عملکرد دانه

Figure 3- Effect of variety and planting date on seed yield



شکل ۴-تاثیر رقم و تاریخ کاشت بر درصد روغن دانه

Figure 4- Effect of variety and planting date on oil percentage



شکل ۵-تاثیر رقم و تاریخ کاشت بر عملکرد روغن دانه

Figure 5- Effect of variety and planting date on oil yield

References منابع مورد استفاده

- 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. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 5: 755-761.
- AL- Barrak, K.M. 2006. Irrigation interval and nitrogen level effects on growth and yield of Canola (*Brassica napus* L.). *Scientific Journal of King Faisal University*. 7 (1): 87-103.
- Anonymous. 2018. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC
- Azadmard-Damirchi, S., and P.C. Dutta. 2006. Novel solid-phase extraction method to separate 4-desmethyl-, 4-monomethyl-, and 4, 4'-dimethylsterol in vegetable oils. *Joutnal of Chromatogr Anatomy*. 1108: 183-187.
- Bilsborrow, P.F., and G. Narton. 1991. A consideration of factors affecting the yield of oilseed rape. Proceeding of Internatonal Canola Conference. Saskatoon, Canada. pp: 1195-1201.
- Bray, E.A., J. Bailey-Serres, and E. Weretilnyk. 2000. Responses to abiotic stresses. In W Gruissem, B. Buchannan, R Jones, (eds), Biochemistry and Molecular Biology of Plants. American Society of Plant Physiologists. Rockville, M.D. 1158–1249.
- Brevedan, R.E., and D.B. Egli. 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence and yield of soybean. *Crop Science*. 43: 208-218.
- Chen, C., G. Jackson, K. Neill, D. Wichman, G. Johnson, and D. Johnson. 2005. Determining the feasibility of early seeding canola in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal*. 97: 1252–1262.
- Chen, C., W.A. Payne, R.W. Smiley, and M.A. Stoltz. 2003. Yeild and wather use efficiency of eight wheat cultivars planted on seven dates in northeastern Oregon. *Agronomy Journal*. 95: 836-843.
- Debaeke, P., and A. Aboudrare. 2004. Adaptation of crop management to water limited environments. *European Journal of Agronomy*. 21: 43-56.
- Flagella, Z., T. Rotunno, E. Tarantino, R. Di Caterina, and A. De Caro. 2002. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower hybrids in relation to the sowing date and the water regime. *European Journal of Agronomy*. 17: 221-230.
- Ghasemian-Ardestani, H. 2019. Evaluation of agro -ophysiological response of selected rapeseed cultivars to different temperature and humidity regimes for adaptation to climate change. Ph.D. Thesis in Agroecology, Ferdowsi University of Mashhad.
- Igbadun, H.E., H.F. Mahoo, A.K.P.R. Tarimo, and B.A. Salim. 2006. Crop water productivity of an irrigated maize crop in sub-catchment of the Great Ruaha River Basin, Tanzania. *Agricultural Water Management.* 85(2): 141-150.
- Jain, S., R. Yue-Lioang, L.E. Mei-wang, Y. Ting-Xian, Y. Xiao-Wen, and Z. Hong-Ving. 2010. Effect of drought stress on sesame growth and yield characteristics

and comprehensive evaluation of drought tolerance. *Chinese Journal of Oil Crops Sciences*. 4: 42-48.

- Khalili, M., H. Hamze. 2019. Effect of Super-Adsorbent and Irrigation Levels on Quantitative and Qualitative Characteristics of Sugar Beet (*Beta vulgaris*). *Journal of Crop Ecophysiology*. 3(51): 395-412.
- Kosaki, A., E. Psomiadau, M.T. Simidou, A.R. Lopia. A. Tienonen, and P. Kefalas. 2002. Oxidative salinity and minor constituents of virgin olive oil and rapeseed oil. *European Food Research and Technolgoy*. 2(4): 294-304.
- Larcher, W. 2003. Physiological plant ecology. Springer Verlag. Berlin. Heidelberg. Germany.
- Mafakheri, S., R. Omidbeigi, F. Sefidkon, and F. Rajali. 2010. Effect of vermicompost, biophosphate and azotobacter application on the quantity and quality of essential oil of dracocephalum (*Dracocephalum moldavica* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 27(4): 596-605. (In Persian).
- Nasr, N., M. Khayami, R. Heidari, and R. Jamei. 2006. Genetic diversity among selected varieties of *Brassica napus* (*Cruciferae*) based on the biochemical composition of seeds. Journal of Agricultural Science and Technology (*JUST).* 32(1): 37-40.
- Nielsen, D.C. 1997. Water use and yield of canola under dry land conditions in the centeral Great Plains. *Agriculture*. 10: 307-313.
- Nielsen, D.C., and N.O. Nelson. 1998. Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. *Crop Science*. 38: 422-427.
- Pandey, R.K., J.W. Maranville, and A. Admou. 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a Sahelian environment. I. Grain yield, yield components and water use efficiency. *European Journal of Agronomy.* 15(3): 91-105.
- Pasban Eslam, B., B. Alizadeh, 2019. Response of seed and oil yields and yield components of some rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes at saline areas of Tabriz. *Journal of Crop Ecophysiology*. 3(51): 485-498.
- Robertson, M.J., and J.F. Holland. 2004. Production risk of canola in the semi-arid subtropics of Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*. 55(5): 525-538.
- Sadeghipour, O. 2008. Effect of withholding irrigation at different growth stages on yield and yield components of mungbean (*Vigna radiate* L.) varieties. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences.* 4(5): 590–594.
- Savage, G.P., D.L. Mcneil, and P.C. Dutta. 1997. Lipid composition and oxidative stability of oils in hazelnuts (*Corylusavellona* L.) grown in New Zealand. *Journal of the American Oil Chemists' Society.* 74: 755-759.
- Shargi, F., E. Khalilvand Behrouzyar. 2019. Effect of nano-TiO2 and salicylic acid foliar application on some biochemical traits of corn 704 single cross under water regimes. *Journal of Crop Ecophysiology*. 3(51): 413-430-412.
- Sinaki, M., E. Majidi Heravan, A.H. Shirani Rad, G. Noormohammadi, and G.H. Zarei. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (Brassica

napus L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 2: 417-422.

- Soleimani, A., E. Moradi, and L. Narenjani. 2011. Investigation of the effects of irrigation interruption at different growth stages on seed and oil yield of autumn rapeseed cultivars. *Journal of Soil and Water Science and Technology*. 25(3): 426-435.
- Starner, D.E., A.A. Hamama, and H.L. Bhardwaj. 2002. Prospects of canola as an alternative winter crop in Virginia. In: Trends in new crops and new uses. Janick, J. and A. Whipkey (eds.). ASHS Press. Alexandria. VA. 127-130.
- Yang, J.C., J.H. Zhang, Z.Q. Wang, and L. Liu. 2003. Postanthesis water deficits enhance grain filling in two-line hybrid rice. *Crop Science*. 43: 2099-2108.

Qualitative Changes and Yield of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars in Drought Stress in Late Season

Mojtaba Rouhi[1], Mohammad Banayan Aval[2*], Amir Hossein Shirani Rad[3]

Received: April 2019 , Revised: 30 September 2019, Accepted: 12 October 2019

Abstract

To study the eco-physiology of new winter varieties of rapeseed (six lines ready for introduction, along with Ahmadi, native variety, as control), for drought stress of the end of the season were evaluated with two levels of planting dates, including the usual sowing date (October 12th) and late planting date (October 27th), and irrigation with two levels including normal irrigation (control) and cutting off irrigation at the siliquing stage studied in a factorial split plot experiment based on a randomized complete block design with three replications for two years (2014-2015 and 2015-2016) at the Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Organization in Karaj. Cultivar L72 had higher palmitic acid content in both planting dates. Normal irrigation and October 12th planting date had the highest oleic and linoleic acids, 66.2 and 18.34%, respectively. The highest erosic acid (0.27%) belonged to cultivar HW3 and on October 12th and the highest linolenic acid was obtained (6.95%) by cultivar L72. The lowest linoleic acid was obtained on October 27th by cultivar HW3. Under water stress condition, seed glucosinolate content was 14% more than the normal irrigation. The highest seed yield (4231.2 kg.ha^{-1}) was obtained from sowing date of October 12th from cultivar L72 and the lowest of seed yield was obtained on October 27th from cultivar HW3. The highest seed oil percent (46.54%) and oil yield (2576.6 kg.ha^{-1}) were obtained on October 12th from cultivar L72 and the lowest of these triats were obtained on October 27th from cultivar HW3. In general, the results showed that under stress condition, cultivar L72 produced highest seed and oil yields in both planting dates.

Key words: Drought stress, Linoleic acid, Linolenic acid, Rapeseed.

1- Ph.D. Student in Agroecology, Department of Agronomy, Faculty Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
2- Associate Professors in Agroecology, Department of Agronomy, Faculty Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
3- Professor of Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
**Corresponding Author: Banayan@um.ac.ir*