دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

بررسی اثر تنش خشکی بعد از دوره گلدهی بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی و عملکرد برخی از ژنوتیپ‌های زمستانه کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط مزرعه

مراد چشمه‌نور[۱]، محمدرضا بی‌همتا[۲]، علی‌اکبر شاه نجات بوشهری[۲]، علیرضا عباسی[۳] و بهرام علیزاده[۴]

۱- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات گرایش ژنتیک مولکولی و مهندسی ژنتیک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران،
(نویسنده مسوول: cheshmehmorad@ut.ac.ir)
۲ و ۳- استاد و دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران
۴- دانشیار بخش دانه‌های روغنی، موٴسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج
تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۲۷
صفحه: ۸۸ تا ۹۷

چکیده

تنش خشکی یکی از عوامل مهمی است که باعث محدودیت رشد و کاهش عملکرد در کلزا می‌شود. این پژوهش به‌منظور مطالعه ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های زمستانه کلزا در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۵-۹۶ در مزرعه تحقیقاتی پردیس تحقیقات کشاورزی بروجرد اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات نشان داد که برهمکنش ژنوتیپ و محیط برای صفاتی مانند عملکرد دانه، دوره گلدهی، تعداد روز تا شروع گلدهی، دوره رسیدگی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. از طرفی برهمکنش ژنوتیپ و محیط برای صفت میزان سبزینگی برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ L72 بیشترین عملکرد دانه را داشت. ژنوتیپ 1142 در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی کمترین عملکرد دانه را داشت. دو صفت دوره رشد تا گلدهی و دوره رسیدگی دانه به ترتیب با ۹۴٪ و ۹۷٪، بیشترین وراثت‌پذیری عمومی را در شرایط بدون تنش و تنش خشکی داشتند. در تجزیه به عامل‌ها در شرایط بدون تنش عامل‌های اول تا چهارم و در شرایط تنش عامل‌های اول تا سوم به ترتیب ۸۲٪ و ۷۲٪ از واریانس کل را به خود اختصاص دادند. در شرایط بدون تنش و تنش خشکی به‌ترتیب بیشترین فاصله ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های ۱۱۳۹ با احمدی و ۱۱۳۹ با ۱۱۴۴ مشاهده‌شد. در نتیجه، ژنوتیپ‌های که دارای فاصله ژنتیکی بیشتری از همدیگر هستند، می‌توانند به‌عنوان کاندید برای برنامه‌های اصلاحی آینده مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، تنوع ژنتیکی، کلزا، مورفو-فیزیولوژی، وراثت پذیری

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی در جهان است که بر اساس گزارش فائو در سال ۲۰۱۲ تولید دانه روغنی کلزا در جهان نزدیک به ۶۴ میلیون تن بود (۱۹). کلزا یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی و سومین گیاه روغنی در جهان به‌حساب می‌آید. از طرفی این محصول زراعی مهم‌ترین گیاه روغنی خانواده چلیپائیان می‌باشد (۱۷). همچنین کلزا یک منبع مهم پروتئین گیاهی در جهان محسوب می‌شود (۲۱). تنش خشکی یکی از عوامل مهمی است که باعث محدودیت رشد و کاهش عملکرد در کلزا می‌شود. غربال کردن مواد گیاهی متحمل به تنش خشکی عملکرد محصول کلزا را در شرایط تنش خشکی بهبود خواهدداد (۲۱). کلزا مانند بسیاری از گیاهان زراعی تحت‌تاثیر تنش‌های خشکی، شوری و دما می‌باشد (۱۷). در کشور چین تنش خشکی سالانه باعث کاهش حداقل ۳۰ درصد عملکرد کلزا می‌شود (۲۱). با توجه به وضعیت آب در مراحل ویژه‌ای از فنولوژی کلزا خصوصا در دوره رشد زایشی،کمیت و کیفیت دانه آن تحت‌تاثیر تنش قرار می‌گیرد (۸). کمبود آب در مراحل مهم رشد کلزا مانند گلدهی و پر شدن دانه می‌تواند روی عملکرد آن اثر سوء بگذارد. تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا تاثیر منفی دارد. در یک مطالعه گزارش شده که کمبود آب در مراحل مختلف رشد کلزا بویژه مرحله گلدهی تا پایان پرشدن دانه، عملکرد و اجزای آن مانند وزن هزار دانه و تعداد دانه را تحت‌تاثیر منفی قرار می‌دهد (۵). گزارش شده که مراحل گلدهی و تشکیل خورجین‌ها از حساس‌ترین مراحل کلزا به تنش رطوبتی هستند. در مناطقی از ایران که نوسانات مقدار و توزیع بارندگی آنها زیاد است، تنش خشکی رخ می‌دهد. بنابراین در این مناطق باید ارقامی از کلزا را انتخاب نمود که بتوانند در سال‌های کم باران با تحمل شرایط خشکی دارای عملکرد پایدار و مقرون به صرفه باشند (۱۵). کلزا یکی از محصولات مهم اقتصادی است که در خیلی از کشورها از جمله پاکستان کشت می‌شود. در پاکستان به علت کم آبی و بارش اندک عملکرد و کیفیت کلزا بطور قابل ملاحظه‌ای طی فصل رشد کاهش می‌یابد. علاوه بر عملکرد و کیفیت کلزا ،کم آبی با تغییر در عملکرد فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی بسیاری در این گیاه مرتبط می‌شود. برای مثال، کمبود آب باعث آفزایش میزان پرولین و کاهش محتوای کلروفیل در گیاه کلزا می‌شود و این دو نشانه‌ها یا علائمی هستند که بطور بالقوه به‌عنوان شاخص‌های تحمل خشکی در این محصول گزارش شده اند (۴). تنش‌های غیرزنده مانند دمای خیلی‌زیاد، شوری‌بالا، اشعه فرابنفش، سرما، خشکی و در معرض فلزات سنگین بودن، تاثیر منفی تا حدود ۵۰ درصد روی محصولات کشاورزی جهان دارد. بر اساس گزارش سازمان خواروبار

جهانی غذا در جهان حدود ۲۶ درصد از زمین‌های قابل کشت در معرض خشکی قرار دارند و بیش از ۲۰ درصد از زمین‌های قابل آبیاری تحت تاثیر نمک می‌باشند (۵). مطالعات نشان می‌دهد که در بین تنش‌های محیطی، خشکی مهم‌ترین تنش غیرزنده است که بیشتر از سایر عوامل تولید محصولات زراعی را محدود می‌کند (۲۰). ایران با متوسط بارندگی سالیانه نزدیک به ۲۴۰ میلی‌متر جزو کشورهای خشک جهان است. تنش خشکی به‌ویژه در مراحل پایانی رشد از مهم‌ترین و شایع‌ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک به‌حساب می‌آید (۱۸). کلزا هم مانند بسیاری از گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق کشور در مراحل پایانی رشد بخصوص در زمان پرشدن دانه با تنش خشکی وکمبود رطوبت مواجه می‌شود (۴). هدف از اجرای این پژوهش بررسی تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کلزای زمستانه براساس عملکرد و اجزای آن و صفات مورفو- فیزیولوژیکی و دست‌یابی به ژنوتیپ(های) مناسب و متحمل به تنش خشکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی پردیس تحقیقات و آموزش کشاورزی بروجرد انجام شد. مواد ژنتیکی مورد آزمایش شامل ۳۰ ژنوتیپ کلزای زمستانه بودند که از بخش تحقیقات دانه‌های روغنی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شدند. ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در اواخر شهریور ۱۳۹۵ در دو شرایط رطوبتی عدم تنش (نرمال) و تنش خشکی پایان دوره گلدهی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار کشت شدند. هر بلوک به دو ردیف ۱۵ کرتی تقسیم شد (جمعا ۳۰ کرت). هرکرت به ۵ ردیف کاشت مساوی به طول ۲ متر و عرض ۳۰ سانتی‌متر تقسیم شد. فاصله هر کرت با کرت مجاور خود۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذور در هر کرت به روش دستی و با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع در عمق ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متری خاک کشت شدند. از کودهای شیمیایی سوپرفسفات تریپل، سولفات پتاسیم و اوره به‌میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. همچنین میزان مصرف کود گوگرد گرانوله مصرفی ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. از سموم علفکش مانند سوپر گالانت (یک لیتر در هکتار) و لونترل (۸۰۰ سی‌سی در هکتار) به‌ترتیب برای کنترل علف‌های هرز باریک برگ و پهن برگ استفاده شد. برای مبارزه با شته از حشره‌کش کنفیدور به‌میزان ۲۵۰ سی‌سی در هکتار استفاده گردید. عملیات آبیاری برای بلوک‌ها در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی تا پایان مرحله‌گلدهی با سیفون به صورت نشتی انجام شد. بعد از پایان دوره گلدهی در کرت‌های تحت شرایط تنش خشکی آبیاری قطع شد. برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در طول دوره تنش خشکی از هر کرت تعداد ده بوته به تصادف انتخاب شد. صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و میزان سبزینگی برگ (کلروفیل برگ) اندازه‌گیری شدند. طول مدت زمان بین شروع گلدهی تا پایان مرحله گلدهی در تیمارها را به‌عنوان طول دوره گلدهی در نظر گرفته شد. صفت طول دوره رشد تا رسیدگی کامل دانه هم از تاریخ جوانه زنی تا رسیدگی کامل بذر تعیین شد. تاریخ پایان گلدهی ژنوتیپ‌ها تا رسیدگی کامل بذر هم به‌عنوان طول دوره رسیدگی دانه محسوب شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در هر ژنوتیپ کلیه بوته‌های هر کرت بطور کامل برداشت شدند. برای شمارش هزار دانه از دستگاه بذر شمار استفاده شد به اینصورت که در هر ژنوتیپ هزار دانه بویسله دستگاه بذر شمار شمارش شد و با ترازو دو صفر وزن هزار هر ژنوتیپ اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان سبزینگی برگ (کلروفیل برگ) از دستگاه SPAD-502 Plus ساخت شرکت Konica Minolta ژاپن استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها برای کلیه صفات به روش توکی (HSD) در سطح احتمال یک درصد انجام گرفت. در این پژوهش اجزای واریانس ژنتیکی و فنوتیپی با استفاده از امید ریاضی میانگین مربعات طرح آماری برآورد شد. سپس قابلیت توارث عمومی (H^2)، ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی به روش هالار و همکاران (۱۰) از روابط زیر محاسبه شدند.

رابطه (۱) وراثت‌پذیری عمومی $H^2 = \sigma_g^2/\sigma_p^2$

رابطه (۲) ضریب تنوع ژنتیکی $GCV\% = \sqrt{\sigma_g^2}/\bar{x}$

رابطه (۳) ضریب تنوع فنوتیپی $\mathrm{PCV\%} = \sqrt{\sigma_\mathrm{p}^2}/\bar{\mathrm{x}}$

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای آماری SAS 9.1، Minitab 16 و SPSS 19 استفاده شد.

نتایج تجزیه واریانس مرکب

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها (جداول ۱ و ۲) بعد از آزمون همگنی واریانس‌ها نشان داد که در هر دو شرایط محیطی بدون تنش و تنش‌خشکی برای همه صفات بجز برای دو صفت عملکرد دانه و تعداد روز تا شروع گلدهی در سطح احتمال یک درصد اثر تنش خشکی و ژنوتیپ معنی‌دار بود. برهمکنش ژنوتیپ و محیط (ژنوتیپ × محیط) برای صفات عملکرد دانه، دوره گلدهی، تعداد روز تا شروع گلدهی و دوره رسیدگی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. برای سبزینگی برگ برهمکنش ژنوتیپ و محیط در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. در پژوهشی تحت عنوان بررسی تاثیر تنش خشکی آخر فصل بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی در برخی ارقام کلزا مشخص شد برهمکنش ژنوتیپ و محیط برای صفاتی مانند عملکرد دانه در واحد سطح در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (۷،۱۳). گزارش شده که اعمال تنش‌خشکی در چند رقم زراعی کلزا در مراحل گلدهی و پر شدن دانه تاثیر معنی‌داری روی صفاتی مانند عملکرد دانه، ارتفاع بوته و طول دوره رشد ندارد (۱۴).

مقایسه میانگین‌ها

مقایسه میانگین‌ها (جداول ۸ و ۹) نشان داد که در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی برای صفت طول دوره رشد ژنوتیپ Sw102 با میانگین ۲۸۴ و ۲۷۶ روز دوره رشد تا

رسیدگی کامل به‌عنوان دیرس‌ترین ژنوتیپ در بین سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این تحقیق شناخته شد. در همین تحقیق ژنوتیپ 1142 با میانگین ۲۷۳/۳ روز طول دوره رشد در هر دو شرایط تنش و عدم تنش از کمترین طول دوره رشد تا رسیدگی کامل برخوردار بود و نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها زودرس‌تر بود. گزارش شده که مقارن بودن زمان رسیدگی کلزا با هوای گرم آخر فصل باعث می‌شود که تنش خشکی بر روی زمان رسیدگی این گیاه تاثیر بگذارد، به‌عبارتی زودرسی باعث کاهش نیاز آبی کلزا شده و احتمال دارد نسبت دانه به اندام‌های هوای را افزایش دهد (۱۲). در شرایط عدم تنش (جدول ۵) برای تعداد خورجین در بوته ژنوتیپ 1130 با میانگین ۲۱۹/۵ بیشترین تعداد خورجین در بوته را داشت. برای همین شرایط، کمترین تعداد خورجین در بوته به ژنوتیپ 1140 با میانگین ۱۱۷/۲ مشاهده شد. نتایج نشان داد که در شرایط تنش‌خشکی (جدول ۵) دو ژنوتیپب L72 و 1144 به ترتیب با میانگین ۲۰۹/۶ و ۲۰۱ بیشترین تعداد خورجین در بوته را داشتند. در همین شرایط (تنش) ژنوتیپ Ahmadi با میانگین ۱۰۵ و ژنوتیپ 1137 با میانگین ۱۰۹/۹ کمترین تعداد خورجین در بوته را به خود اختصاص دادند. نتایج این پژوهش با یافته‌های تحقیقاتی دادیور و همکاران (۷) و مجیدی و همکاران (۱۳) روی ارقام دیگر کلزا مطابقت داشت. برای صفت تعداد دانه در خورجین در شرایط عدم تنش (جدول ۸) ژنوتیپ 1142 با میانگین ۱/ ۱۴ و ژنوتیپ 1140 با میانگین ۱۵/۵ کمترین میانگین تعداد دانه در خورجین را داشتند. بیشترین تعداددانه در خورجین در شرایط بدون تنش هم به ژنوتیپ Okapi با میانگین ۲۵/۹ و ژنوتیپ Sw102 با میانگین ۲۴/۵ تعلق داشت. در شرایط تنش رطوبتی (جدول ۹) ژنوتیپ L72 با میانگین ۲۳/۲ بیشترین دانه در خورجین را داشت. در همین شرایط کمترین دانه در خورجین مربوط به ژنوتیپ‌های zarfam و 1143 با میانگین ۱۴/۲ بود. در این تحقیق مشخص شد که در اکثر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط عدم تنش تعداد دانه کمتری در خورجین وجود داشت، مشابه همین پژوهش بوسیله Trribo، Renard و Major گزارش شده است (۱۳). در رابطه با میزان سبزینگی برگ (کلروفیل برگ) در شرایط بدون تنش (جدول ۸) ژنوتیپ L72 با میانگین ۵۳/۳ بیشترین میزان سبزینگی برگ را به خود اختصاص داد. از طرفی ژنوتیپ express با میانگین ۴۱/۷ دارای کمترین میزان سبزینگی برگ بود. مقایسه میانگین‌ها در شرایط تنش خشکی برای میزان شاخص سبزینگی برگ نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۲۱۵ و okapi به‌ترتیب با میانگین ۵۶/۵ و ۵۵/۲ بیشترین سبزینگی برگ را داشتند در مقابل ژنوتیپ‌های 1141، 1136 و zarfam از کمترین میزان سبزینگی برگ برخوردار بودند. براساس نتایج حاصله (جداول ۸ و ۹) بیشتر ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش میزان سبزینگی بیشتری داشتند. در هر دو شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی (جداول ۸ و ۹) ژنوتیپ 1215 میانگین ۴/۹ و ۵/۲ و ژنوتیپ‌های Talaye، Express و 1146 با میانگین‌های ۳/۳،۳ و ۳/۹ گرم به‌ترتیب بیشترین وکمترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص دادند. مقایسه میانگین‌ها برای صفت عملکرد نشان داد که ژنوتیپ R15 با میانگین ۰/۶۲۱ کیلوگرم در مترمربع بیشترین عملکرد و ژنوتیپ Talaye با میانگین ۰/۳۰۸ کیلوگرم در مترمربع کمترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش رطوبتی را داشتند (جدول ۸). در شرایط تنش رطوبتی ژنوتیپ 1142 با میانگین ۰/۳۳۱کیلوگرم و ژنوتیپ L72 با میانگین ۰/۷۰۸ کیلوگرم در مترمربع به‌ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را دارا بودند (جدول ۹). با توجه به اینکه ژنوتیپ L72 در شرایط تنش خشکی دارای بیشترین میانگین عملکرد دانه در مترمربع بود، احتمال دارد این افزایش عملکرد به دلیل تحمل بیشتر این ژنوتیپ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها نسبت به شرایط تنش رطوبتی باشد. گزارش‌شده ژنوتیپ‌های کلزا که به شرایط تنش خشکی تحمل بیشتری دارند ممکن است نسبت به ژنوتیپ‌های که تحمل کمتری دارند عملکرد بیشتری داشته‌باشند. همچنین گزارش شده که تنش خشکی در کلزا باعث کاهش عملکرد، وزن هزار دانه، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین می‌شود که با برخی از نتایج پژوهش حاضر مغایرت دارد (۱۳،۷).

وراثت‌پذیری عمومی

نتایج نشان داد که در شرایط عدم تنش (جدول ۲) صفات دوره رشد تا گلدهی، دوره گلدهی و دوره رسیدگی دانه به ترتیب با مقادیر ۹۴/۰۹، ۹۲/۲۱ و ۹۰/۲۹ درصد بیشترین وراثت‌پذیری عمومی را داشتند. در شرایط تنش خشکی (جدول ۳) نیز صفات دوره رسیدگی دانه (۹۷/۵ درصد)، دوره رشد تا گلدهی (۹۳/۷ درصد) و دوره گلدهی (۸۹/۵ درصد) از بیشترین مقدار وراثت‌پذیری عموی برخوردار بودند. بر اساس نتایج بدست آمده در این پژوهش نتیجه‌گیری می‌شود که این صفات بیشتر تحت‌تاثیر ژنوتیپ هستند تا شرایط محیطی. این نتایج در یافته‌های پیشین برای صفت تعداد روز تا گلدهی در ارقام دیگری از کلزا گزارش شده است (۱۳). در شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی به‌ترتیب صفات تعداد خورجین با ۱/۰۳ درصد و تعداد شاخه فرعی در بوته با ۱/۲ درصد دارای کمترین وراثت‌پذیری عمومی بودند. بنابراین نتیجه می‌گیریم که صفات فوق احتمالا بیشتر تحت‌تاثیر شرایط محیطی و زراعی قرار دارند. این یافته با نتایج سایر محققین در ژنوتیپ‌های دیگر کلزا برای وراثت‌پذیری صفات مختلف مطابقت دارد (۲۲). میزان بازدهی انتخاب برای بهبود یک صفت به تاثیر نسبی عوامل ژنتیکی و محیطی در بروز اختلافات فنوتیپی بستگی دارد که از طریق پارامتر وراثت‌پذیری بیان می‌شود (۱۳). در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی دوره گلدهی دارای بیشترین مقدار تنوع ژنتیکی بود (جداول ۲، ۳، ۴ و ۵). دوره رشد تا رسیدگی دانه در شرایط عدم تنش و صفت تعداد شاخه فرعی در بوته برای شرایط تنش خشکی کمترین میزان تنوع ژنتیکی را نشان دادند. نتایج بدست آمده با پژوهش‌های پیشین (۱۳) مطابقت داشت. برای به‌نژادی و تولید ارقام پرمحصول دسترسی به منابع ژنتیکی، اطلاع از ساختار ژنتیکی و چگونگی توارث صفات در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه لازم وضروری می‌باشد (۱۳). نتایج نشان داد که صفات دوره گلدهی و عملکرد دانه در هر دو

شرایط تنش خشکی و بدون تنش رطوبتی دارای حداکثر ضریب تنوع ژنوتیپی بودند (جداول ۴، ۵، ۶ و ۷). در هر دو شرایط تنش و عدم تنش طول دوره رشد (تعداد روز تا رسیدگی) به‌ترتیب با ضریب تنوع زنتیکی (۰/۱۸۰ و ۰/۱۶۱) کمترین مقدار ضریب تنوع ژنتیکی را داشت. بطور کلی در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط عدم تنش خشکی تنوع ژنتیکی در برخی صفات مانند عملکرد دانه و تعداد خورجین در بوته افزایش و در بعضی صفات دیگر مانند تعداد دانه در خورجین، دوره گلدهی و تعداد شاخه فرعی کاهش نشان دادند که نشان‌می‌دهد، تنش خشکی می‌تواند هم به‌عنوان یک محدودیت و هم یک فرصت برای بروز مقدار بالقوه تنوع ژنتیکی مدنظر قرار گیرد. در پژوهش‌های قبلی فقط کاهش تنوع ژنتیکی صفات در شرایط تنش خشکی گزارش شده و از صفاتی که در شرایط تنش تنوع ژنتیکی آنها افزایش یافت گزارشی نشده است (۱۳).

تجزیه به عامل‌ها

نتایج تجزیه به عامل‌ها در شرایط نرمال (جدول ۷) نشان داد که عامل‌های اول، دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب با ۴/۷۸، ۱/۹۳، ۱/۲۱ و ۱/۱۲ دارای بیشترین مقادیر ویژه بودند. در نتیجه هر چهار عامل مقادیر ویژه بیشتر از یک داشتند. از طرفی مقدار درصد واریانس نسبی برای هر کدام از عامل‌های اول، دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب ۴۳/۴۱، ۱۷/۵۵، ۱۱/۰۳ و ۱۰/۱۹ شد که در مجموع حدود ۸۲ درصد واریانس‌کل (واریانس نسبی) را توجیه کردند. در عامل اول صفاتی مانند ارتفاع بوته، دوره گلدهی و دوره رشد تا گلدهی به‌ترتیب با ۰/۹۲، ۰/۹۲- و ۰/۸۹ بیشترین بار عاملی را داشتند. همچنین در بین کلیه صفات دوره رسیدگی دانه (۰/۰۹-) کمترین بار عاملی را داشت. در عامل دوم صفاتی مانند دوره رسیدگی دانه و دوره رشد تا رسیدگی کامل (۰/۹۰ و ۰/۷۹) دارای بیشترین بار عاملی بودند. در عامل دوم کمترین بار عاملی متعلق به ارتفاع بوته (۰/۰۲-) و تعداد خورجین در بوته (۰/۰۲) بود. در عامل سوم صفاتی مانند وزن هزاردانه (۰/۷۶) و تعداد خورجین در بوته (۰/۴۴-) و دو صفتی بودند که حداکثر بار عاملی را داشتند. کمترین مقدار بارعاملی در عامل سوم هم به صفت دوره رشد تا گلدهی (۰/۰۴-) تعلق داشت. در شرایط تنش عامل چهارم دو صفت تعداد خورجین در بوته (۰/۸۴) و تعداد شاخه فرعی در بوته (۰/۴۱) دارای بیشترین بار عاملی بودند. در شرایط تنش خشکی (جدول ۸) مقادیر ویژه برای هر کدام از عامل‌های اول، دوم و سوم بیشتر از یک شدند (۴/۸۴، ۱/۶۷ و ۱/۲۶). به‌همین دلیل عامل‌های اول، دوم و سوم به‌عنوان اصلی‌ترین عامل‌ها انتخاب شدند. در مجموع ۷۱ درصد از واریانس کل به این سه عامل تعلق داشت. در شرایط تنش خشکی برای عامل اول به‌ترتیب صفاتی از جمله دوره رشد تا گلدهی (۰/۹۲)، دوره گلدهی (۰/۸۸-)، ارتفاع بوته (۰/۸۵) و عملکرد دانه (۰/۷۹) بیشترین مقادیر بار عاملی را داشتند. حداقل بار عاملی به صفت تعداد خورجین در بوته (۰/۰۳) مربوط بود. در عامل دوم تعداد خورجین در بوته (۰/۷۹) و تعداد شاخه فرعی در بوته (۰/۶۸) دو صفتی بودند که بیشترین بار عاملی را داشتند. در عامل دوم صفات تعداد دانه در خورجین (۰/۰۲-)، دوره رشد تا گلدهی (۰/۰۲) و ارتفاع بوته (۰/۰۶) دارای کمترین بار عاملی بودند. در عامل سوم دوره رسیدگی دانه (۰/۷۰-)، تعداد خورجین در بوته (۰/۴۶) و تعداد دانه در خورجین (۰/۳۹) حداکثر بار عاملی را داشتند. در عامل سوم صفت دوره گلدهی (۰/۰۱-) حداقل بار عاملی را داشت.

تجزیه خوشه‌ای

در شرایط بدون تنش خشکی خط برش در مکانی که بیشترین فاصله وجود داشت (شکل ۱) دندروگرام را به دو گروه تقسیم کرد. بطوری‌که بیست و شش ژنوتیپ در دسته اول و چهار ژنوتیپ دیگر در دسته دوم قرار می‌گیرد. بیشترین فاصله (فاصله ژنتیکی) بین ژنوتیپ 1139 از دسته اول با ژنوتیپ Ahmadi از دسته دوم مشاهده شد. کمترین فاصله هم بین ژنوتیپ 1132 از دسته دوم با ژنوتیپ 1130 از دسته اول مشاهده شد. در شرایط تنش‌خشکی (شکل ۲) دندروگرام بوسیله خط برش در محلی که بیشترین فاصله وجود داشت به دو گروه تقسیم شد. در گروه اول بیست و هفت ژنوتیپ و در گروه دوم سه ژنوتیپ وجود دارد. در شرایط تنش خشکی بیشترین فاصله بین ژنوتیپ 1139 از کلاستر اول با ژنوتیپ 1144 از کلاستر دوم مشاهده شد. بنابراین این دو ژنوتیپ بر اساس فاصله‌ای که از همدیگر دارند، حداکثر تنوع ژنتیکی در بین سایر ژنوتیپ‌ها دارند. حداقل فاصله یا تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ 1136 از کلاستر اول با ژنوتیپ L72 از کلاستر دوم مشاهده شد. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی تا حدود زیادی فرآیندهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های کلزا را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از طرفی می‌توان از تنوع ژنتیکی موجود در بین ژنوتیپ‌ها این تحقیق برای برنامه‌های اصلاحی از جمله تنش خشکی در آینده استفاده نمود. بر اساس نتایج حاصله در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش ژنوتیپ L72 از بیشترین مقدار عملکرد در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های برخوردار بود. بنابراین ژنوتیپ L72 به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به تنش خشکی انتخاب می‌شود، در نتیجه برای شرایط کم آبی و تنش رطوبتی مناسب می‌باشد. از طرفی ژنوتیپ 1142 در هر دو شرایط تنش خشکی و عدم تنش کمترین میزان عملکرد را داشت که به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی می‌باشد که مناسب برای شرایط کم آبی و تنش خشکی نمی‌باشد.

جدول ۱- تجزیه مرکب صفات مختلف در ۳۰ ژنوتیپ کلزا در شرایط بدون تنش و تنش‌خشکی
Table 1. Combined analysis of traits in 30 rapeseed genotypes under control and drought stress conditions

	میانگین مربعات (MS)						
منابع تغیرات	درجه آزادی	عملکرد دانه (kg/m^2)	وزن هزار دانه (g)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	دوره گلدهی	دوره رشد تا گلدهی
محیط	۱	۰/۰۱۱	۲/۶۶۵*	۲۰۲۶۲/۹۷۸*	۱۰۶/۴۱۴*	۸۱/۳۳۹*	۰/۶۷۲
تکرار در محیط (خطای a)	۴	۰/۰۶۷	۳/۲۱۵	۲۹۱/۸۶۵	۱۱/۸۲۰	۱۵/۴۳۹	۱۹/۵۹۴
ژنوتیپ	۲۹	۰/۰۲۶**	۰/۵۶۱**	۲۱۴۵/۸۷۸	۴۰/۵۴۷**	۳۲۱/۵۷۱**	۴۳۹/۰۷۳**
ژنوتیپ × محیط	۲۹	۰/۰۰۷**	۰/۱۳۵	۱۸۴۸/۸۳۲	۶/۷۰۲	۱۳/۹۰۲**	۴۸/۴۷۷**
خطای b	۱۱۶	۰/۱۶۹	۰/۱۶۹	۱۵۵۲/۰۴۴	۸/۷۶۴	۵/۳۶۷	۵/۱۶۳
ضریب تغیرات (٪)	–	۱۳/۶۸۹	۹/۳۰۵	۲۴/۲۴۴	۱۵/۱۰۳	۵/۹۷۸	۱/۲۳۰

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۲- تجزیه مرکب صفات مختلف در ۳۰ ژنوتیپ کلزا در شرایط بدون تنش و تنش‌خشکی
Table 2. Combined analysis of traits in 30 rapeseed genotypes under control and drought stress conditions

	میانگین مربعات (MS)						
منابع تغیرات	درجه آزادی	تعداد شاخه فرعی در بوته	مقدار سبزینگی برگ	ارتفاع بوته (cm)	دوره رسیدگی دانه	دورهرشد تا رسیدگی کامل
محیط	۱	۱۴/۵۰۷*	۱۳۸/۱۶۳*	۱۸۱۵/۷۸۳*	۳۶۴۵**	۲۵۵۳/۸**
تکرار در محیط (خطای a)	۴	۱/۹۱۱	۱۲۲/۱۳۱	۱۴۴/۹۵۱	۲۳/۸۳۳	۳۲/۱۷۸
ژنوتیپ	۲۹	۱/۵۴۲*	۵۷/۰۳**	۹۱۲/۲۷۹**	۳۲/۹۳۶**	۲/۱۲۳**
ژنوتیپ × محیط	۲۹	۱/۰۳۴	۱۶/۷۲۷*	۹۶/۹۴۸	۸۹/۲۹۹**	۰/۹۷۲
خطای b	۱۱۶	۰/۹۷۳	۱۰/۵۸۲	۱۰۷/۸۵۱	۱/۶۴۴	۰/۸۶۷
ضریب تغیرات (٪)	–	۱۴/۲۷۸	۸/۴۰۹	۸/۴۰۹	۲/۳۷۳	۰/۳۳۶

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین‌ها در شرایط عدم تنش و تنش‌خشکی برای برخی صفات مهم در ژنوتیپ‌های کلزا به روش توکی (HSD)
Table 3. The mean of comparison under non and drought stress conditions for some important traits in rapeseed genotype by Tuky method

		طول دوره رشد (تعداد روز)			تعداد خورجین در بوته			تعداد دانه در خورجین		
ردیف	ژنوتیپ	عدم تنش	تنش	درصد تغییر	عدم تنش	تنش	درصد تغییر	عدم تنش	تنش	درصد تغییر
۱	1139	۲۸۱^{a}	۲۷۳/۷^{b}	۲/۶	۱۷۲/۹^{a}	۱۳۱/۸^{a}	۲۳/۷۷	۲۳/۵^{a}	۲۳^{a}	۲/۱۳
۲	1141	۲۷۹/۷^{a}	۲۷۴^{b}	۲/۰۴	۱۷۰/۶^{a}	۱۷۲/۱^{a}	-۰/۸۸	۲۰/۲$^{a-c}$	۱۹/۷^{a}	۲/۴۸
۳	1129	۲۸۱/۳^{a}	۲۷۴^{b}	۲/۶	۱۹۱/۹^{a}	۱۷۷/۳^{a}	۷/۶۱	۱۸/۸$^{a-c}$	۱۶^{a}	۱۴/۸۹
۴	1142	۲۷۹/۷^{a}	۲۷۳/۳^{b}	۲/۲۹	۱۶۴/۷^{a}	۱۵۳/۴^{a}	۶/۸۶	۱۴/۱^{c}	۱۴/۳^{a}	-۱/۴۲
۵	1132	۲۸۱/۳^{a}	۲۷۳/۳^{b}	۲/۸۴	۱۱۷/۲^{a}	۱۳۱/۳^{a}	-۱۲/۰۳	۲۲/۱ $^{a-c}$	۱۸/۵^{a}	۱۶/۲۹
۶	zarfam	۲۸۱^{a}	۲۷۳/۳^{b}	۲/۷۴	۱۵۴/۹^{a}	۱۵۹/۲^{a}	-۲/۷۸	۱۶/۵ $^{a-c}$	۱۴/۲^{a}	۱۳/۹۴
۷	1133	۲۸۱/۷^{a}	۲۷۴^{b}	۲/۷۳	۱۸۵/۸^{a}	۱۷۵/۹^{a}	۵/۳۳	۱۸/۱ $^{a-c}$	۱۶/۷^{a}	۷/۷۳
۸	sw102	۲۸۴^{a}	۲۷۶^{a}	۲/۸۲	۱۶۹/۹^{a}	۱۶۴/۴^{a}	۳/۲۴	۲۴/۵^{ab}	۱۹/۵^{a}	۴۱/۲۰
۹	1146	۲۸۲/۳^{a}	۲۷۳/۷^{b}	۳/۰۵	۱۶۷^{a}	۱۴۶/۵^{a}	۱۲/۲۸	۱۶/۸ $^{a-c}$	۱۷/۲^{a}	-۲/۳۸
۱۰	express	۲۸۱/۳^{a}	۲۷۳/۳^{b}	۲/۸۴	۲۰۱/۲^{a}	۱۳۴/۹^{a}	۳۲/۹۵	۱۹$^{a-c}$	۱۶/۲^{a}	۱۴/۷۴
۱۱	L72	۲۸۲^{a}	۲۷۳/۷^{b}	۲/۹۴	۲۰۱/۸^{a}	۲۰۹/۶^{a}	-۳/۸۷	۲۱/۴ $^{a-c}$	۲۳/۲^{a}	-۸/۴۱
۱۲	957	۲۸۱/۷^{a}	۲۷۳/۳^{b}	۲/۹۸	۱۶۸/۲^{a}	۱۳۶/۳^{a}	۱۸/۹۷	۲۰/۲ $^{a-c}$	۲۰/۱^{a}	۰/۵
۱۳	1131	۲۸۰/۷^{a}	۲۷۳/۷^{b}	۲/۴۹	۱۷۹/۶^{a}	۱۶۷/۴^{a}	۶/۷۹	۲۰/۶ $^{a-c}$	۱۷/۶^{a}	۱۴/۵۶
۱۴	1137	۲۸۱^{a}	۲۷۳/۳^{b}	۲/۷۴	۱۶۶/۹^{a}	۱۰۹/۹^{a}	۳۴/۱۵	۲۲/۱ $^{a-c}$	۱۵/۴^{a}	۳۰/۳۲
۱۵	Ahmadi	۲۸۱/۳^{a}	۲۷۳/۳^{b}	۲/۸۴	۱۲۲/۳^{a}	۱۰۵/۸^{a}	۱۳/۴۹	۲۰/۹ $^{a-c}$	۱۸/۵^{a}	۱۱/۴۸
۱۶	R15	۲۸۱/۷^{a}	۲۷۳/۳^{b}	۲/۹۸	۲۱۸/۱^{a}	۱۳۷/۲^{a}	۳۷/۰۹	۲۱/۲ $^{a-c}$	۱۹/۲^{a}	۹/۴۳
۱۷	KS7	۲۸۱/۳^{a}	۲۷۳/۷^{b}	۲/۷	۱۸۶/۹^{a}	۱۱۷/۷^{a}	۳۷/۰۳	۲۲/۴ $^{a-c}$	۲۰^{a}	۱۰/۷۱
۱۸	1215	۲۸۰^{a}	۲۷۴^{b}	۲/۱۴	۱۴۷/۳^{a}	۱۹۳^{a}	-۳۱/۰۳	۲۲/۳ $^{a-c}$	۲۱/۸^{a}	۲/۲۴
۱۹	1130	۲۸۲^{a}	۲۷۳/۷^{b}	۲/۹۴	۲۱۹/۵^{a}	۱۶۰/۲^{a}	۲۷/۰۲	۱۶/۴ $^{a-c}$	۱۵/۴^{a}	۶/۱
۲۰	HW113	۲۸۰^{a}	۲۷۳/۷^{b}	۲/۲۵	۲۱۱/۴^{a}	۱۵۰^{a}	۲۹/۰۴	۲۳ $^{a-c}$	۲۱^{a}	۸/۷
۲۱	1144	۲۸۰/۳^{a}	۲۷۴^{b}	۲/۲۵	۱۳۰^{a}	۲۰۱^{a}	-۵۴/۶۲	۱۸/۶ $^{a-c}$	۱۸/۱^{a}	۲/۶۹
۲۲	Talaye	۲۸۱/۳^{a}	۲۷۴^{b}	۲/۶	۱۸۲/۸^{a}	۱۵۲/۸^{a}	۱۶/۴۱	۲۱/۴ $^{a-c}$	۲۲/۳^{a}	-۴/۶۷
۲۳	okapi	۲۸۱/۳^{a}	۲۷۴^{b}	۲/۶	۱۸۰/۲^{a}	۱۴۵/۴^{a}	۱۹/۳۱	۲۵/۹^{a}	۲۱/۱^{a}	۱۸/۵۳
۲۴	1145	۲۸۱/۷^{a}	۲۷۳/۷^{b}	۲/۸۴	۱۶۷/۱^{a}	۱۵۱/۹^{a}	۹/۱	۱۹/۹ $^{a-c}$	۱۸/۵^{a}	۷/۰۴
۲۵	963	۲۸۲^{a}	۲۷۳/۳^{b}	۳/۰۹	۱۵۹/۹^{a}	۱۲۲/۹^{a}	۲۳/۱۴	۲۲/۱ $^{a-c}$	۲۳/۴^{a}	-۵/۸۸
۲۶	1140	۲۸۱/۳^{a}	۲۷۳/۷^{b}	۲/۷	۱۱۶/۶^{a}	۱۵۹/۸^{a}	-۳۷/۰۵	۱۵/۵^{bc}	۱۸/۷^{a}	-۲۰/۶۵
۲۷	HW118	۲۸۱/۷^{a}	۲۷۳/۷^{b}	۲/۸۴	۱۸۷/۶^{a}	۱۶۴/۳^{a}	۱۲/۴۲	۲۳/۹ $^{a-c}$	۲۰/۹^{a}	۱۲/۵۵
۲۸	1143	۲۸۱^{a}	۲۷۳/۳^{b}	۲/۷۴	۱۸۱/۵^{a}	۱۴۱/۶^{a}	۲۱/۹۸	۱۵/۹ $^{a-c}$	۱۴/۲^{a}	۱۰/۶۹
۲۹	1138	۲۸۰^{a}	۲۷۳/۷^{b}	۲/۲۵	۱۸۷/۳^{a}	۱۴۳/۱^{a}	۱۹/۷۴	۲۳/۶ $^{a-c}$	۲۰/۳^{a}	۱۳/۹۸
۳۰	1136	۲۸۱/۷^{a}	۲۷۳/۷^{b}	۲/۸۴	۱۹۰/۸^{a}	۱۴۰/۱^{a}	۲۶/۵۷	۱۹/۸ $^{a-c}$	۱۹/۸^{a}	۰

جدول ۴- مقایسه میانگین‌ها در شرایط عدم تنش و تنش‌خشکی برای برخی صفات مهم در ژنوتیپ‌های کلزا به روش توکی (HSD)

Table 4. The mean of comparison under control and drought stress conditions for some important traits in rapeseed genotype by Tuky method

		میزان سبزینگی برگ			وزن هزار دانه به گرم (g)			عملکرد دانه کیلو گرم در مترمربع (kg/m^2)		
ردیف	ژنوتیپ	عدم تنش	تنش	درصد تغییر	عدم تنش	تنش	درصد تغییر	عدم تنش	تنش	درصد تغییر
۱	1139	۴۵/۲^{a}	۴۸/۲^{d}	-۶/۶۴	۴/۲^{a}	۴/۳$^{c-e}$	-۲/۳۸	۰/۴۲۳$^{a-c}$	۰/۴۵۷$^{b-e}$	-۳/۴
۲	1141	۴۸/۳^{a}	۴۰/۷^{d}	۱۵/۷۳	۴/۵^{a}	۴/۴$^{b-e}$	۲/۲۲	۰/۴۵۱$^{a-c}$	۰/۴۴۱$^{b-e}$	۱
۳	1129	۴۴/۴^{a}	۴۹/۷$^{a-d}$	۱۱/۹۴-	۴/۱^{a}	۴/۱^{de}	۰	۰/۳۸۲$^{a-c}$	۰/۳۷۵$^{c-e}$	۰/۷
۴	1142	۴۲^{a}	۴۵/۵$^{a-d}$	-۸/۳۳	۴/۶^{a}	۴/۶$^{a-e}$	۰	۰/۳۶۸$^{a-c}$	۰/۳۳۱^{e}	۳/۷
۵	1132	۴۲/۸^{a}	۴۵/۲$^{b-d}$	-۵/۶۱	۴/۴^{a}	۴/۶$^{a-e}$	-۴/۵۵	۰/۴۴۱$^{a-c}$	۰/۴۱۵$^{b-e}$	۲/۶
۶	zarfam	۴۲/۹^{a}	۴۳/۷^{cd}	-۱/۸۶	۴/۶^{a}	۴/۶$^{a-e}$	۰	۰/۴۰۴$^{a-c}$	۰/۳۵۶^{de}	۴/۸
۷	1133	۴۷/۳^{a}	۴۴/۲$^{b-d}$	۶/۵۵	۴/۳^{a}	۴/۳$^{c-e}$	۰	۰/۴۷۹$^{a-c}$	۰/۴۱۹$^{b-e}$	۶
۸	sw102	۴۳/۹^{a}	۴۶/۷$^{a-d}$	-۶/۳۸	۴/۵^{a}	۴/۹$^{a-d}$	۸/۸۹	۰/۴۳۱$^{a-c}$	۰/۵۴۲$^{a-d}$	-۱۱/۱
۹	1146	۴۶/۲^{a}	۴۹/۵$^{a-d}$	-۷/۱۴	۳/۹^{a}	۴/۴$^{b-e}$	-۱۲/۸۲	۰/۴۰۲$^{a-c}$	۰/۳۶۹$^{c-e}$	۳/۳
۱۰	Express	۴۱/۷^{a}	۴۴/۶$^{b-d}$	-۶/۹۵	۳/۳^{a}	۴^{e}	-۲۱/۲۱	۰/۴۱۰$^{a-c}$	۰/۴۱۷$^{b-e}$	-۰/۷
۱۱	L72	۵۳/۳^{a}	۵۲/۵$^{a-c}$	۱/۵	۴/۴^{a}	۴/۹$^{a-e}$	-۱۱/۳۶	۰/۵۰۸$^{a-c}$	/۷۰۸^{a}	-۲۰
۱۲	957	۵۲/۱^{a}	۵۱/۲$^{a-d}$	۱/۷۳	۴/۷^{a}	۴/۵$^{a-e}$	۴/۲۶	۰/۵۴۴$^{a-c}$	۰/۵۴۵$^{a-d}$	-۰/۱
۱۳	1131	۴۶/۵^{a}	۵۰/۷$^{a-d}$	-۹/۰۳	۴^{a}	۴/۳$^{c-e}$	-۷/۵	۰/۴۱۱$^{a-c}$	۰/۴۷۴$^{b-e}$	-۶/۳
۱۴	1137	۴۷/۹^{a}	۵۳$^{a-c}$	-۱۰/۶۵	۴/۳^{a}	۴/۷$^{a-e}$	-۹/۳	۰/۳۸۸$^{a-c}$	۰/۴۴۷$^{b-e}$	-۵/۹
۱۵	Ahmadi	۵۲/۳^{a}	۵۰/۶$^{a-d}$	۳/۲۵	۴/۵^{a}	۴/۶$^{a-e}$	-۲/۲۲	۰/۳۴۷^{bc}	۰/۳۹۶$^{b-e}$	-۴/۹
۱۶	R15	۴۷/۸^{a}	۴۹$^{a-d}$	-۲/۵۱	۴/۸^{a}	۵$^{a-c}$	-۴/۱۷	۰/۶۲۱^{a}	۰/۵۵۵$^{a-c}$	۶/۶
۱۷	KS7	۴۷/۳^{a}	۴۹/۲$^{a-d}$	-۴/۰۲	۴/۴^{a}	۵/۲ ^{ab}	-۱۸/۱۸	۰/۴۴۱$^{a-c}$	۰/۵۳۴$^{a-d}$	-۹/۳
۱۸	1215	۵۱/۳^{a}	۵۶/۵^{a}	-۱۰/۱۴	۴/۹^{a}	۵/۲^{a}	-۶/۱۲	۰/۴۸۲$^{a-c}$	۰/۴۶۸$^{b-e}$	۱/۴
۱۹	1130	۴۶/۹^{a}	۴۴/۵$^{b-d}$	۵/۱۲	۴/۲^{a}	۴/۵$^{a-e}$	-۷/۱۴	۰/۳۷۷$^{a-c}$	۰/۳۹۳$^{b-e}$	-۱/۶
۲۰	HW113	۴۸/۳^{a}	۴۷/۴$^{a-d}$	۱/۸۶	۴/۵^{a}	۴/۷$^{a-e}$	-۴/۴۴	۰/۵۲۳$^{a-c}$	۰/۵۷۸^{ab}	-۵/۵
۲۱	1144	۴۲/۴^{a}	۴۹/۱$^{a-d}$	-۱۵/۸	۴^{a}	۴/۱$^{d-e}$	-۲/۵	۰/۴۴۷$^{a-c}$	۰/۴۵۲$^{b-e}$	-۰/۵
۲۲	Talaye	۴۶^{a}	۴۹/۶$^{a-d}$	-۷/۸۳	۳^{a}	۴/۴$^{b-e}$	-۴۶/۶۷	۰/۳۰۸^{c}	۰/۵۲۶$^{a-d}$	-۲۱/۸
۲۳	okapi	۵۰/۱^{a}	۵۵/۲^{ab}	۰	۴/۴^{a}	۴/۶$^{a-e}$	-۴/۵۵	۰/۵۱۱$^{a-c}$	۰/۴۳۸$^{b-e}$	۷/۳
۲۴	1145	۴۶/۵^{a}	۴۵/۴$^{a-d}$	۰	۴/۳^{a}	۴/۴$^{b-e}$	-۲/۳۳	۰/۴۱۳$^{a-c}$	۰/۴۰۲$^{b-e}$	۱/۱
۲۵	963	۵۰/۱^{a}	۵۱/۲$^{a-d}$	۰	۴/۳^{a}	۴/۶$^{a-e}$	-۶/۹۸	۰/۵۱۶$^{a-c}$	۰/۵۰۵$^{b-e}$	۱/۱
۲۶	1140	۴۶/۶^{a}	۵۲/۶$^{a-c}$	-۲۱/۴۶	۴/۳^{a}	۴/۵$^{a-e}$	-۴/۶۵	۰/۴۵۴$^{a-c}$	۰/۴۵۶$^{b-e}$	-۰/۲
۲۷	HW118	۴۶/۴^{a}	۴۷/۹$^{a-d}$	-۳/۲۳	۴/۷^{a}	۴/۷$^{a-e}$	۰	۰/۵۷۹^{ab}	۰/۵۲۵$^{a-d}$	۵/۴
۲۸	1143	۴۱/۴^{a}	۴۶/۹$^{a-d}$	-۱۳/۲۹	۴/۴^{a}	۴/۶$^{a-e}$	-۴/۵۵	۰/۴۱۵$^{a-c}$	۰/۴۰۲$^{b-e}$	۱/۳
۲۹	1138	۴۳^{a}	۴۴/۸$^{b-d}$	-۶/۶۷	۴^{a}	۴/۴$^{a-e}$	-۱۰	۰/۴۱۸$^{a-c}$	۰/۴۴۵$^{b-e}$	-۲/۷
۳۰	1136	۴۷/۱^{a}	۴۳/۵^{cd}	-۷/۶۴	۴/۲^{a}	۴/۴$^{a-e}$	-۴/۷۶	۰/۴۱۳$^{a-c}$	۰/۴۱۶$^{b-e}$	۱/۵

جدول ۵- وراثت‌پذیری عمومی صفات در ژنوتیپ‌های کلزا تحت شرایط بدون تنش

Table 5. Heritability of traits in non-stress conditions

ردیف	عملکرد دانه (kg/m^2)	وزن هزار دانه (g)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	دوره گلدهی
واریانس ژنتیکی	۰/۰۰۳	۰/۰۵۵	۲۱/۹۱	۵/۸۹۱	۵۹/۷۶۴
واریانس فنوتیپی	۰/۰۰۸	۰/۳۳۸	۲۱۲۱/۶۶	۱۳/۶۲۶	۶۴/۸۱۵
وراثت‌پذیری عمومی (٪)	۳۷/۵	۱۶/۲۶	۱/۰۳	۴۳/۲۳	۹۲/۲۱
ضریب تنوع ژنتیکی (٪)	۱۲/۳۹	۵/۴۶	۲/۷	۱۱/۹۱	۲۰/۳
ضریب تنوع فنوتیپی (٪)	۲۰/۰۴۵	۱۳/۵۰۸	۲۶/۶۰۸	۱۸/۱۲	۲۱/۱۴

جدول ۶- وراثت‌پذیری عمومی صفات در ژنوتیپ‌های کلزا تحت شرایط بدون تنش

Table 6. Heritability of traits in non-stress condition

ردیف	دوره رشد تا گلدهی	تعداد شاخه فرعی در بوته	سبزینگی برگ	ارتفاع بوته (cm)	دوره رسیدگی دانه	دوره رشد تا رسیدگی دانه
واریانس ژنتیکی	۷۷/۳۶	۰/۲۲۳	۶/۸۷۸	۱۳۵/۹۱	۲۸/۰۹	۰/۲۵۹
واریانس فنوتیپی	۸۲/۲۱۶	۱/۱۰۶	۱۸/۶۸	۲۳۲/۴۶۶	۳۱/۰۷۵	۱/۸۲۶
وراثت‌پذیری عمومی (٪)	۹۴/۰۹	۲۰/۱۷	۳۶/۸۲	۵۸/۴۶	۹۰/۳۹	۱۴/۱۹
ضریب تنوع ژنتیکی (٪)	۴/۷۶	۷/۱۳	۵/۶۴	۹/۲	۹/۰۵	۰/۱۸
ضریب تنوع فنوتیپی (٪)	۴/۹۱	۱۵/۸۸	۹/۲۸۶	۱۲/۰۳۶	۹/۵۲	۰/۴۸

جدول ۷- وراثت پذیری عمومی صفات در ژنوتیپ‌های کلزا تحت شرایط تنش خشکی

Table 7. Heritability of traits in stress condition

ردیف	عملکرد دانه (kg/m^2)	وزن هزار دانه (g)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	دوره گلدهی
واریانس ژنتیکی	۰/۰۰۵	۰/۰۶۳	۲۷۸/۲۶۹	۴/۰۱۶	۴۸/۴۸
واریانس فنوتیپی	۰/۰۰۸	۰/۱۱۹	۱۲۷۲/۶۹	۱۳/۸۰۹	۵۴/۱۶۹
وراثت‌پذیری عمومی (٪)	۶۲/۵	۵۲/۹	۲۱/۸۶	۲۹/۰۸	۸۹/۵
ضریب تنوع ژنتیکی (٪)	۱۵/۴۶۸	۵/۵۲۳	۱۰/۹۸۳	۱۰/۶۴۱	۱۷/۶۵۸
ضریب تنوع فنوتیپی (٪)	۱۹/۳۹	۷/۵۹۲	۲۳/۴۸۸	۱۹/۷۳۲	۱۸/۶۶۵

جدول ۸- وراثت پذیری عمومی صفات در ژنوتیپ‌های کلزا تحت شرایط تنش خشکی

Table 8. Heritability of traits in stress condition

ردیف	دوره رشد تا گلدهی	تعداد شاخه فرعی در بوته	سبزینگی برگ	ارتفاع بوته (cm)	دوره رسیدگی دانه	دوره رشد تا رسیدگی دانه
واریانس ژنتیکی	۸۱/۷۱۴	۰/۰۱۳	۱۰/۶۵۳	۱۲۸/۷۲۶	۱۱/۵۵۹	۰/۱۹۵
واریانس فنوتیپی	۸۷/۱۸۴	۱/۰۵	۲۰/۰۱۵	۲۴۷/۷۳	۱۱/۸۶۱	۰/۳۶۲
وراثت‌پذیری عمومی (٪)	۹۳/۷۳	۱/۲۴	۵۳/۲۳	۵۱/۹۶	۹۷/۴۵	۵۳/۸۷
ضریب تنوع ژنتیکی (٪)	۴/۸۹۳	۱/۵۸۵	۶/۷۵۸	۹/۴۲۹	۶/۸۶۴	۰/۱۶۱
ضریب تنوع فنوتیپی (٪)	۵/۰۵۴	۱۴/۴۲۱	۹/۲۶۴	۱۳/۰۸	۶/۹۵۳	۰/۲۲

جدول ۹- تجزیه به عامل‌ها (FA) با استفاده از ماتریس همبستگی در ژنوتیپ‌های کلزا (بدون تنش)

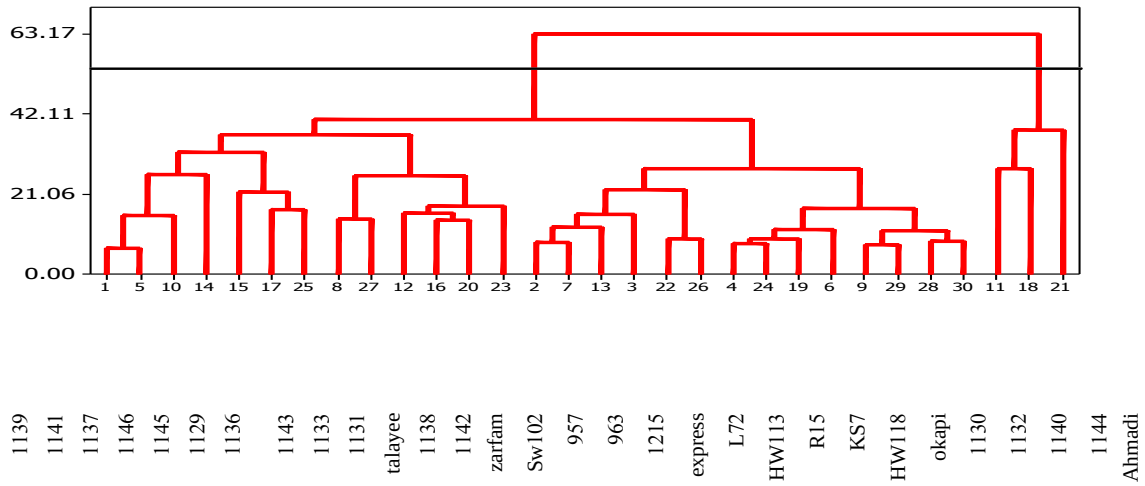
Table 9. Factor analysis (FA) by using correlation matrix in rapeseed (control) genotypes

صفات	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم	عامل چهارم
عملکرد دانه در مترمربع (کیلو گرم)	۰/۷۴	-۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۳۰
وزن هزار دانه (گرم)	۰/۴۶	-۰/۲۲	۰/۷۶	۰/۰۵
تعداد خورجین در بوته	۰/۱۵	۰/۰۲	-۰/۴۴	۰/۸۴
تعداد دانه در خورجین	۰/۷۰	۰/۳۳	-۰/۳۳	-۰/۲۵
دوره گلدهی	-۰/۹۲	-۰/۱۳	-۰/۱۵	-۰/۰۱
دوره رشد تا گلدهی	۰/۸۹	-۰/۳۵	-۰/۰۴	۰/۰۲
تعداد شاخه فرعی در بوته	-۰/۶۶	-۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۴۱
میزان سبزینگی برگ	۰/۷۴	-۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۰۱
ارتفاع بوته	۰/۹۲	-۰/۰۲	-۰/۱۹	-۰/۰۱
دوره رسیدگی دانه	-۰/۰۹	۰/۹۰	۰/۳۱	۰/۰۴
دوره رشد تا رسیدگی کامل	۰/۱۸	۰/۷۹	۰/۱۶	۰/۳۱
مقادیر ویژه	۴/۷۸	۱/۹۳	۱/۲۱	۱/۱۲
واریانس (٪)	۴۳/۴۱	۱۷/۵۵	۱۱/۰۳	۱۰/۱۹

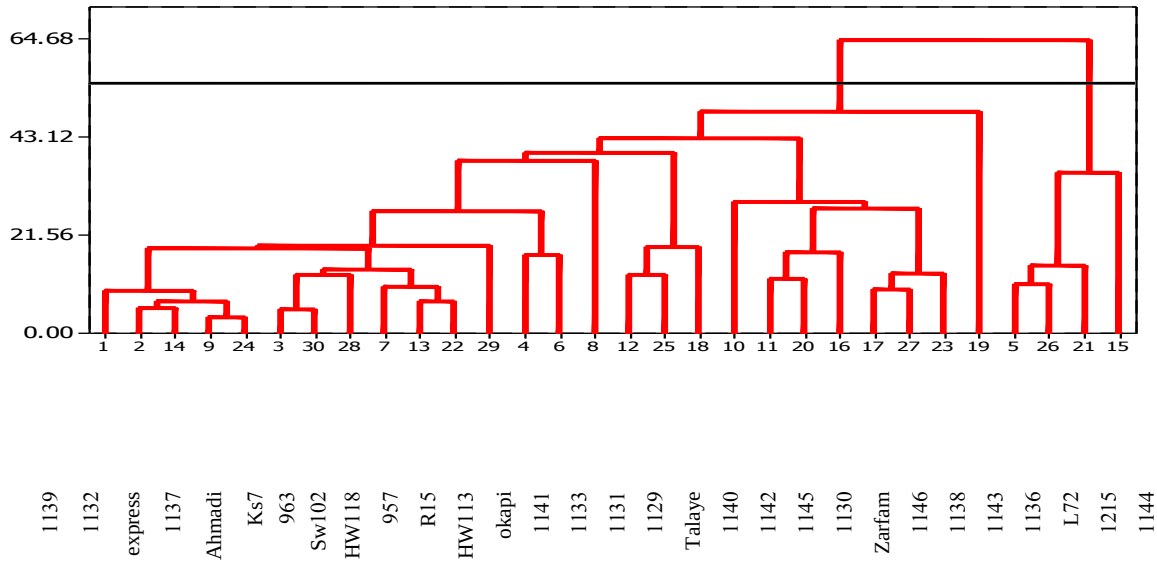
جدول ۱۰- تجزیه به‌عامل‌ها (FA) با استفاده از ماتریس همبستگی در ژنوتیپ کلزا (تنش خشکی)

Table 10. Factor analysis (FA) by using correlation matrix in rapeseed (drought stress) genotypes

صفات	عامل اول	عامل دوم	عامل سوم
عملکرد دانه در مترمربع (کیلو گرم)	۰/۷۹	۰/۱۵	۰/۳۴
وزن هزار دانه (گرم)	۰/۷۱	-۰/۱۶	-۰/۲۱
تعداد خورجین در بوته	۰/۰۳	۰/۷۹	۰/۴۶
تعداد دانه در خورجین	۰/۷۳	-۰/۰۲	۰/۳۹
دوره گلدهی	-۰/۸۸	۰/۱۰	-۰/۰۱
دوره رشد تا گلدهی	۰/۹۲	۰/۰۲	-۰/۲۷
تعداد شاخه فرعی در بوته	-۰/۲۴	۰/۶۷	-۰/۱۸
میزان سبزینگی برگ	۰/۵۹	-۰/۲۰	۰/۲۶
ارتفاع بوته	۰/۸۵	۰/۰۶	۰/۱۴
دوره رسیدگی دانه	-۰/۵۹	-۰/۱۷	۰/۷۰
دوره رشد تا رسیدگی کامل	۰/۲۹	۰/۶۷	-۰/۲۳
مقادیر ویژه	۴/۸۴	۱/۶۷	۱/۲۶
واریانس (٪)	۴۳/۹۸	۱۵/۱۴	۱۱/۴۴



شکل ۱- تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط بدون استرس
Figure 1.Cluster analysis of rapeseed genotypes under non-stress conditions.



شکل ۲- تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط تنش خشکی
Figure 2. Cluster analysis of rapeseed genotypes under drought stress conditions.

منابع

1. Abedi, T. and H. Pakniyat. 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 46: 27-34.
2. Aisha Akram, N., M. Iqbal, A. Mohammad, M. Ashraf, F.Al-Qurainy and S. Shafiq. 2018. Aminolevulinic acid and nitric oxide regulate oxidative defense and secondary metabolisms in canola (*Brassica napus* L.) under drought stress.Protoplasma, 255: 163-174.
3. Badrooj, H.R., A. Hamidi and A.H. Shirany Rad. 2015. Effect of drought stress and normal irrigation during flowering to maturity of spring oilseed rape (*Brassica napus* L.) genotypes seed germination. Iranian Journal Seed Research, 2(2): 1-14 (In Persian).
4. Blum, A. 2012. Plant breeding for water limited environments. Springer. New York.
5. Chikkaputtaiah, C., J. Debbarma, I. Baruah, L. Havlickova, H.P. Deka Boruah and V. Curn. 2017. Molecular genetics and functional genomics of abiotic stress responsive genes in oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review of recent advances and future. Journal of plant Biotechnology Rep, 3(11): 365-384.
6. Choghakabudi, Z., A. Zebarjadi and D. Kahrizi. 2013. Evaluation of drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes in laboratory and field conditions. Journal of Seed and Plant Improvement, 28(1): 17-38 (In Persian).
7. Dadivar, M. and M.A. Khodshenas. 2007. Evaluation of Water Stress Effect on Canola (*Brassica napus* L.). Journal of Agricultural Sciences, 12(4): 754-853 (In Persian).
8. Dauphin, A., H. El-Marrouf, N. Vienney, J.P. Rona and F. Bouteau. 2001. Effect desiccation on potassium and anion currents from young root hairs: Implication on tip growth. Physiologia Plantarum, 113: 79-84.
9. Garavandi, M., E. Farshadfar and D. Kahrizi. 2010. Evaluation of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field and laboratory conditions. Journal of Seed and Plant Improvement, 26(1): 233-252 (In Persian).
10. Hallauer, A.R., M.J. Carena and J.B. Miranda. 2010. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa state university press.
11. Jamshidi Moghadam, M., H. Pakniyat and E. Farshadfar. 2007. Evaluation of drought tolerance of chickpea (*Cicer arietinum L.*) lines using agro-physiologic characteristics. Journal of Seed and Plant Improvement, 23(3): 325-342 (In Persian).
12. Mackey, J. 1970. An ecological model for yield in small grains. In seminar series. Iowa state university Department of Agronomy, 128-49.
13. Majidi, M.M., M. Jafarzadeh, F. Rashidi and A. Mirlohi. 2014. Effect of end of drought stress and physiological characteristics in some oilseed rape cultivars (*Brassica napus* L.). Journal of plant Physiology, 3(9) (In Persian).
14. Monajem, S., V. Mohammadi and A. Ahmadi. 2012. Evaluation of drought tolerance in some rapeseed cultivars based on stress evaluation indices, Electronic Journal of Crop Production, 4(1): 151-169 (In Persian).
15. Mostajeran, A. and V. Rahimi-Eichi. 2009. Effect of drought stress on growth and yield of rice (*Oriza sativa* L.) cultivars and accumulation of proline and soluble sugars in sheat and blades of their different ages leaves. American-Eurasian journal of agricultural and environmental sciences, 5: 264-272.
16. Rahmani, F. and A.H. Padervand. 2016. Differential response to physiological drought stress in tolerant and susceptible cultivars of canola. Journal of Ind J Plant Physiology, 21(3): 333-340.
17. Tan, M., F. Liao, L. Hou, J. Wang, L. Wei, H. Jian, X. Xu and J. Li. 2017. Genome-wide association analysis of seed germination percentage and germination index in *Brassica napus* L. under salt and drought stresses. Euphytica (International Journal of Plant Breeding), 213: 40.
18. Turhan, H and I. Baser. 2004. In vitro and in vivo water stress in sunflower (*Helianttus annus* L.). Helia, 27(40): 227-236.
19. Wang , Z., Y. Chen, H. Fang, H. Shi, K. Chen, Z. Zhang and X. Tan. 2014. Selection of reference genes for quantitative reverse-transcription polymerase chain reaction normalization in *Brassica napus* under various stress conditions. Journal of Molecular Genetics and Genomics, 5(289): 1023-1035.
20. Wang, D., C. Yang, L. Dong, J. Zhu, J. Wang and S. Zhang. 2015. Comparative transcriptome analyses of drought-resistant and susceptible (*Brassica napus* L.) and development of EST-SSR markers by RNA-Seq. Journal of Plant Biologist, 58: 259-269.
21. Xia, L., L. Yang. N. Sun, J. Li, Y. Fang and Y. Wang. 2016. Physiological and antioxidant enzyme gene expression analysis reveals the improved tolerance to drought stress of the somatic hybrid offspring of *Brassica napus* and Sinapis Alba at vegetative stage. Journal of Acta Physiologiae Plantarum, 38(4): 88.
22. Yucel, D.O., A.E. Anlarsal and C. Yucel. 2005. Genetic variability, correlation and path analysis of yield and yield component in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 30: 183-188.

Effect of Drought Stress After Flowering Period on Morpho-Physiological Characteristics and Yield of Some Winter Genotypes of Rapeseed (*Brassica napus* L.) in Field Condition

Morad Cheshmehnoor[1], Mohammad Reza Bihamta[2], Aliakbar Shah Nejat Boshehri[2], Ali Reza Abassi[3] and Bahram Alizadeh[4]

1- Ph.D. Student, Lorestan agricultural center, boroujerd agricultural campus,
(Corresponding author: cheshmehmorad@ut.ac.ir)
2 and 3- Professor and Associate Professor, University of Tehran, Faculty of Agriculture Karaj
4- Associate Professor, Seed and Plant Institute Improvement, Karaj. Iran
Received: March 10, 2018 Accepted: August 18, 2018

Abstract

Drought stress is one of the important factors that inhibit growth and yield reduction in rapeseed. This research was conducted to study the morphological and physiology characteristics of winter rapeseed genotypes under control and drought stress conditions. The experiment was performed-based on randomized complete block design with three replications in 2016 at Borujerd agricultural research campus. The results of combined analysis showed that genotype and environment interaction was significant for some traits such as grain yield, flowering period, number of days to flowering and seedling period at 1% probability level. On the other hand, genotype and environment interaction for Chlorophyll was significant at 5% probability level. The results of mean comparisons showed that 1142 genotype had the least grain yield in both control and drought stress conditions. L72 genotype had the highest grain yield under drought stress condition. Growth to flowering and seedling period traits with 94% and 97% in control and drought stress, respectively, had the highest general heritability. In factor analysis, under control and drought stress conditions, the first to fourth and the first to third factors had 82% and 72% of total variance, respectively. Under control and drought stress conditions, the highest genetic distance was observed between genotypes 1139 with Ahmadi and 1139 with 1144, respectively. As a result, genotypes with more genetic distance than each other can be used as candidates for breeding programs in the future.

Keywords: Drought Stress, Genetic Diversity, Morpho-Physiological, Rapeseed