تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۹
۱۰۷۷-۱۰۹۲
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2301.1592

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد و اجزا عملکرد لاین‌های هاپلوئید مضاعف کلزا تحت شرایط تنش خشکی

محمد رضا رئیسی للری[۱]، احسان شهبازی[۲*]، علیرضا شافعی نیا[۳]

۱. کارشناسی ارشد اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
۲. استادیار گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد
۳. استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۱/۲۴

چکیده

به‌منظور ارزیابی عملکرد و اجزا عملکرد ۹۹ لاین هاپلوئید مضاعف کلزا، تحقیقی در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان در دو شرایط رطوبتی (شرایط آبیاری عادی، تنش خشکی پس از گلدهی) در قالب طرح آگمنت با سه شاهد (هایولا ۴۰۱، هایولا ۴۲۰ و RGS003) در شش تکرار در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ اجرا شد. نتایج نشان داد برای صفات تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه در هر دو محیط بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. تنش خشکی از مرحله گلدهی سبب کاهش عملکرد دانه و اجزای عملکرد شد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که تنوع زیادی بین لاین‌های هاپلوئید مضاعف کلزا مورد مطالعه از نظر صفات عملکرد و اجزاء عملکرد وجود دارد که می‌توان از این تنوع در جهت بهبود و اصلاح عملکرد دانه کلزا استفاده کرد. با توجه به نتایج رگرسیون گام به گام در شرایط عدم تنش می‌توان از صفت تعداد خورجین در بوته و در شرایط تنش خشکی از صفت وزن هزار دانه به عنوان معیاری جهت انتخاب و بهبود لاین‌های برتر استفاده کرد. نتایج تجزیه کلاستر در هر دو شرایط تنش و عدم تنش ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را در ۴ گروه قرار داد. با توجه به شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI) و تحمل به تنش (STI) لاین‌های ۵۳، ۸۷ و ۸۴ دارای مقدار بالای STI و مقدار پایین SSI بودند بنابراین از این لاین‌ها در برنامه‌های بعدی اصلاح‌نباتات می‌توان استفاده کرد همچنین لاین‌های ۸۵ و ۵۳ در بین لاین‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی کمترین کاهش عملکرد را داشتند و به عنوان لاین‌های سازگار با عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی معرفی می‌شوند. با توجه به تنوع بالای بین لاین‌های مورد آزمایش پیشنهاد می‌گردد از این لاین‌ها در برنامه‌های اصلاحی کلزا استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: **تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین، تنش رطوبتی، *Brassica napus***

مقدمه

درحال حاضر دانه‌های روغنی در بین محصولات زراعی از اهمیت خاصی برخوردارند و پس از غلات دومین ذخائرغذایی جهان را تشکیل می‌دهند. روغن‌های نباتی تولید شده به طور عمده از دانه‌های روغنی نظیر سویا، آفتابگردان، پنبه‌دانه، بادام زمینی و کلزا به دست می‌آید (Mohammadi-nejad et al., 2018). در این میان کلزا (*Brassica napus*) یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی به شمار می‌رود که به دلیل دارا بودن مقادیر بالای اسیدهای چرب غیراشباع و مقادیر کم اسیدهای چرب اشباع (حدود ۷ درصد) بسیار حائز اهمیت است (Marouji et al., 2017). کلزا سومین دانه‌ی روغنی مهم در جهان به شمار می‌رود و طبق گزارش FAO در سال ۲۰۱۷ سطح زیر کشت آن بیش از ۳۶/۵ میلیون هکتار در جهان بوده است همچنین این گیاه دارای سیستم ریشه‌ای قوی می‌باشد که می‌تواند رطوبت را از اعماق زمین جذب کند (Assefa et al., 2018).

* نگارنده پاسخگو: احسان شهبازی. پست الکترونیک: eh_shahbazi@sku.ac.ir

تنش‌های محیطی همه جنبه‌های گیاهی ازجمله فیزیولوژیکی و فرآیندهای بیوشیمیایی را در گیاه تحت تأثیر قرار می‌دهند که درنتیجه باعث خسارت زیاد به گیاه می‌شوند (Chen et al., 2018).در بین تنش‌های محیطی، تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده‌ی رشد و عملکرد گیاهان زراعی است که۴۰ تا۶۰ درصد اراضی کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Kumari et al., 2015; Aneja et al., 2018). همچنین فنولوژی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از این طریق بر روی عملکرد و اجزاء عملکرد اثر می‌گذارد علاوه بر این باعث پیری زودرس در بسیاری از گیاهان می‌شود (Desclaux and Roumet 1996; Wehner et al., 2015). در مطالعه‌ای نشان داده شد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار در عملکرد دانه، وزن هزار دانه، درصد روغن و پروتئین کلزا می‌شود (Amiri et al., 2012). همچنین ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2017) گزارش نمودند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار در تعداد کل خورجین، تعداد دانه در خورجین، درصد پوکی و وزن هزار دانه کلزا می‌شود. در تحقیقی با بررسی اثر تنش خشکی بر کلزا در مراحل مختلف رشدی گزارش دادند که تنش در مرحله توسعه خورجین بیش‌ترین نقش را بر عملکرد دانه دارد همچنین گزارش دادند که افزایش تعداد خورجین در شرایط تنش می‌تواند به افزایش عملکرد کمک کند (Gan et al., 2004).

به دلیل خسارت قابل توجهی که از تنش‌های محیطی ازجمله تنش خشکی به محصولات زراعی وارد شده است، بررسی واکنش گیاهان به تنش خشکی از اهمیت بالایی برخوردار است (Passioura, 2007). بنابراین شناسایی گیاهان متحمل به تنش خشکی و مطالعه سازوکارهایی آن‌ها از مهم‌ترین اهداف اصلاح نباتات می‌باشد (Moayedi et al., 2010). توسعه چنین ارقامی نیازمند تامین ژرپلاسم جدید است که منبعی‌ای از ژن‌های مطلوب محسوب می‌شوند. تحمل به تنش خشکی یک صفت کمی است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می شود. که این امر باعث مشکل شدن شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل شده است با این حال ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی شروع خوبی برای ارزیابی و انتخاب ژنوتیپ‌ها برای به نژادی در شرایط خشکی می‌باشد (Tahmasebi et al., 2007; Mohseni et al., 2015). از طرفی صفت عملکرد نیز توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود بنابراین استفاده از سایر صفات موفولوژیکی و فیزیولوژیکی از جمله اجزاء عملکرد نیز می‌تواند در بهبود تحمل به تنش خشکی کمک کند. از طرفی بخاطر پیچیدگی صفت تحمل به تنش خشکی معرفی ژنوتیپ‌های متحمل در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها انجام می‌گیرد بر همین اساس شاخص‌های متفاوتی جهت ارزیابی ژنوتیپ‌ها ارائه گردید. شاخص حساسیت به تنش (SSI[1]) توسط فیشر و مورر (Fisher and Maurer, 1978) معرفی گردید که مقدار پایین‌تر آن نشان دهنده تحمل ژنوتیپ به تنش خشکی می‌باشد. فرناندز (Fernandez, 1991) شاخص تحمل به تنش (STI[2]) را معرفی کرد که مقدار بالاتر این شاخص نشان دهنده تحمل و پایداری بیشتر ژنوتیپ می‌باشد.

با توجه به کشت ارقام کلزا در بسیاری از مناطق کشور که با کمبود آب مواجه می‌باشند و گسترش کشت آن در ایران و جهان، معرفی ارقام مقاوم به تنش خشکی و راهکارهای مقابله با تنش ضروری می‌باشد. بنابراین در همین راستا جهت انتخاب لاین‌هایی که پتانسیل تحمل به تنش خشکی را دارند، در تحقیق حاضر تعداد زیادی لاین هاپلوئید مضاعف کلزا در دو شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

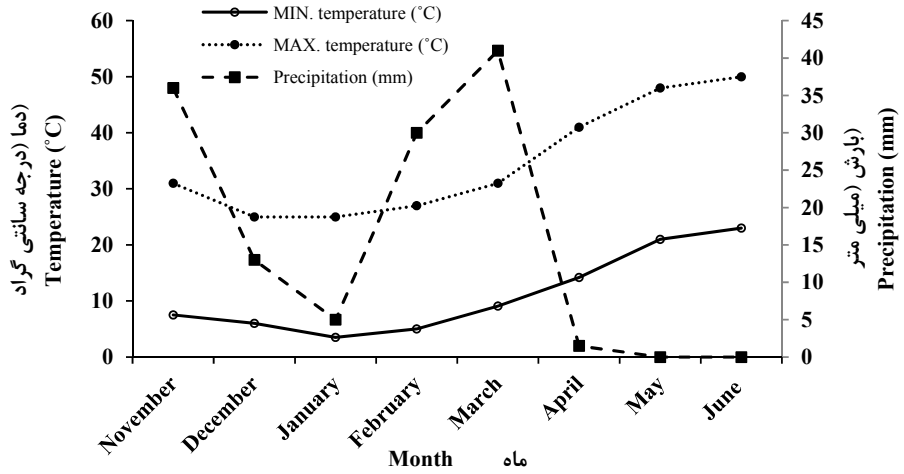
این آزمایش به منظور ارزیابی لاین‌های مختلف هاپلوئید مضاعف کلزا در دو رژیم رطوبتی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ انجام شد که اطلاعات هواشناسی آن در طی فصل کشت در شکل ۱ نشان داده شده است. در این تحقیق تعداد ۹۹ لاین هاپلوئید مضاعف کلزا از میان ۳۰۰ لاین هاپلوئید مضاعف به طور تصادفی انتخاب گردیدند. لاین‌های هاپلوئید مضاعف به روش کشت میکروسپور در آزمایشگاه دانشگاه گوتنگن آلمان و از هیبرید F_1 هایولا ۴۰۱ تولید گردیدند. این لاین‌ها در قالب طرح آگمنت همراه با سه تیمار شاهد به نام‌های هایولا ۴۰۱، هایولا ۴۲۰ و RGS003 در شش بلوک در دو شرایط رطوبتی (عدم تنش و تنش خشکی) مورد آزمایش قرار گرفتند. پس از آماده‌سازی زمین و تهیه نقشه آزمایش،

[1] Stress sensitivity index

[2] Stress tolerance index

خطوط کاشت توسط شیار بازکن دستی و به طول۱/۵ متر ایجاد گردید. هر کرت شامل ۳ ردیف کاشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف کاشت ۷ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاشت در تاریخ ۳۰ آبان انجام گرفت.

براساس آنالیز خاک مزرعه بافت خاک رسی-سیلتی با هدایت الکتریکی ۳/۱ دسی‌زیمنس بر متر مربع اسیدیته ۷/۸ با ۰/۶۲ درصد کربن، ۱۳/۵ پی‌پی‌ام فسفر قابل جذب و ۳۸۵ پی‌پی‌ام پتااسیم قابل جذب بود. با توجه به نتایج آنالیز خاک و توصیه کودی میزان کود مورد استفاده به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن که یک سوم به‌صورت پایه و مابقی در دو مرحله ساقه‌رفتن و گلدهی مصرف شد همچنین ۴۵ کیلوگرم در هکتار فسفر از منابع کودی اوره و فسفات دی آمونیوم به‌صورت پایه استفاده گردید. آبیاری بلافاصله پس از کشت انجام شد و آبیاری‌های بعدی با توجه به بارندگی و نیاز آبی انجام گرفت. برای تخمین رطوبت قابل استفاده موجود در خاک و اعمال تنش خشکی از روش وزنی استفاده شد بطوریکه بعد از گلدهی تا پایان مرحله رسیدگی تنش خشکی اعمال گردید. درصد رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم خاک مورد نظر به‌ترتیب ۲۲ و ۱۳ درصد بدست آمد. برای تعیین رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۹۰ سانتی‌متر انجام گرفت بطوریکه مرتباً از کرت‌های آزمایشی نمونه‌برداری خاک انجام گرفت سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال و وزن گردید سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و دوباره وزن گردیدند از تفاضل این دو وزن میزان رطوبت خاک بدست آمد. در شرایط عدم تنش زمانی اقدام به آبیاری شد که ۵۰ درصد آب خاک از ظرفیت زراعی تخلیه شده بود ولی برای شرایط تنش زمانی آبیاری انجام شد که ۷۰ درصد آب خاک از حد ظرفیت زراعی کاهش یافته بود. همچنین به‌منظور کنترل بارندگی احتمالی روی کرت‌های تنش شیلتر و روکش پلاستیک پیش بینی شده بود هر چند در دوره اعمال تنش بارندگی موثری رخ نداد.



شکل ۱. داده‌های ماهانه هواشناسی محل اجزاء آزمایش طی سال ۱۳۹۳-۱۳۹۲.

Fig. 1. Monthly meteorological data of the experimental site during 2013 - 2014.

بوته‌ها پس از سبز شدن جهت رسیدن به تراکم مناسب در مرحله ۴ تا ۶ برگی روی ردیف تنک شدند.کلیه عملیات مربوط به داشت محصول به جز آبیاری به‌طور یکسان در همه تیمارها انجام شد. در مرحله رسیدگی تمام مساحت کرت‌ها با حذف اثرات حاشیه به روش دستی برداشت گردید. برای محاسبه تعداد تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین از هر لاین تعداد ۱۵ بوته انتخاب و میانگین آن‌ها برای هر تیمار ثبت گردید. بوته‌های مربوط به هر کرت پس از خشک شدن در هوای آزاد به مدت ۷۲ ساعت در داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس برای محاسبه وزن هزار دانه از دستگاه بذر شمار استفاده گردید. بدین صورت که ۱۰۰۰ دانه از هر لاین شمارش گردید و سپس با ترازوی حساس ۰/۰۰۱ گرم وزن شد. برای محاسبه عملکرد دانه پس از جدا سازی دانه از کاه مقدار کل دانه‌ها

جمع آوری شده از هر کرت وزن شد. در نهایت با استفاده از تناسب عملکرد در هکتار محاسبه گردید. تجزیه آماری و محاسبات نتایج بدست آمده با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و SPSS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و حساسیت به تنش (SSI) طبق فرمول‌های زیر محاسبه گردید (Fisher and Maurer, 1978; Fernandez, 1991).

$$STI = \frac{(Y_P \times Y_S)}{(\overline{Y}_P)^2} \quad [۱]$$

$$SSI = 1 - \frac{(\frac{Y_S}{Y_P})}{SI} \quad [۲]$$

$$SI = 1 - (\frac{\overline{Y}_S}{\overline{Y}_P}) \quad [۳]$$

که در این فرمول‌ها Y_P، Y_S، $\overline{Y}_P$، $\overline{Y}_S$ و SI به‌ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، تنش، میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و شدت تنش می‌باشد.

جهت برازش مدل توصیفی بین صفات مورد بررسی عملکرد دانه به عنوان متغیر تابع و سایر صفات به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد و رگرسیون چندمتغیره با استفاده از روش گام به گام در هر کدام از شرایط بدون تنش و تنش خشکی انجام گرفت و تجزیه خوشه‌ای به روش UPGMA جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها استفاده گردید.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثر بلوک برای صفات تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه در شرایط عدم تنش معنی‌دار گردید و در شرایط تنش اثر بلوک برای صفات تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه معنی‌دار شد (جدول ۱). با توجه به نتایج، اثر بلوک برای صفاتی که معنی‌دار بوده است تصحیح گردید و میانگین تصحیح شده ژنوتیپ‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

تعداد خورجین در بوته

تجزیه واریانس در شرایط تنش و عدم تنش نشان داد که لاین‌های هاپلوئید مضاعف مورد مطالعه از نظر تعداد خورجین در بوته در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۱). همچنین در شرایط عدم تنش بین ژنوتیپ‌های شاهد و میانگین ژنوتیپ‌های شاهد درمقابل میانگین لاین‌های موردبررسی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده گردید، ولی در شرایط تنش بین ژنوتیپ‌های شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۱). در شرایط عدم تنش بیشترین میزان خورجین در بوته مربوط به لاین ۵۱ با ۱۶۲/۶۸ عدد خورجین بود که با لاین‌های ۴۸ و ۷۷ به ترتیب با ۱۴۸/۹۶ و ۱۵۵/۸۸ خورجین اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول۲). کمترین تعداد خورجین در بوته در شرایط عدم تنش نیز مربوط به لاین ۶۷ با ۱۵/۹۶ خورجین در بوته بود (جدول ۲). بیشترین تعداد خورجین در بوته در شرایط تنش مربوط به لاین ۵۱ با ۱۴۷/۶ خورجین بود که با لاین‌های ۸۶، ۸۷، ۵۳، ۹۳، ۷۵ تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار خورجین در بوته نیز در شرایط تنش مربوط به لاین ۶۶ با ۸/۱۳ عدد خورجین بود که با لاین‌های ۴۶، ۱۶، ۶، ۵۲ و ۶۴ تفاوت معنی‌دار نشان نداد (جدول ۲). همان‌طور که ذکر گردید لاین ۵۱ که در شرایط عادی بیشترین تعدد خورجین در بوته را داشت، در شرایط تنش نیز دارای بیشترین تعداد خورجین در بوته بود. کمترین کاهش تعداد خورجین در بوته در اثر تنش نیز مربوط به لاین‌های ۴، ۵، ۹، ۱۳، ۵۳ و ۷۳ بوده است (جدول ۲). ارقام شاهد نیز در این آزمایش دارای کاهش چشمگیر در تعداد خورجین در اثر تنش بودند. کشلنی و همکاران (Koscielny et al., 2018) با بررسی تنش خشکی بر عملکرد کلزا در ارقام بهاره نشان دادند که تنش باعث کاهش معنی‌دار اجزای عملکرد از جمله تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین می‌شود. در آزمایش دیگری نیز تنش خشکی باعث کاهش تعداد خورجین در کلزا گردید (Nazeri et al., 2018). به طور کلی تنش رطوبتی در مراحل انتهایی رشد موجب کاهش تعداد اندام‌های زایشی کلزا ازجمله تعداد خورجین در بوته می‌شود زیرا وقوع تنش رطوبتی باعث عرضه کمتر مواد فتوسنتزی درمرحله گلدهی می‌شود که این امر باعث ریزش گل و تخمدان‌های درحال رشد می‌گردد این نتایج بیانگر این واقعیت است که گلدهی و مراحل اولیه نمو خورجین‌ها از مراحل ضروری کلزا برای آبیاری بوده است و در صورت عدم تأمین آب کافی در این مرحله تعداد خورجین در بوته کاهش معنی‌داری خواهد یافت (Pasban-Eslam et al., 2018; Mohseni et al., 2015).

تعداد دانه در خورجین

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس در این تحقیق نشان داد که بین لاین‌های هاپلوئید مضاعف کلزا در شرایط تنش خشکی و عدم تنش از نظر تعداد دانه در خورجین اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۱). بین ژنوتیپ‌های شاهد برای صفت تعداد دانه در خورجین در شرایط عدم تنش اختلاف معنی‌داری نیز مشاهده گردید در حالی‌که در شرایط تنش با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۱). دامنه تغییرات برای این صفت در شرایط عدم تنش از ۵/۳۸ تا ۳۱/۶۳ دانه بود که نشانگر وجود تنوع بالایی در لاین‌ها مورد مطالعه از نظر صفت تعداد دانه در خورجین می‌باشد (جدول ۲). در این آزمایش لاین ۷۸ در شرایط عدم تنش بیشترین تعداد دانه در خورجین را دارا بود که در شرایط تنش دارای ۲۹/۴۴ دانه در خورجین بود (جدول ۲). بیشترین مقدار تعداد دانه در خورجین در شرایط تنش مربوط به لاین ۲۷ با ۳۰/۴ دانه بود که با لاین‌های ۷۸، ۳۷ و ۲۶ اختلاف معنی‌دار ندارد. کمترین تعداد تعداد دانه در خورجین مربوط به لاین‌های ۷۶ و ۷۴ به ترتیب با تعداد ۲/۴۳ و ۳/۶۸ دانه بود که با لاین‌های ۶۱ و ۶۷ تفاوت معنی‌داری ندارند (جدول ۴). در بین ارقام شاهد نیز هایولا ۴۲۰ دارای کاهش بیشتری نسبت به دو شاهد دیگر در اثر تنش بود. نتایج تحقیقات دیگر نیز نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار در تعداد دانه کلزا می‌شود (Chen et al., 2018; Seyyed Mohammadi et al., 2013). تنش خشکی در مرحله گلدهی تا تشکیل خورجین نقش بسزایی در عملکرد دانه دارد. تعداد دانه در خورجین یکی از صفات تعیین کننده عملکرد محسوب می‌شود هرچه تعداد دانه در خورجین بیشتر باشد مخزن بزرگ‌تری برای مواد فتوسنتزی تولید شده توسط گیاه ایجاد می‌شود که منجر به افزایش عملکرد می‌شود بنابراین یکی از عوامل کلیدی در افزایش عملکرد افزایش تعداد دانه در خورجین می‌باشد (Mendham et al., 1995; Khani et al., 2018). کمبود آب در مرحله زایشی باعث کاهش تعداد گل‌های بارور در گیاه می‌شود و همچنین باعث کاهش قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی می‌شود. فتحی و همکاران (Fathi et al., 2010) در بررسی تغییرات تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین در اثر تنش خشکی مشخص نمودند تأثیرپذیری تعداد دانه در خورجین در اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی کمتر از تعداد خورجین در بوته بوده است.

جدول ۱. تجزیه واریانس عملکرد دانه و اجزاء عملکرد برای ۱۰۲ ژنوتیپ مختلف کلزا در شرایط عدم تنش و تنش خشکی

Table 1. Analysis of variance for seed yield and yield component of 102 different genotypes of rapeseed under non stress and drought stress

			Mean Squares میانگین مربعات							
S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	تعداد خورجین در بوته Silique.plant^{-1}		تعداد دانه در خورجین Grain.silique^{-1}		وزن هزار دانه 1000 Grain weight		عملکرد دانه Grain yield	
			Non stress	Stress	Non stress	Stress	Non stress	stress	Non stress	stress
Replication	بلوک	5	158.35**	205.8^{ns}	6.19^{ns}	0.44**	0.18**	1.04**	49261^{ns}	155606^{ns}
Genotypes	ژنوتیپ	101	1160.54*	809.05**	19.73*	16.65**	0.49**	0.68**	1251564**	962334**
Between controls	بین شاهدها	2	135.87**	121.6^{ns}	13.13**	0.07^{ns}	0.08^{ns}	0.66**	914531**	438574^{ns}
Between lines	بین لاین‌ها	98	1182.63*	824.64**	20.05*	17.15**	0.50**	0.68**	1264629**	970644**
Control-line	شاهد – لاین	1	528.9**	230.58^{ns}	0.6^{ns}	0.76^{ns}	0.001^{ns}	0.71**	866902**	849774*
Error	خطا	10	24.7	147.42	8.59	0.73	0.20	0.12	47914	126757
CV (%)	ضریب تغییرات(٪)		*5.99*	*21.45*	*11.83*	*4.03*	*4.74*	*17.13*	*7.96*	*28.22*

**، * و ns به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۱٪، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ و عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

*, ** and ns : Significant at 5, 1% probability levels and not significant respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مختلف کلزا (۹۹ لاین هاپلوئید مضاعف و ۳ ژنوتیپ شاهد) برای صفات عملکرد و اجزاء عملکرد و شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش.

Table 2. Mean comparison for different rapeseed genotypes (99 doubled-haploid lines and 3 control genotypes) for seed yield and yield components and tolerance and sensitivity indices.

ژنوتیپ Genotype	تعداد خورجین در بوته Silique.plant^{-1}		تعداد دانه در خورجین Grain.silique^{-1}		وزن هزار دانه 1000 Grain weight (g)		عملکرد دانه Grain yield (Kg.h^{-1})		شاخص‌ها Indices#	
	Non stress	Stress	Non stress	Stress	Non stress	Stress	Non stress	Stress	SSI	STI
DH1	107.54	78.03	28.87	21.68	3.35	3.39	4304.4	2952.7	0.767	2.032
DH2	103.54	56.06	23.83	20.79	2.95	2.81	3018.7	2188.7	0.672	1.056
DH3	85.64	68.62	21.84	22.46	2.79	1.78	2435.3	1633.7	0.804	0.636
DH4	50.24	49.92	22.76	18.88	3	1.83	2168.7	948.95	1.374	0.329
DH5	31.54	31.92	22.42	22.59	2	1.46	1064	507.93	1.277	0.086
DH6	109.54	39.92	22.6	22.38	3.31	2.03	3433.2	1686.5	1.243	0.926
DH7	131.04	79.12	24.92	25.86	3.35	2.83	4518.3	2443.8	1.122	1.765
DH8	80.38	80.72	22.93	23.99	3.13	1.29	2724.7	948.26	1.593	0.413
DH9	127.87	36.72	19.02	18.92	3.2	2.17	3265.5	1949.8	0.984	1.018
DH10	88.64	47.52	22.92	23.02	2.76	1.89	2599.5	1162.4	1.350	0.483
DH11	28.9	29.42	23.12	22.67	2.91	1.71	1549.3	638.87	1.435	0.158
DH12	96.53	69.35	23.07	22.45	3.15	3.09	2945.2	1852.5	0.906	0.872
DH13	61.98	35.32	22.52	22.38	3.81	2.13	2610.1	1052.3	1.458	0.439
DH14	89.18	80.42	23.95	20.72	3.48	1.99	3155	2642.1	0.397	1.333
DH15	38.98	35.22	28.95	21.79	3.38	2.36	2171.6	1198.5	1.095	0.416
DH16	17.07	17.62	18.12	19.02	1.65	1.83	732.82	401.54	1.104	0.047
DH17	44.97	36.72	24.85	22.71	2.25	2.53	1452.9	1019.2	0.729	0.237
DH18	105.01	96.92	21.67	20.72	1.9	1.9	2370.8	1737.9	0.652	0.659
DH19	73.59	30.02	24.17	23.02	2.85	1.63	2282.8	605.74	1.795	0.221
DH20	73.03	47.92	23.04	20.77	2.71	1.84	2306.3	1013.3	1.369	0.374
DH21	46.06	36.32	17.56	16.36	4.42	2	2243.5	725.98	1.652	0.260
DH22	118.15	105.32	20.09	18.99	3.85	1.89	3784.5	2507.4	0.824	1.517
DH23	124.37	40.32	21.26	16.52	4.15	1.91	4542.9	1739.8	1.507	1.263
DH24	38.47	33.92	22.14	23.12	2.32	1.46	1361.7	547.16	1.461	0.119
DH25	76.97	44.22	24.17	22.92	1.1	1.33	1182.5	561.6	1.283	0.106
DH26	84.87	58.72	27.62	26.69	2.41	2.81	2466.8	1815	0.645	0.716
DH27	72.87	55.22	31.42	30.4	3.3	1.9	3049.7	2177.3	0.699	1.061
DH28	30.02	24.62	18.27	18.52	2.83	1.93	1127.4	554.5	1.241	0.100
DH29	47.49	32.72	24.59	18.1	3.27	3.47	2286.1	1568	0.767	0.573
DH30	62.97	43.02	21.74	20.82	3.75	1.61	2397.8	731.77	1.697	0.280
DH31	69.37	32.22	22.42	22.17	3.97	2.23	2589.1	1032.8	1.468	0.427
DH32	57.06	39.92	22.95	18.25	3.18	1.43	2166	479.34	1.902	0.166
DH33	79.27	31.47	19.42	19.38	3.19	1.63	2543.7	532.65	1.931	0.217
DH34	55.02	32.12	26.17	23.25	3.96	2.68	2056.7	1341.9	0.849	0.441
DH35	78.33	56.62	26.09	23.32	2.62	1.39	2032.7	1466.9	0.680	0.477
DH36	101.43	79.72	24.06	19.14	2.8	1.32	2156.5	1303.2	0.967	0.449
DH37	135.18	88.52	28.06	28.05	2.85	1.82	3582.5	1927.7	1.128	1.104
LSD (5%)	*20.12*	*37.14*	*10.12*	*5.43*	*1.8*	*1.4*	*851.03*	*1102.6*	-	-

شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل به تنش (STI)

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continued

ژنوتیپ Genotype	تعداد خورجین در بوته Silique.plant^{-1}		تعداد دانه در خورجین Grain.silique^{-1}		وزن هزار دانه 1000 Grain weight (g)		عملکرد دانه Grain yield (Kg.h^{-1})		شاخص‌ها Indices#	
	Non stress	Stress	Non stress	Stress	Non stress	Stress	Non stress	Stress	SSI	STI
DH38	82.72	65.42	22.08	22.95	3.64	3.14	2405.1	1730.9	0.685	0.665
DH39	55.55	35.98	27.81	25.47	3.29	0.54	1900	279.59	2.083	0.085
DH40	49.56	25.5	26.94	25.65	3.8	1.3	2142.5	611.04	1.746	0.209
DH41	83.09	66.97	20.54	17.05	3.26	0.89	2251.3	719.8	1.662	0.259
DH42	124.93	48.52	25.04	23.31	2.64	0.89	2821.5	949.3	1.621	0.428
DH43	64.52	35.13	21.1	17.14	1.24	0.34	736.35	172	1.872	0.020
DH44	134.61	60.87	26.95	20.55	2.42	0.91	3032.2	948.2	1.679	0.460
DH45	93.88	34.75	20.51	17.08	3.46	1.42	2447	547.85	1.896	0.214
DH46	58.41	11.53	28.35	20.84	3.1	1.42	1939.1	229.1	2.154	0.071
DH47	81.58	54.33	22.95	21.64	1.14	0.74	1021.1	616.42	0.968	0.101
DH48	155.88	64.69	28.05	24.54	2.32	0.91	3559.5	1966.6	1.093	1.119
DH49	105.68	41.62	26.95	24.84	3.1	1.65	2978.7	1963.1	0.833	0.935
DH50	88.38	37.42	23.25	20.54	3.34	1.84	2506.5	980.3	1.487	0.393
DH51	162.68	147.62	25.24	24.44	2.69	1.72	3914.9	3003.1	0.569	1.879
DH52	39.28	23.57	25.38	23.54	3.6	3	1357.1	883	0.853	0.192
DH53	134.98	133.12	27.51	24.64	3.44	2.84	4515.2	4114.4	0.217	2.970
DH54	90.35	39.79	22.18	21.55	3.18	0.98	2318.2	871.82	1.524	0.323
DH55	97.6	57.12	21.65	21.34	3.44	1.71	2409.5	1466.3	0.956	0.565
DH56	63.02	25.85	20.75	18.57	2.88	2.64	1617.4	967.5	0.982	0.250
DH57	65.61	47.77	24.45	24.14	3.85	2.71	2141.1	1300.7	0.959	0.445
DH58	106.18	56.67	21.15	19.34	3.9	2.84	2975.1	1935.8	0.853	0.921
DH59	52.18	29.36	24.75	24.42	3.74	3.34	2054.7	1226.1	0.985	0.403
DH60	51.39	22.12	21.38	19.45	3.3	1.6	1485.1	433.71	1.729	0.103
DH61	69.18	54.13	14.95	10.4	2.05	0.54	1000.6	138.66	2.104	0.022
DH62	67.58	34.92	22.08	20	4.4	3.52	2304.4	1525.8	0.825	0.562
DH63	73.63	37.12	25.35	22.84	4.44	3.93	2681.2	1619.5	0.967	0.694
DH64	81.18	24.12	28.15	25.89	2.84	2.55	2326.7	1319	1.058	0.491
DH65	41.18	26.23	22.28	18.34	3.64	2.26	1266.7	895.8	0.715	0.181
DH66	33.18	8.13	23.75	19.84	4.69	3.88	1317.8	527.72	1.465	0.111
DH67	15.96	27.67	18.63	12.34	2.37	0.24	563.23	130.56	1.876	0.012
DH68	68.2	45.52	23.03	20.84	3.4	2.34	2412.9	1757.5	0.664	0.678
DH69	63.68	34.47	28.3	20.65	3.2	1.29	2403.6	715.4	1.716	0.275
DH70	82.13	37.36	25.63	21.64	2.34	1.17	2282.9	787.09	1.601	0.287
DH71	50.96	45.66	29.25	22.29	3.69	2.72	2306.3	1915.9	0.413	0.706
DH72	108.09	81.96	25.26	19.9	2.67	2.35	2993.1	2048.4	0.771	0.980
DH73	67.13	66.96	29.78	18.18	2.41	1.14	2271.7	1266	1.081	0.460
DH74	60.95	53.66	7.13	3.68	1.64	0.44	374.14	114.9	1.693	0.007
DH75	117.36	119.42	23.75	18.23	2.51	1.89	2857.2	2028.8	0.708	0.927
DH76	106.67	63.42	5.38	2.43	1.59	1.14	429.78	150.65	1.586	0.010
LSD (5%)	*20.12*	*37.14*	*10.12*	*5.43*	*1.8*	*1.4*	*851.03*	*1102.6*	-	-

شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل به تنش (STI)

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continued

ژنوتیپ Genotype	تعداد خورجین در بوته Silique.plant^{-1}		تعداد دانه در خورجین Grain.silique^{-1}		وزن هزار دانه 1000 Grain weight (g)		عملکرد دانه Grain yield (Kg.h^{-1})		شاخص‌ها Indices#	
	Non stress	Stress	Non stress	Stress	Non stress	Stress	Non stress	Stress	SSI	STI
DH77	148.96	105.23	24.3	22.04	2.21	2.36	3313.9	2693.9	0.457	1.427
DH78	66.96	61.66	31.63	29.44	3.3	2.44	3144.8	2761.8	0.297	1.388
DH79	106.63	107.58	23.1	18.54	3.81	2.84	3767.2	3097.9	0.434	1.866
DH80	36.16	31.86	25.63	19.64	3.69	3.24	2103.4	1143.8	1.114	0.385
DH81	53.96	37.07	31.02	19.06	3.2	0.94	2260.9	593.05	1.802	0.214
DH82	74.19	79.36	28.31	17.89	1.86	2.34	2100.2	1697.2	0.469	0.570
DH83	76.46	70.96	30.8	21.13	3.15	2.85	3111.4	2313.9	0.626	1.151
DH84	108.29	111.04	28.87	20.79	3.31	2.94	4154	3650.6	0.296	2.424
DH85	85.29	98.46	28.3	23.59	3.25	2.64	3223.3	3125.9	0.074	1.611
DH86	128.29	143.96	22	16.89	2.85	2.24	3251.6	3044.7	0.155	1.583
DH87	120.29	138.46	27.63	21.71	3.26	2.16	4541.2	3842.8	0.376	2.790
DH88	111.46	91.52	23.9	22.53	2.61	2.1	2949.4	2018.2	0.771	0.952
DH89	121.79	68.96	30.53	24.09	2.69	2.4	4288.9	2261.7	1.155	1.551
DH90	121.89	53.66	24.13	17.68	2.43	1.94	3050.2	1691.2	1.088	0.825
DH91	66.72	59.66	23.03	21.54	2.9	2.6	2369.9	1626.1	0.767	0.616
DH92	97.69	64.66	28.03	18.44	3.36	3.03	3869.8	2807.1	0.671	1.736
DH93	125.29	130.66	28.73	23.94	2.68	0.34	4120.9	2739	0.819	1.804
DH94	16.29	29.5	19.23	16.04	2.73	0.64	673.26	283.96	1.412	0.031
DH95	66.59	51.66	28.76	25.24	2.93	2.3	2690.6	2035.8	0.594	0.876
DH96	29.29	37.76	28.33	25.54	2.9	2.21	1557.4	1313.4	0.383	0.327
DH97	33.46	45.28	24.03	20.5	4.15	3.03	2055.6	1504.5	0.655	0.494
DH98	40.29	38.16	27.63	16.34	3.46	2.98	2096.3	1246.1	0.991	0.418
DH99	60.15	35.66	28.83	24.54	2.37	0.24	2274	1387.2	0.953	0.504
H401	123.22	67.88	29.60	25.36	3.71	3.27	5097.8	3086.7	0.964	2.515
RGS	86.66	61.75	25.58	22.85	2.81	1.99	2557.8	1878.5	0.649	0.768
H420	95.33	57.10	29.67	22.67	2.73	2.10	3491.6	2376.1	0.780	1.326
LSD (5%)	*20.12*	*37.14*	*10.12*	*5.43*	*1.8*	*1.4*	*851.03*	*1102.6*	-	-

وزن هزار دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس در شرایط عدم تنش و تنش خشکی نشان داد که برای صفت وزن هزاردانه، لاین‌های هاپلوئید مضاعف مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد با هم اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۱). بالاترین میزان وزن هزاردانه در شرایط عدم تنش مربوط به لاین ۶۶ با وزن هزاردانه ۴/۶۹ گرم بود که با لاین‌های ۶۳، ۲۱، ۶۲، ۹۷، ۲۳، ۳۱ و ۳۴ اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار وزن هزاردانه نیز مربوط به لاین‌های ۴۷ و ۲۵ به ترتیب با مقدار۱/۱۴ و ۱/۱ گرم بود که با لاین‌های۴۳، ۷۶، ۷۴ و ۱۶ تفاوت معنی‌داری ندارند (جدول ۳). تنش خشکی باعث کاهش وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گردید بطوریکه بیشترین مقدار وزن هزاردانه در شرایط تنش مربوط به لاین ۶۳ با وزن هزاردانه ۳/۹۳ گرم بود که با لاین‌های ۶۶، ۶۲، ۲۹، ۱، ۱۰۱، ۸۰، ۳۸، ۱۲ ۹۲ و ۵۲ اختلاف معنی‌دار ندارد. کمترین مقدار وزن هزاردانه در شرایط تنش نیز مربوط به لاین‌های ۶۷، ۹۹، ۹۳ و ۴۳ به ترتیب با مقدار وزن هزار دانه ۰/۲۴، ۰/۲۴، ۰/۳۴ و ۰/۳۴ گرم بود. ژنوتیپ‌های شاهد در پاسخ به تنش خشکی متفاوت بودند بطوریکه ژنوتیپ هایولا ۴۰۱ دارای کمترین کاهش وزن هزاردانه و RGS003 دارای بیشترین کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش بودند (جدول ۴). در گزارشی اعلام کردند که وزن هزار دانه بر اثر تنش خشکی کاهش چشمگیری دارد که منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (Rashid et al., 2018). در آزمایش

دیگری با بررسی اثر آخرین آبیاری بر عملکرد کلزا نشان دادند که تمامی اجزای عملکرد از جمله وزن هزاردانه تحت تاثیر کمبود آب کاهش معنی‌داری دارند (Fanaei et al., 2018). کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی می‌تواند ناشی از کوتاه شدن دوره پر شدن دانه و به وجود آمدن اختلال در انتقال مواد تولید شده به دانه باشد از طرفی گزارش شده که کمبود آب در مراحل زایشی گیاه کلزا سبب کاهش طول دوره گلدهی تا رسیدگی گیاه می‌شود و در نتیجه با کاهش طول دوره پر شدن دانه کاهش وزن هزار دانه رخ می‌دهد (Azizi et al., 2000). همچنین به واسطه تنش خشکی تولید آسیمیلات‌های فتوسنتزی کاهش پیدا می‌کند که این کاهش باعث کاهش شیره پرورده برای پر شدن دانه‌ها می‌گردد و این امر موجب چروکیدگی و کاهش وزن دانه می‌شود (Jamshidi et al., 2012).

عملکرد دانه

لاین‌های هاپلوئید مضاعف کلزا مورد مطالعه از لحاظ عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و عدم تنش در سطح احتمال یک درصد با هم اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۱). دامنه تغییرات عملکرد دانه بین ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط عدم تنش از ۳۷۴/۱۴ تا ۵۰۹۷/۸۴ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۲). در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بیشترین عملکرد دانه مربوط به شاهد هایولا ۴۰۱ بود که با لاین‌های ۲۳، ۵۳، ۷، ۸۷ و۶ تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار عملکرد دانه در شرایط عدم تنش مربوط به لاین ۷۴ بود که با لاین‌های ۷۶، ۶۷، ۹۴، ۱۶ و ۴۳ اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). بیشترین مقدار عملکرد دانه در شرایط تنش مربوط به لاین ۵۳ با عملکرد ۴۱۱۴/۴ کیلو گرم در هکتار بود که با لاین‌های ۸۷، ۸۴ و ۸۵ اختلاف معنی‌دار ندارد. رقم هایولا ۴۰۱ که در شرایط عادی بیشترین عملکرد را داشت، در شرایط تنش دارای عملکرد ۳۰۸۶/۷۳ بود که این امر نشانگر کاهش شدید عملکرد شاهد هایولا ۴۰۱ است (جدول ۴). کمترین کاهش عمکرد در اثر تنش نیز مربوط به لاین‌های ۸۵ و ۸۶ بود. عملکرد دانه حاصل برآیندی از اجزا عملکرد است بنابراین عملکرد کلزا به شدت وابسته به صفات خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه است (MajdiNasab et al., 2015). همچنین آزمایشات متعدد نشان می‌دهد تنش باعث کاهش عملکرد می‌شود (Zhang et al., 2017; Azizi et al., 2014; Khani et al., 2018). مراحل گلدهی و نمو خورجین در کلزا از نظر نیاز گیاه به آب از مراحل بحرانی می‌باشند و ایجاد تنش در این مراحل به دلیل اثر نامناسب بر میزان جذب آسیمیلات‌ها موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود افزایش سقط جنین و کاهش تعداد بذر و خورجین به واسطه کاهش فراهمی مواد پرورده از دلایل مهم کاهش عملکرد دانه کلزا در شرایط تنش خشکی می‌باشد در واقع خشکی به طور غیرمستقیم میزان مواد فتوسنتزی صادر شده از برگ‌ها را کاهش می‌دهد زیرا انتقال شیره از آوند آبکش وابسته به پتانسیل فشاری است و در طی تنش کم آبی پتانسیل آب در آوند آبکش کاهش می‌یابد که کاهش در پتانسیل آماس از انتقال مواد فتوسنتزی و در نهایت از مقدار آسیمیلات ذخیره‌ای می‌کاهدکه این امر آسیب‌پذیری تشکیل خورجین و دانه را در شرایط کم آبی افزایش می‌دهد (Khani et al., 2018; Channa et al., 2018).

بر اساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) ژنوتیپ ۸۵ کمترین حساسیت به تنش نشان داد و بعد از آن ژنوتیپ‌های ۸۶، ۵۳، ۸۴، ۷۸ و ۸۷ قرار داشتند ولی ژنوتیپ‌های ۴۶، ۶۱، ۳۹ و ۳۳ با توجه به این شاخص حساس‌ترین بوده‌اند (جدول ۲). شاخص SSI ژنوتیپ‌ها فقط بر اساس حساسیت و تحمل گروه‌بندی می‌کند و پتانسیل عملکرد ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته نمی‌شود (Fernandez, 1992). شاخص تحمل به تنش (STI) قادر است ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و عدم تنش عملکرد بالایی دارند را از ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط تنش یا فقط در محیط عدم تنش عملکرد بالایی دارند تفکیک کند (Fernandez, 1992). بر اساس شاخص STI ژنوتیپ‌های ۵۳، ۸۷، هایولا ۴۰۱ و ۸۴ متحمل‌ترین بوده‌اند و ژنوتیپ‌های ۷۴، ۷۷، ۶۷ و ۴۳ حساس‌ترین بوده‌اند (جدول ۲).

تجزیه رگرسیون گام به گام

با در نظر گرفتن عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به عنوان متغیرهای مستقل، درشرایط عدم تنش تعداد خورجین در بوته اولین صفتی بود که وارد مدل شد و۸۶ درصد تغییرات عملکرد را توجیه کرد (جدول ۷). در مرحلهٔ دوم صفت تعداد دانه در خورجین وارد مدل شد که همراه با تعداد خورجین در بوته در مجموع ۹۲ درصد تغییرات عملکرد را توجیه کرد. معادله رگرسیونی در شرایط عدم تنش به صورت زیر است:

$$Y_N = -1490.99 + 22.72X_1 + 87.50X_2$$

در شرایط تنش، صفت وزن هزاردانه که ۶۳/۲۱ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه کرد به عنوان اولین صفتی بود که وارد مدل گردید بعد از آن صفت تعداد دانه در خورجین که در مجموع ۷۰ درصد تغییرات را توجیه کردند وارد مدل گردید. معادله رگرسیونی در شرایط تنش به صورت زیر است:

$Y_S= -627.9+445.27X_1+58.23X_2$

باتوجه به این نتایج می‌توان گفت که در شرایط تنش خشکی یکی از صفات مهم وزن هزار دانه می‌باشد یعنی توانایی گیاه در پر کردن و انتقال مواد غذایی به دانه می‌باشد زیرا تعداد دانه ممکن است تا قبل از تنش تشکیل شده باشد و مهم این است که این دانه پر شوند. گل‌پرور و همکاران (Golparvar et al., 2011) بیان نمودند که در شرایط آبیاری معمولی وزن هزار دانه و تعداد دانه به ترتیب وارد مدل شدند و روی هم رفته ۸۰ درصد تغییرات عملکرد را توجیه کردند. یونگ و همکاران (Yong et al., 2015) نیز در آزمایش خود نشان دادند که تعداد خورجین عامل مهمی در توجیه تغییرات عملکرد در شرایط عادی است. با توجه به این نتایج می‌توان استنباط نمود که این دو صفت (تعداد خوجین و تعداد دانه در خورجین) جزء صفات مهم در عملکرد دانه در شرایط عدم تنش هستند. بنابراین می‌توان از این دو صفت در جهت انتخاب و بهبود عملکرد در کلزا استفاده نمود. روستاباغی و همکاران (Roostabaghi et al., 2012) نیز در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که وزن هزار دانه در شرایط تنش جزء صفات مهم می‌باشد که نتایج بدست آمده با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. بنابراین می‌توان از صفت وزن هزار دانه جهت انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش خشکی استفاده کرد. در حالیکه یوان و همکاران (Yuan et al., 2011) صفت تعداد دانه و تعداد خورجین در بوته را صفات تعیین کننده در عملکرد دانه در شرایط تنش معرفی کردند.

جدول ۳. نتایج رگرسیون گام به گام برای صفت عملکرد به عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به عنوان متغیر مستقل در شرایط عادی

Table 3. The results of stepwise regression for seed yield as dependent variable and other traits as independent variables in normal conditions.

مرحله Step	متغیر ورودی Variable entered	عرض از مبدا Intercept	ضرایب رگرسیون regression coefficient		ضریب تبیین تجمعی (R^2) R-square
			b_1	b_2	
1	تعداد خورجین در بوته Silique.plant^{-1}	694.34**	28.63**		86.51%
2	تعداد دانه در خورجین Grain.silique^{-1}	-1490.99**	22.72**	87.5**	92%

جدول ۴. نتایج رگرسیون گام به گام برای صفت عملکرد به عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به عنوان متغیر مستقل در شرایط تنش خشکی

Table 4. The results of stepwise regression for seed yield as dependent variable and other traits as independent variables in drought stress conditions

مرحله Step	متغیر ورودی Variable entered	عرض از مبدا Intercept	ضرایب رگرسیون regression coefficient		ضریب تبیین تجمعی (R^2) R-square
			b1	b2	
1	وزن هزار دانه 1000 Grain W.	390.26*	512.45**		63.21%
2	تعداد دانه در خورجین Grain.silique^{-1}	-627.9**	445.27**	58.23**	70.04%

تجزیه خوشه‌ای

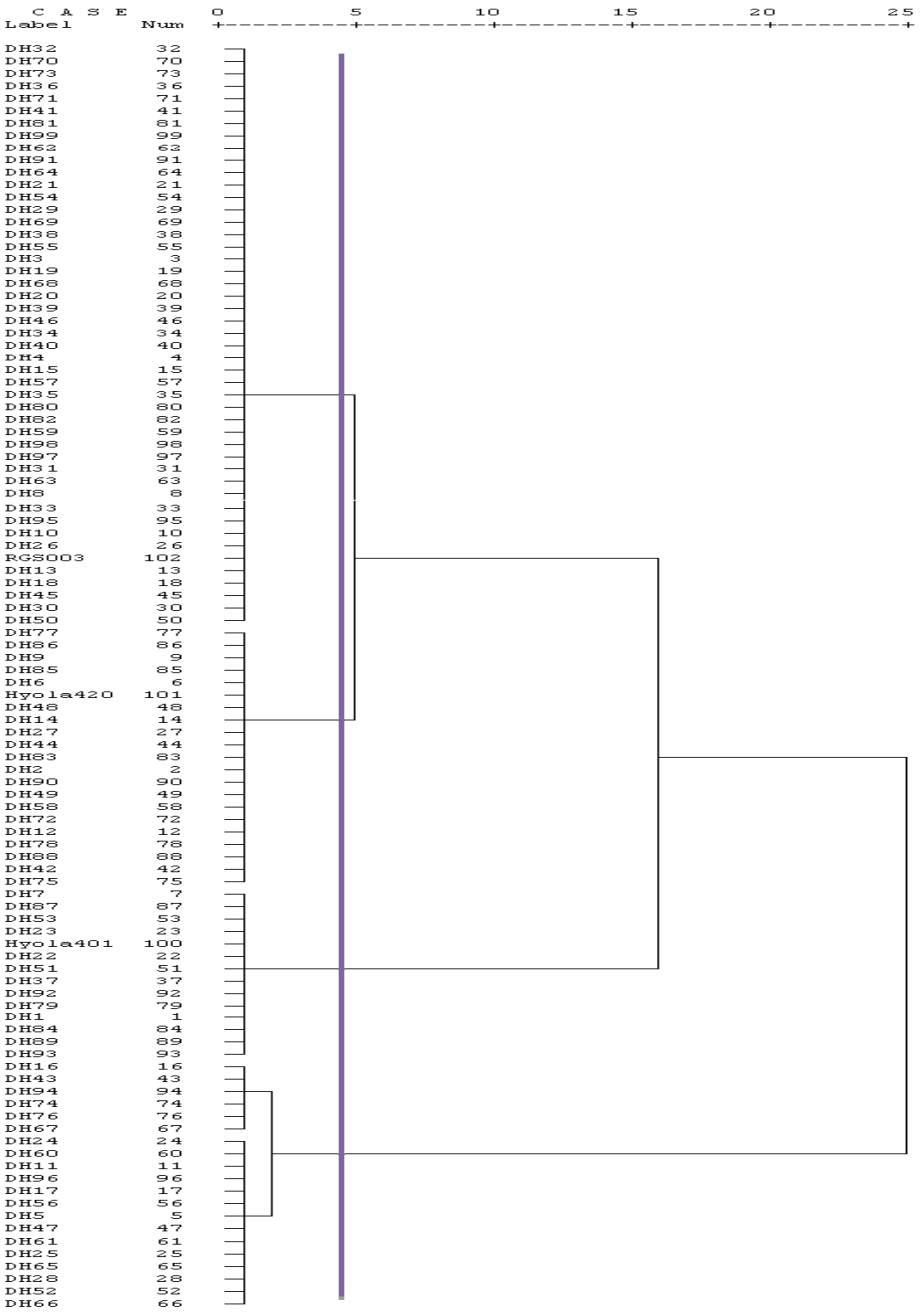
تجزیه خوشه‌ای به روش متوسط فاصله بین خوشه‌ای UPGMA بر اساس صفات عملکرد و اجزاء عملکرد برای ۹۹ لاین هاپلوئید مضاعف کلزا و سه ژنوتیپ شاهد در دو محیط عدم تنش و تنش خشکی بطورت جداگانه انجام گرفت همچین در هر دو شرایط خط برش دندروگرام‌های حاصل بر اساس طرح کاملاً تصادفی نامتعادل به طوری که حداکثر تفاوت بین گروه‌ها و حداقل تفاوت درون گروه‌ها باشد رسم گردید. نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای در محیط عدم تنش ژنوتیپ‌های کلزا مورد مطالعه را به ۴ گروه تقسیم کرد (شکل ۲). لاین‌های ۳۳، ۷۰، ۷۳، ۳۶، ۷۱، ۴۱، ۳، ۱۹، ۱۰، ۴، ۸ و همچنین شاهد RGS003 در گروه اول قرار گرفتند، که این لاین‌ها دارای مقادیر پایین برای عملکرد و اکثر صفات بوده‌اند. شاهد هایولا ۴۲۰ و تعدادی از لاین‌ها مثل لاین‌های ۷۷، ۸۶، ۹، ۶، ۲، ۷۲، ۱۲، ۷۵ و ۷ در گروه دوم قرار گرفتند که از لحاظ صفت عملکرد و اجزاء عملکرد متوسط بوده‌اند. شاهد هایولا ۴۰۱ و لاین‌هایی مثل ۷، ۸۷، ۵۳، ۲۳، ۵۱، ۱، ۷۹ و ۸۴ در گروه سوم قرار گرفتند این لاین‌ها دارای مقادیر بالایی برای کلیه صفات بوده‌اند و جزء لاین‌های برتر می‌باشند. بقیه لاین‌ها از جمله لاین‌های۱۶، ۴۳، ۹۴، ۷۴ ،۲۴،۷۶ ، ۱۱، ۹۶، ۵، ۶۵، ۲۸ و ۵۲ در گروه چهارم قرار گرفتند (شکل ۲). نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای در شرایط تنش ۹۹ لاین هاپلوئید مضاعف کلزای مورد مطالعه به همراه سه شاهد را نیز در ۴ گروه تقسیم‌بندی کرد (شکل ۳). لاین‌های۵۲، ۷۰، ۲۱، ۲۴، ۳۳، ۴۱، ۵، ۶۱، ۶۷ و ۴۶ در گروه اول قرار گرفتند. که این لاین‌ها دارای مقادیر نسبتا پایین برای عملکرد و اکثر صفات بودند و لاین حساس محسوب می‌شوند. شاهد هایولا ۴۰۱ و لاین‌های ۵۳، ۸۴، ۷۸، ۸۷، ۱، ۹۲، ۷۷، ۹۳، ۵۱، ۷۹، ۸۶ و ۸۵ در گروه دوم قرار گرفتند. این لاین‌ها دارای مقادیر بالا برای کلیه صفات هستند و عملکرد قابل قبولی در شرایط تنش داشتند. دو شاهد هایولا ۴۲۰ و RGS003 به همراه تعداد نسبتا زیادی از لاین‌ها از جمله لاین‌های۸۳، ۷، ۸۹، ۱۴، ۲، ۹۵، ۲۷، ۹، ۳۷، ۷۱ و ۵۸ در گروه سوم قرار گرفتند. که این گروه دارای حساسیت متوسط نسبت به تنش خشکی هستند. در گروه چهارم بقیه لاین‌ها از جمله لاین ۳۴، ۸۰، ۱۰، ۱۵، ۱۷، ۲۰، ۳۱، ۱۳، ۴۴، ۴۲، ۴، ۸، ۵۶ ، ۳، ۲۳، ۶۳ و ۱۸ قرار گرفتند (شکل ۳). ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2017) با بررسی عملکرد و اجزای عملکرد ۳۵ ژنوتیپ کلزا در ۱۴ محیط مختلف و استفاده از تجزیه خوشه‌ای نشان دادند که ۱۴ محیط را می‌توان به صورت سه گروه با شرایط محیطی مختلف تقسیم کرد که شامل منطقه با بارندگی بالا، منطقه با بارندگی متوسط و منطقه خشک یا کم بارش که مشخص گردید سپس با استفاده از تجزیه خوشه ای، سه گروه ژنوتیپ را شناسایی کرد که گروه اول شامل ژنوتیپ‌های با گلدهی زودرس، گروه دوم ژنوتیپ‌های با گلدهی میانه و گروه سوم ژنوتیپ‌های دیررس بودند. در آزمایشی توسط اشرف و همکاران (Ashraf et al., 2015) با استفاده از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای ژنوتیپ‌های گندم نان را به سه خوشه مقاوم، نیمه مقاوم و ژنوتیپ‌های حساس تقسیم کردند. صفوی و همکاران (Safavi et al., 2015) نیز در آزمایشی از تجزیه کلاستر به عنوان یک روش مطلوب برای تفکیک ارقام گلرنگ استفاده کردند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که تنوع زیادی بین لاین‌های هاپلوئید مضاعف کلزا از نظر صفات عملکرد و اجزاء عملکرد وجود دارد که می‌توان از این تنوع در جهت بهبود و اصلاح عملکرد دانه کلزا استفاده کرد. با توجه به نتایج رگرسیون گام به گام در شرایط عدم تنش می‌توان از صفت تعداد خوجین در بوته به عنوان معیاری جهت انتخاب و بهبود لاین‌های برتر استفاده کرد ولی در شرایط تنش خشکی صفت وزن هزار دانه به عنوان معیار انتخاب مد نظر قرار گیرد. لاین های ۵۳، ۸۷، هایولا ۴۰۱ و ۸۴ از نظر شاخص STI مقدار بالا و میزان SSI کمتری داشتند، بنابراین از این لاین‌ها در برنامه های بعدی اصلاح نباتات می‌توان استفاده کرد همچنین لاین‌های ۸۵ و ۵۳ در بین لاین‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش خشکی کمترین کاهش عملکرد را داشتند و به عنوان لاین‌های سازگار با عملکرد بالا در شرایط تنش معرفی می‌شوند.

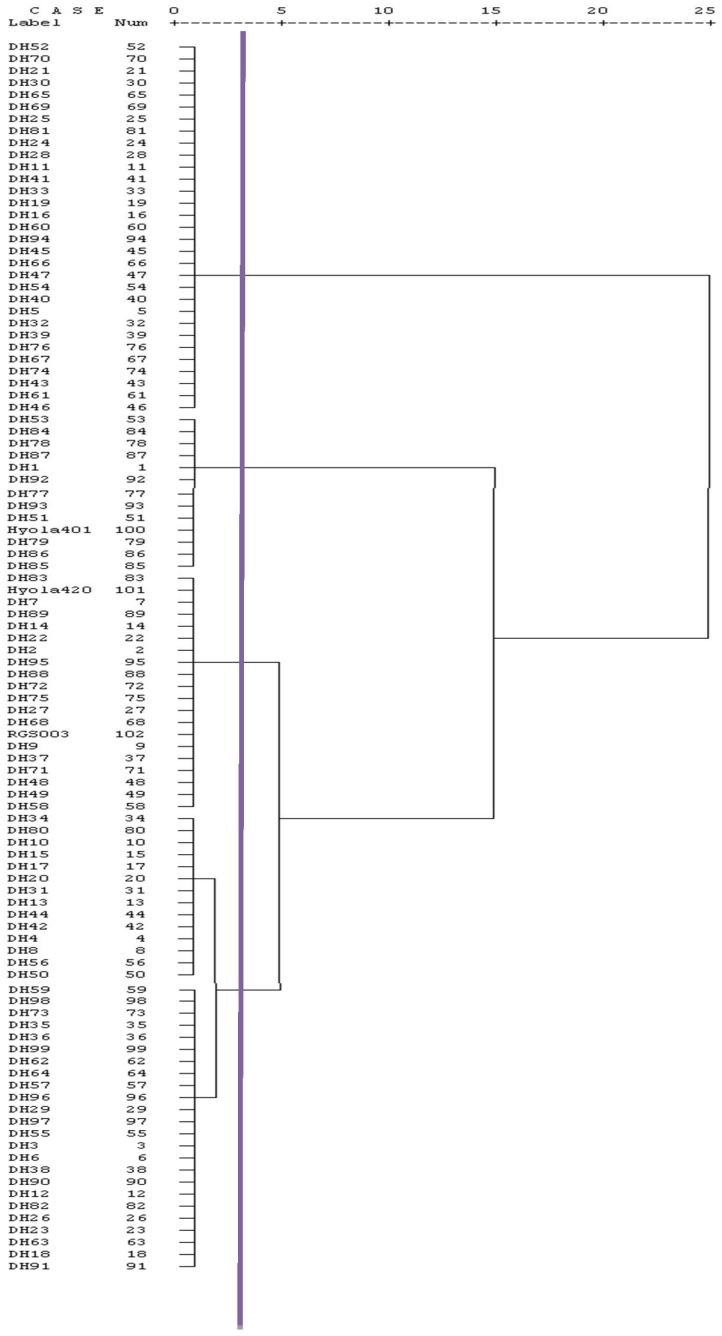
سپاسگزاری

از دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان و پرسنل محترم گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده‌ی کشاورزی که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.



شکل ۱. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه ای به روش UPGMA برای ۹۹ لاین هاپلوئید مضاعف شده کلزا همراه با تیمارهای شاهد در شرایط عادی

Fig. 2. Cluster analysis dendrograms according to UPGMA for 99 doubled-haploid lines with control treatment under normal condition.



شکل ۲. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای به روش UPGMA برای ۹۹ لاین هاپلوئید مضاعف شده کلزا همراه با تیمارهای شاهد در شرایط تنش

Fig. 2. Cluster analysis dendrograms according to UPGMA for 99 doubled-haploid lines with control treatment under stress condition.

منابع

Amiri, A., Ghanbari, A., Tavasoli, A., Rastegaripoor, F., Roshani. S., 2013. Investigation of quantitative and qualitative traits of canola cultivars under moisture stress conditions and identification of the best varieties based on resistance indices. Crop Physiology Journal. 4(15), 43-57. [In Persian with English summary].

Aneja, B., Yadav, N.R., Kumar, N., Yadav, R.C., 2015. Hsp transcript induction is correlated with physiological changes under drought stress in Indian mustard. Physiology and Molecular Biology of Plants. 21(3), 305-316.

Ashraf, A., Abd El-Mohsen, M. A., Abd El-Shafi, E. M. S., Gheith, H. S. S., 2015. using Different Statistical Procedures for Evaluating Drought Tolerance Indices of Bread Wheat Genotypes. Advance in Agriculture and Biology. 4(1), 19-30.

Assefa, Y., Prasad, P. V., Foster, C., Wright, Y., Young, S., Bradley, P., ... Ciampitti, I. A., 2018. Major management factors determining spring and winter canola yield in North America. Crop Science. 58(1), 1-16.

Azizi, M., Soltani, A., Khavari Khorsani, S., 1999. Brassica Oilseeds: Production and Utilization. Jehad University of Mashhad Publications. 230p. [In Persian).

Channa, S. A., Tian, H., Mohammed, M. I., Zhang, R., Faisal, S., Guo, Y., Klima, M., Stamm, M., Hu, S., 2018. Heterosis and combining ability analysis in Chinese semi-winter × exotic accessions of rapeseed (*Brassica napus* L.). Euphytica. 214(8), 134.

Chen, S., Guo, Y., Sirault, X., Stefanova, K., Turner, N. C., Nelson, M. N., ... Cowling, W., 2018. Non-destructive phenomic tools for the prediction of heat and drought tolerance at anthesis in Brassica species. Frontiers in Plant Science. 9, 989-999.

Desclaux, D., and Roumet, P., 1996. Impact of drought stress on the phenology of two soybean cultivars. Field Crops Research. 46(1), 61-70.

Fanaei, H. R., Kaikha, G. A., Saranei, M., Akbarimoghadam, A., Shariati, F., KhajedadKeshtkar, M., 2018. Study effect time of terminal irrigation on grain yield, oil and some agronomic traits of canola cultivars (*Brassica napus* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences. 11: 65-77. [In Persian with English summary].

Fathi, G., Moradi-Telavat, M. R., NaderiArefi, A., 2010. Rapeseed Physiology. Shahid Chamran University Press, Ahvaz, Iran. (In Persian).

Fernandez, G. C. J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (ed.). Proceedings of International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water stress, AVRDC, Shanhua, Taiwan.

Fisher, R., Maurer, R., 1987. Drought resistant in spring wheat cultivars. I: Grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research. 29, 895-97.

Gan, Y., Angadi, S. V., Cutforth, H., Potts, D., Angadi, V. V., McDonald, C. L., 2004. Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages. Canadian Journal of Plant Science. 84(3), 697-704.

Golparvar. R., GhasemiPirbalouti. A., 2012. Evaluation of correlation and path analysis of seed and oil yield in spring safflower cultivars under normal irrigation and drought stress conditions. New Finding in Agriculture. 6(4), 225-267. [In Persian with English summary].

Jamshidi, N., Shiranirad, A.H., Takht chin, F., Nazeri, P., Ghafari, M., 2012. Evaluation of Rapeseed Genotypes under Drought Stress Condition. Journal of Crop Ecophysiology. 6(3), 323-338. (In Persian with English summary).

Khani, R., Sadeghi Bakhtvari, A. R., Pasban Eslam, B., Sarabi, V., 2018. Effects of Drought Stress on Canola (*Brassica napus* L.) Genotypes Yield and Yield Components. Iranian Journal of Field Crops Research. 15(4), 914-924. (in Persian with English Summary).

Koscielny, C. B., Gardner, S. W., Duncan, R. W., (2018). Impact of high temperature on heterosis and general combining ability in spring canola (*Brassica napus* L.). Field Crops Research. 221, 61-70.

Kumari, N., Avtar, R., Kumari, A., Sharma, B., Rani, B., Sheoran, R. K., 2018. Antioxidative response of Indian mustard subjected to drought stress. Journal of Oilseed Brassica. 9(1), 40-44.

MajdiNasab, H., Siadat, S. A., Naderi, A., Lak, Sh., Modhej, A., (2014). The Effects of Drought Stress and Nitrogen Levels on Yield, Stomatal Conductance and Temperature Stability of Rapeseed (Canola) Genotypes. Advances in Environmental Biology. 8(8), 1239-1247.

Mendham, N. G., Salisbury, P. A., 1995. Physiology: crop development, growth and yield. In: Kimber, D. S. and McGregor, D.I . (Eds). *Brassica* oilseed: Production and utilization. CAB International pp: 11-67.

Moayedi, A. A., Boyce, A. N., Barakbah, S. S., 2010. The performance of durum and bread wheat genotypes associated with yield and

yield component under different water deficit conditions. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 4, 106-113.

Mohammadi-Nejad, R., Bahramian, S., Kahrizi, D., 2018. Evaluation of physicochemical properties, fatty acid composition and oxidative stability of *Camelina sativa* (DH 1025) oil. Journal of Food Science and Technology. 15, 261- 269. (In Persian with English Summary).

Mohseni. M., Mortazavian. S. M. M., Ramshini. H. A., Foghi. B., 2016. Evaluation of Bread Wheat Genotypes under Normal and Post-anthesis Drought Stress Conditions for Agronomic Traits. Journal of Crop Breeding. 8(18), 16-29. (In Persian with English Summary).

Nazeri, P., Shirani-Rad, A. H., Valadabadi, A., Mirakhori, M., Hadidi-Masoule, E., 2018. The effect of planting date and late season drought stress on Eco-physiological characteristics of the new varieties ofrapeseed (*Brassica napus* L.). Agroecology Journal. 11(1), 261-276. (In Persian with English Summary).

Nourmand Moayyed, F., Rostmi, M. A., Ghannadha, M. R., 2001. Evaluation of drought resistance indices in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Iranian Journal of Agricultural Science. 32, 795-805. (In Persian with English Summary).

Pasban-Eslam, B., Shakiba, M. R., Neishabori, M. R., Moghaddam, M., Ahmadi, M. R., 2000. Effects of water stress on quality and quantity characteristics of rapeseed. Journal of Agricultural Science. 10, 75-85. (In Persian with English Summary).

Passioura, J. B., 2007. Increasing crop productivity when water is scarce-from breeding to field management. Agricultural Water Management. 80, 176-196.

Rashid, M., Hampton, J. G., Rolston, M. P., Trethewey, J. A., Saville, D. J., 2018. Forage rape (*Brassica napus* L.) seed quality: Impact of heat stress in the field during seed development. Field Crops Research. 217, 172-179.

Roostabaghi, H., Dehghan, B., Alizadeh, N., Sabaghnia, N., 2013. Study of Diversity and Evaluation of Relationships Between Yield and Yield Components of Rapeseed via Multivariate Methods. Journal of Crop Production and Processing. 2(6), 53-63.

Safavi, S. M., Safavi, A. S., Safavi, S. A., 2015. Evaluation of drought Tolerance in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Inbred Lines and Synthetic Varieties under Non Stress and Drought Stress Conditions. Biological Forum. 7(1), 1849-1854 .

Moravveji, S., Zamani, G., Kafi, M., Alizadeh, Z., 2017. Effect of different salinity levels on yield and yield components of spring canola cultivars (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*B. juncea* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences. 10(3), 445-457. (In Persian with English Summary).

Seyed Mohammadi, N., allahdadi I., Seyed Mohammadi S. A. R., Sarafraz, E., 2013. Variation in some physiological and morphological characteristics of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under different intervals and irrigation regimes. crop physiology. 4(16), 5-17. (In Persian with English summary)

Tahmasebi, S., Khodambashi, M., Rezai, A., 2007. Estimation of genetic parameters for grain yield and related traits in wheat using diallel analysis under optimum and moisture stress conditions. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 1, 229-240 (In Persian with English Summary).

Wehner, G., Balko, C., Enders, M., Humbeck., K Ordon, F., 2015. Identification of genomic regions involved in tolerance to drought stress and drought stress induced leaf senescence in juvenile barley. BMC Plant Biology. 15(125), 1-15.

Yong, H. Y., Wang, C., Bancroft, I., Li, F., Wu, X., Kitashiba, H., Nishio, T., 2015. Identification of a gene controlling variation in the salt tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.). Planta. 242, 313–326.

Lu, G-Y., Zhang, F., Zheng, P-Y., Cheng, Y., Liu, F-I., Fu, G-P., Zhang, X-K., 2011. Relationship Among Yield Components and Selection Criteria for Yield Improvement in Early Rapeseed (*Brassica napus* L.). Agricultural Sciences in China. 10, 997-1003.

Zhang, H., Berger, J., Herrmann, C., 2017. Yield and yield stability in canola (*Brassica napus* L.). In " Doing More with Less", Proceedings of the 18th Australian Agronomy Conference 2017, Ballarat, Victoria, Australia, 24-28 September 2017 (pp. 1-4). Australian Society of Agronomy Inc.

University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences
Vol. 13, No. 4, p. 1077-1092
Winter 2021
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2205.1552

Original article

Assessment of yield and yield components of doubled-haploid lines of rapeseed under drought stress

M.R. Raeisi-Lalari[1], E. Shahbazi[2*], A.R. Shafeinia[3]

1. M.Sc. in Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Molasani, Iran
2. Assistant Professor, Department of Plant breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran
3. Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Molasani, Iran

Received 26 February 2019; Accepted 13 April 2019

Abstract

This study aims to evaluate the yield and yield components of 99 doubled haploid lines of rapeseed. It was performed at Ramin Agriculture and Natural Resources University in Khuzestan in two moisture conditions (normal irrigation conditions and drought stress after flowering) in the form of an Augment design with three controls (Hayola 401, Hayola 420, and RGS003) in six replications during the period of 2014-2015 crop year. The results showed that there was a significant difference between the studied genotypes for the number of siliques per plant, number of seeds per silique and seed yield in both conditions. Drought stress in the flowering stage reduced seed yield and yield components. The results of this study also suggested that there is a great variety between the doubled haploid lines of the studied rapeseeds in terms of yield traits and yield components that can be used to improve and modify the rapeseed yield. According to the results of stepwise regression, the trait of the number of siliques per plant in non-stress condition and the trait of 1000-seed weight in drought stress condition can be used as a criterion for selecting and improving superior lines. The results of cluster analysis in both stress and non-stress conditions divided the studied genotypes into 4 groups. According to the stress sensitivity index (SSI) and stress tolerance index (STI), lines 53, 87, and 84 had a high value of STI and a low value of SSI. Therefore, these lines can be used in future plant breeding programs. Lines 85 and 53 also had the lowest yield reduction among high yield lines under drought stress condition and are introduced as compatible, high yield lines under drought stress condition. It is recommended to use these lines in rapeseed breeding programs due to the high diversity among the studied lines.

Keywords**:** *Brassica napus*, Grain.silique^{-1}, Moisture stress, Silique.plant^{-1}

*Correspondent author: Ehsan Shahbazi; E-Mail: es.shahbazi@gmail.com.