دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

راه‌کارهای مناسب گزینش ژنوتیپ‌های متحمّل به تنش خشکی در کلزا

حسن زالی[۱]، طاهره حسنلو[۲]، امید سفالیان[۳]، علی اصغری[۳] و مهرشاد زین‌العابدینی[۴]

۱- استادیار، ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب
۲- استادیار، بخش فیزیولوژی مولکولی، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، (نویسنده مسوول: thasanloo@abrii.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی
۴- استادیار، بخش ژنومیکس، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران
تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۲۳

چکیده

در این تحقیق امکان کاربرد شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل، به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمّل به خشکی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمّل به خشکی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه مرکز تحقیقات و منابع طبیعی یزد انجام شد. سه سطح آبیاری شامل آبیاری براساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A (به‌عنوان تیمار شاهد)، قطع آبیاری از ابتدای ساقه‌رفتن تا ابتدای گل‌دهی و قطع آبیاری از ابتدای گل‌دهی تا ظهور خورجین‌ها که در کرت اصلی قرار گرفتند و شش ژنوتیپ کلزا در کرت فرعی، به صورت طرح کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. سیزده شاخص تحمّل به خشکی شامل شاخص حساسیت به خشکی، شاخص تحمّل تنش، شاخص تحمّل، شاخص تحمّل به تنش غیرزیستی، شاخص درصد حساسیت به تنش، شاخص تولید در شرایط بدون‌تنش و تنش، شاخص خشکی نسبی، میانگین هارمونیک، درصد کاهش عملکرد، شاخص پایداری عملکرد، شاخص عملکرد، میانگین تولید، میانگین هندسی عملکرد و هم‌چنین تکنیک شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل بررسی شد. نتایج نشان داد تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای را در مراحل ساقه‌رفتن و گل‌دهی به‌طور معنی‌داری کاهش داده است. ژنوتیپ Tassilo با مقدار شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک به یک، ژنوتیپ متحمّل و ژنوتیپ‌های Cooper و Adriana با مقادیر شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک به صفر به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس به خشکی در شرایط تنش در مرحله ساقه‌رفتن تا شروع گل‌دهی شناخته شدند. ژنوتیپ Lilian با مقدار شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک به یک، ژنوتیپ متحمّل به خشکی در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی تا خورجین‌دهی و هم‌چنین ژنوتیپ‌های Cooper و Adriana با پایین‌ترین مقادیر شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل جزء ژنوتیپ‌های حساس به خشکی در این مرحله معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: تحمّل به خشکی، تنش، ژنوتیپ ایده‌آل، کلزا، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یک گیاه دانه روغنی متحمّل به خشکی است که دارای کیفیت بالای روغن، درصد بالای اسیدهای چرب اسید اولئیک و لینولئیک در روغن است که دارای ژنوتیپ‌های بهاره و زمستانه می‌باشد (۱۰) و از طرفی کشت آن در ایران رو به افزایش می‌باشد. سطح زیر کشت کلزا در ایران ۱۰۰ هزار هکتار (۹۳-۱۳۹۲) با میزان تولید ۱۶۴ هزار تن می‌باشد.

مراحل گل‌دهی و تشکیل خورجین‌ها، یکی از حساس‌ترین زمان‌ها برای آبیاری در این گیاه می‌باشد که نسبت به خشکی بسیار حساس است (۲۵). کیفوما و همکاران (۲۲) بیان کردند که تنش آبی در مرحله گل‌دهی و پرشدن دانه تأثیر منفی بر عملکرد دارد.

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که تعیین‌کننده توزیع پوشش گیاهی و محدودیت تولید در بخش کشاورزی می‌باشد و هم‌چنین یک خطر جدی در تأمین امنیت غذایی جهان است (۲۷). یکی از روش‌های مقابله با خشکی، توسعه ارقام زراعی متحمّل به خشکی است (۳۱).

به‌علت اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، عملکرد در شرایط تنش به تنهایی ملاک مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمّل به خشکی محسوب نمی‌شود و باید ژنوتیپ‌هایی با مدنظر باشند که در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی یکسان، از نظر عملکرد افت کم‌تری داشته باشند (۱۱). شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و عدم تنش همبستگی بالایی با عملکرد دارند، به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند، چون این شاخص‌ها قادرند با عملکرد بالا در هر محیط را شناسایی کنند و می‌توان از آن‌ها برای تخمین عملکرد استفاده کرد. بر این اساس شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و بررسی متحمّل و حساس به خشکی آن‌ها معرفی شده است (۴).

رزیل و هامبلین (۲۳)، شاخص تحمّل (TOL)[۱] و شاخص متوسط تولید یا بهره‌وری (MP)[۲] را معرفی کردند. فرناندز (۱۲)، شاخص‌های میانگین هندسی عملکرد (GMP)[۳] و شاخص تحمّل به تنش (STI)[۴] را برای بررسی تحمّل به خشکی ژنوتیپ‌ها معرفی کرد. فیشر و مورر (۱۴)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)[۵] را برمبنای عملکرد در شرایط تنش و بدون‌تنش، مطرح نمودند. موسوی و همکاران (۲۰)، سه شاخص دیگر، تحت عنوان شاخص تحمّل غیرزیستی (ATI)[۶]، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)[۷] و شاخص تولید در شرایط بدون‌تنش و تنش (SNPI)[۸] را به‌منظور بررسی حساسیت یا تحمّل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم معرفی کردند. شاخص پایداری عملکرد (YSI)[۹] توسط بوسلام و شاپوف (۶)، درصد کاهش عملکرد (R%)[۱۰] توسط چوگان و همکاران (۷) و شاخص عملکرد (YI)[۱۱] توسط گاووزی و همکاران (۱۵) پیشنهاد شدند.

1- Tolerance index
2- Mean productivity
3- Geometric mean productivity
4- Stress tolerance index
5- Stress susceptibility index
6- Abiotic-stress tolerance index
7- Stress susceptibility percentage index
8- Stress non-stress production index
9- Yield stability index
10- Percentage of yield reduction
11- Yield index

برای انتخاب ارقام متحمّل یا حساس به تنش استفاده از یک شاخص به تنهایی ممکن است منجر به نتایج مطلوبی نباشد، ولی با ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص‌های مختلف، احتمال پیدا کردن ژنوتیپ‌های ایده‌آل افزایش برای برای انتخاب ارقام متحمّل یا حساس به تنش استفاده از یک شاخص به تنهایی ممکن است منجر به نتایج مطلوبی نشود، ولی با ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص‌های مختلف، احتمال پیدا کردن ژنوتیپ‌های ایده‌آل افزایش می‌یابد. بر همین اساس در این مقاله تکنیک شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)[1] به‌منظور ادغام شاخص‌های مختلف تحمّل به خشکی، برای ارزیابی بهتر ژنوتیپ‌ها معرفی شده است.

تکنیک SIIG، برای اولین بار در این مقاله برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمّل و حساس به خشکی، با ادغام سایر شاخص‌های تحمّل به خشکی به‌طور هم‌زمان، استفاده شده است. البته زالی و همکاران (۳۰) برای اولین بار از این روش برای ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری استفاده نمودند. شاخص SIIG برگرفته از مدل TOPSIS[2] یا اولویت‌بندی بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل می‌باشد که نخستین بار بوسیله ونگ و یون (۱۶) به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره معرفی شد. از روش SIIG می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه بهتر ژنوتیپ‌های مختلف و انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و تعیین فواصل بین ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده نمود. از ویژگی‌های روش SIIG این است که برای محاسبه آن از سایر شاخص‌های تحمّل به خشکی به‌طور هم‌زمان و عملکرد در شرایط تنش و بدون‌تنش استفاده می‌گردد. از آن‌جایی‌که ممکن است هر ژنوتیپی از نظر یک شاخص یا صفتی ژنوتیپ برتر باشد و در نهایت با افزایش تعداد صفات یا شاخص‌ها، ممکن است انتخاب ژنوتیپ مناسب برای محقق دشوار شود، ولی به کمک روش SIIG تمام شاخص‌ها و صفات به‌صورت یک شاخص درآمده، رتبه‌بندی و تعیین ژنوتیپ‌های برتر بسیار راحت‌تر می‌شود. از جمله مزیت‌های این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به کار رفته برای مقایسه می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند. به‌عبارت دیگر می‌توان از شاخص‌های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این تکنیک استفاده نمود. بر اساس این تکنیک، بهترین ژنوتیپ، نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ‌های ایده‌آل و دورترین از ژنوتیپ‌های غیر ایده‌آل است. در اینجا منظور از ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپی فرضی است که بیش‌ترین تحمّل به تنش و کم‌ترین حساسیت به تنش را در شرایط مورد بررسی داشته باشد، درحالی‌که ژنوتیپ غیر ایده‌آل، ژنوتیپی فرضی است که بیش‌ترین حساسیت به تنش و کم‌ترین تحمّل به تنش را داشته باشد. به‌طور خلاصه، ژنوتیپ ایده‌آل از مجموع مقادیر ایده‌آل هر یک از شاخص‌ها به دست می‌آید، درحالی‌که ژنوتیپ غیر ایده‌آل از مجموع مقادیر غیر ایده‌آل هر یک از شاخص‌ها حاصل می‌گردد. به‌عنوان مثال در مورد عملکرد، حداکثر عملکرد یک ژنوتیپ، مقدار ایده‌آل و عملکرد پایین، به عنوان مقدار غیر ایده‌آل در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین در مورد شاخص TOL، مقدار ایده‌آل برابر کم‌ترین مقدار TOL برای ژنوتیپ‌ها و مقدار غیر ایده‌آل برابر با حداکثر مقدار شاخص TOL برای ژنوتیپ‌ها می‌باشد.

در تحقیقات خشکی، شاخص‌های مختلفی برای بررسی تحمّل به خشکی وجود دارد و هر کدام از شاخص‌ها مزایا و معایب خود را دارند. هر کدام از شاخص‌ها را می‌توان در نهایت به‌صورت تک به تک با عملکرد در شرایط تنش و غیرتنش در یک نمودار ۳ بعدی بررسی کرد. ولی در روش SIIG می‌توان با توجه به‌نظر محقق از تمام شاخص‌ها به‌طور هم‌زمان برای تصمیم‌گیری در مورد انتخاب ژنوتیپ متحمّل به تنش استفاده نمود.

هدف از این مقاله، بررسی تحمّل به خشکی تعدادی از ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی در مراحل ساقه‌رفتن و گل‌دهی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمّل به خشکی، هدایت روزنه‌ای و شاخص تغییرات کلروفیل بود. هم‌چنین در این مقاله برای اولین بار کاربرد تکنیک SIIG در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمّل به خشکی با استفاده از ادغام سایر شاخص‌های تحمّل به تنش به‌طور هم‌زمان، شرح داده شده است.

مواد و روش‌ها

کشت مزرعه‌ای این آزمایش به روش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در نیمه اول آبان سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و در مزرعه مرکز تحقیقات و منابع طبیعی یزد اجرا شد. در این طرح تنش خشکی در کرت اصلی در سه سطح شامل تیمار شاهد (آبیاری به‌صورت نرمال بعد از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر)، تنش در مرحله ساقه‌رفتن (قطع آبیاری از ابتدای ساقه‌رفتن تا ابتدای گل‌دهی) و تیمار تنش در مرحله گل‌دهی (قطع آبیاری از مرحله ابتدای گل‌دهی تا ابتدای ظهور خورجین‌ها) و شش رقم کلزا (SLM046، Tassilo، Adriana، Karun، Cooper و Lilian) در کرت فرعی قرار گرفتند. اندازه هر کرت آزمایشی ۲ در ۱ متر بوده و در هر کرت دو خط کشت با فاصله ۴۰ سانتی‌متر و حاشیه ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله دو بوته از هم روی خط کشت ۶ سانتی‌متر و عمق کشت یک سانتی‌متر بود. برای جلوگیری از آلودگی قارچی بذور توسط هیپوکلریت سدیم ۵٪ به‌مدت ۵ دقیقه ضدعفونی شدند. بر اساس آزمون خاک، در زمان کشت از کود فسفره (بر پایه ۲۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات در هکتار) و پتاس (بر پایه ۲۰۰ کیلوگرم نیترات پتاسیم در هکتار) به‌صورت پیش‌کاشت استفاده شد. هم‌چنین، نصف کود ازته مورد نیاز (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت پیش‌کاشت و نصف مابقی به‌صورت سرک در مرحله ۴-۵ برگی به خاک اضافه شد. برای مبارزه با شته از سم مالاتیون به میزان ۱/۵ در هزار استفاده شد. قبل از اعمال تنش خشکی، گیاهان تا رسیدن به مرحله ابتدای ساقه‌رفتن و گل‌دهی در شرایط مطلوب از نظر رطوبت خاک نگه‌داری شدند و بعد از این مرحله تا ابتدای ظهور خورجین‌ها، مرحله تنش رطوبتی اعمال شد. نمونه‌برداری در سه مرحله یعنی ۱۰

1- Selection index of ideal genotype

2- Technique of order preference by similarity to ideal solution

روز بعد از اعمال تنش در مرحله ساقه‌رفتن، ۱۰ روز بعد از اعمال تنش در مرحله گل‌دهی و در نهایت زمان رسیدگی کامل کلزا (نیمه‌ی دوم اردیبهشت) انجام شد.

اندازه‌گیری شاخص تغییرات کلروفیل (عدد SPAD) با استفاده از کلروفیل‌متر SPAD-502 مدل Minolta ساخت ژاپن و اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پورومتر AP4، مدل Delta، MK، UK از ۳ برگ بالای پوشش گیاهی در هر تکرار انجام شد. در مراحل مختلف رشد کلزا صفات تعداد روز تا شروع گل‌دهی، تعداد روز تا شروع خورجین‌دهی، تعداد روز تا رسیدن، ارتفاع بوته، تعداد دانه در ۲۰ خورجین، وزن دانه در ۲۰ خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد.

برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی از شاخص تولید و شاخص میانگین روزیل و هامبلین (۲۳)، شاخص حساسیت به خشکی (SSI) فیشر و مورر (۱۴)، میانگین هندسی عملکرد در دو شرایط تنش و بدون‌تنش (GMP)، شاخص تحمّل به تنش (STI) و میانگین هارمونیک عملکرد (HM) فرناندز (۱۲)، شاخص خشکی نسبی (RDI) فیشر و وود (۱۳)، شاخص تحمّل غیرزیستی (ATI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI) و شاخص تولید در شرایط بدون‌تنش و تنش (SNPI) موسوی و همکاران (۲۰)، شاخص پایداری عملکرد (YSI) بوسلام و شاپوف (۶)، درصد کاهش عملکرد (%R) چوگان و همکاران (۷) و شاخص عملکرد (YI) گاووزی و همکاران (۱۵) استفاده شد.

نحوه محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)

۱- تشکیل ماتریس داده‌ها با توجه به تعداد ژنوتیپ‌ها و تعداد شاخص‌ها یا صفات مختلف مورد بررسی، ماتریس داده‌ها به صورت زیر تشکیل می‌شود.

$$D=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & & x_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

در این ماتریس x_{ij} مقدار شاخص (صفت) iام $(i=1,2,\ldots n)$ در رابطه با ژنوتیپ jام $(j=1,2,\ldots m)$ می‌باشد.

۲- تبدیل ماتریس داده‌ها به یک ماتریس نرمال

از رابطه ذیل برای نرمال کردن داده‌ها استفاده می‌شود:

$$r_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{n} x_{kj}^{2}}}$$

ماتریس R به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R=\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & & r_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

۳- پیدا کردن ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ غیر ایده‌آل در این مرحله برای هر شاخص یا صفت به‌طور جداگانه، بهترین ژنوتیپ و ضعیف‌ترین انتخاب می‌شود.

۴- محاسبه فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ غیر ایده‌آل در این مرحله برای هر گزینه، فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل و فاصله از ژنوتیپ‌های غیر ایده‌آل به‌ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$d_i^{+}=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(r_{ij}-r_j^{+}\right)^2} \qquad i=1,\ldots,n$$

$$d_i^{-}=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(r_{ij}-r_j^{-}\right)^2} \qquad i=1,\ldots,n$$

در روابط فوق d_i^{+} فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل و d_i^{-} فاصله از ژنوتیپ‌های غیر ایده‌آل می‌باشد.

۵- محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) در آخرین مرحله شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$SIIG=\frac{d_i^{-}}{d_i^{+}+d_i^{-}} \qquad i=1,2\ldots,m, \quad 0\le SIIG\le 1$$

مقدار SIIG بین صفر و یک تغییر می‌کند و هرچه گزینه مورد نظر به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر باشد مقدار SIIG آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود.

در این تحقیق، برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تیمارها به روش دانکن از نرم‌افزار SPSS، برای محاسبه شاخص‌های تحمّل به خشکی و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) از نرم‌افزار Excel و برای رسم نمودار از نرم‌افزار Sigma plot استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس (جدول ۱) اثر معنی‌داری را در سطح احتمال ۱٪ برای تیمار تنش خشکی در مرحله ساقه‌رفتن برای میزان هدایت روزنه‌ای نشان داد. از طرفی اثر تنش بر میزان سبزینگی معنی‌دار نبود. هم‌چنین بین ارقام مورد بررسی، تفاوت معنی‌داری از نظر این صفات وجود نداشت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص تغییرات کلروفیل در شرایط نرمال آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. اما در شرایط تنش بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری وجود داشت. به‌عبارت دیگر ژنوتیپ SLM046، دارای کم‌ترین مقدار شاخص تغییرات کلروفیل در شرایط تنش بود که تفاوت معنی‌داری با ژنوتیپ‌های Tassilo و Karun داشت (جدول ۲). در همه‌ی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش در مرحله ساقه‌رفتن، میزان سبزینگی نسبت به شرایط بدون‌تنش افزایش یافته بود ولی این افزایش به اندازه‌ای نبود که از نظر آماری این تفاوت درون ژنوتیپ‌ها معنی‌دار باشد (شکل ۱).

هدایت روزنه‌ای یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر روی سرعت فتوسنتز اندام فتوسنتزی به‌خصوص در شرایط تنش رطوبتی می‌باشد (۱۸). مقایسه میانگین صفت هدایت‌روزنه‌ای تفاوت معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون‌تنش و تنش در مرحله ساقه‌رفتن نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون‌تنش نشان داد که کم‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای مربوط به رقم Lilian است و در شرایط تنش کم‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای مربوط به ژنوتیپ Cooper است و میزان هدایت‌روزنه‌ای در همه ارقام در شرایط تنش کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۲). در این میان بیش‌ترین کاهش هدایت روزنه‌ای مربوط به رقم Cooper و کم‌ترین کاهش مربوط به رقم Tassilo بود. روزنه‌ها نقش کلیدی در مسیرهای اتلاف آب و جذب دی اکسید کربن دارند. هنگامی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند، روزنه‌ها به سمت بسته‌شدن پیش می‌روند که از عوامل آن می‌توان به آبسزیک اسید و کاهش پتانسیل آماس در برگ اشاره کرد (۹). بنابراین نتایج حاکی از این است که بسته‌شدن روزنه‌ها، یکی از اولین اقدامات سریع گیاه نسبت به کمبود آب می‌باشد. در هنگام بروز تنش خشکی، سهم نسبی محدودیت روزنه‌ای در کاهش فتوسنتز، وابسته به میزان تنش خشکی است. لیانگ و همکاران (۱۷) نشان دادند که کاهش فعالیت بیوشیمیایی فتوسنتز در تنش خشکی، بیش‌تر به علت کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش غلظت گاز کربنیک در محیط کلروپلاست می‌باشد. برابر بودن میزان فتوسنتز در گیاهان تحت تنش خشکی و شاهد، هنگامی که برگ‌ها در معرض غلظت بالای گازکربنیک قرار داده شدند، از شواهد قابل ملاحظه اهمیت محدودیت روزنه‌ای در زمان بروز تنش خشکی است (۱). هر چند بعضی از محققان، بسته‌شدن روزنه گیاهانی که در معرض تنش خشکی قرار گرفته‌اند را عامل اصلی کاهش ظرفیت فتوسنتز می‌دانند. اما آرتیموس و کوفیدیس (۳) گزارش کردند که هنگام تنش خشکی عوامل روزنه‌ای، عوامل اصلی کاهنده فتوسنتز نیستند.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی تفاوت معنی‌داری بین ارقام از نظر هدایت روزنه‌ای و شاخص تغییرات کلروفیل وجود ندارد ولی اثر تنش خشکی بر میزان هدایت روزنه‌ای معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها برای شاخص تغییرات کلروفیل (میزان سبزینگی) و هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش در ابتدای مرحله گل‌دهی نشان داد که بین بعضی از ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون‌تنش و بین بعضی از ارقام در شرایط تنش تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). هم‌چنین مقایسه میانگین درون ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون‌تنش و تنش (شکل ۲) نشان داد که شاخص تغییرات کلروفیل در شرایط تنش در همه ارقام افزایش یافته است ولی این افزایش تنها در ژنوتیپ‌های SLM046 و Tassilo معنی‌دار بود. این مطلب نشان می‌دهد که تنش اعمال شده بر روی میزان سبزینگی تاثیر اندکی دارد که البته به نوع ژنوتیپ هم بستگی دارد و ممکن است از ژنوتیپی به ژنوتیپ دیگر تفاوت داشته باشد. هم‌چنین علت افزایش در شاخص تغییرات کلروفیل در زمان تنش، ممکن است به خاطر کاهش آب برگ و افزایش غلظت کلروفیل و در نهایت تیره‌تر شدن برگ باشد.

نتایج مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها برای هدایت روزنه‌ای نشان داد که بین ارقام در شرایط بدون‌تنش و تنش تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. اما مقایسه میانگین درون ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون‌تنش و تنش نشان داد که هدایت روزنه‌ای در همه ارقام کاهش یافته است (شکل ۲) و این مقدار کاهش برای همه ژنوتیپ‌ها معنی‌دار بود (جدول ۲). از نظر میچل و همکاران (۱۹)، در شرایط تنش خشکی هدایت روزنه‌ای و تعرق حساس‌ترین فرایندها نسبت به کاهش رطوبت خاک می‌باشند. کاهش تعرق در این شرایط به دلیل کاهش هدایت‌روزنه‌ای است (۱۸). بسته‌شدن روزنه‌ها، به عنوان اولین واکنش در پاسخ گیاه به تنش خشکی در شرایط مزرعه‌ای امکان دارد منجر به محدود شدن جذب کربن بوسیله برگ‌ها شود (۸). از طرفی مطالعات لیانگ و همکاران (۱۷) و یوردانو و همکاران (۲۸) نشان داد که کاهش فعالیت بیوشیمیایی فتوسنتزی در شرایط تنش رطوبتی ممکن است بیش‌تر به علت کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش غلظت دی‌اکسید کربن در محیط کلروپلاست باشد.

شائو و همکاران (۲۴) نشان دادند که هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی علاوه بر شدت تنش وابسته به نوع ژنوتیپ (حساس یا متحمّل) نیز می‌باشد و تغییر در سوخت و ساز کربن سلول‌های روزنه، در اوایل دوره اعمال تنش را گزارش کردند و نشان دادند که گونه‌های متحمّل به تنش خشکی بر خلاف گونه‌های حساس که تقریباً روزنه‌هایشان به‌طور کامل بسته می‌شود، تحمّل روزنه‌ای خود را به گونه‌ای تنظیم می‌کنند که روزنه‌هایشان به‌طور کامل بسته نشده و همواره فتوسنتز انجام می‌شود. این شیوه تنظیم علاوه بر افزایش راندمان مصرف آب، باعث می‌شود زمانی که تنش از بین رفت روزنه‌ها با سرعت بیش‌تری باز شوند.

در جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس برخی از صفات مورفولوژیک و عملکرد دانه کلزا آورده شده است. نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر همه صفات (به‌جزء تعداد دانه در ۲۰ خورجین و وزن دانه در ۲۰ خورجین) تفاوت معنی‌داری وجود دارد. نتایج مقایسه میانگین در هر دو شرایط تنش و بدون‌تنش (جدول ۴) نشان داد که ژنوتیپ‌ها در هر دو سطح تنش و بدون‌تنش برای عملکرد دانه با هم اختلاف معنی‌داری دارند. بیش‌ترین عملکرد مربوط به تیمار شاهد با عملکرد ۱۶۶۹/۹ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین عملکرد مربوط به تنش در مرحله ساقه‌رفتن (۹۵۹/۳ کیلوگرم در هکتار) بود. درحالی‌که عملکرد در مرحله تنش گل‌دهی بیش‌تر از عملکرد در مرحله ساقه‌رفتن بود (۱۱۵۹/۹ کیلوگرم در هکتار). علت آن ممکن است به این دلیل باشد که بعد از اعمال تنش در مرحله ساقه‌رفتن، تنش ادامه پیدا کرده و آبیاری بعد از ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر انجام شده و آن هم در حدی که گیاه زنده بماند و تولید محصول کند و با توجه به اینکه تنش در مرحله گل‌دهی بعد از مرحله ساقه‌رفتن انجام می‌شود. هر چند تنش به همان صورت اول اعمال شد ولی مدت زمان آن نسبت به تنش در مرحله ساقه‌رفتن کم‌تر بود. بنابراین با

وجود این‌که تنش در مرحله گل‌دهی ممکن است خسارت بیش‌تری نسبت به تنش در مرحله ساقه‌رفتن ایجاد کند ولی طول مدت تنش خشکی عملکرد را بیش‌تر کاهش داده بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس شاخص تغییرات کلروفیل و هدایت روزنه‌ای در ۶ رقم کلزا در شرایط تنش در مراحل ساقه‌رفتن و گل‌دهی

Table 1. Variance analysis of chlorophyll changes index and stomata conductance under stress at stem elongation and flowering stages

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		تنش در ابتدای مرحله ساقه‌رفتن		تنش در ابتدای مرحله گل‌دهی	
		شاخص تغییرات کلروفیل	هدایت روزنه‌ای	شاخص تغییرات کلروفیل	هدایت روزنه‌ای
تکرار	۲	۹۴/۱۰^{ns}	۲۹۶۱/۳۶^{ns}	۳۳/۸۴^{ns}	۵۳۰/۱۹^{ns}
تنش خشکی	۱	۴۲۷/۱۱^{ns}	۱۱۷۶۴۹/۰۰*	۵۳۰/۵۳*	۱۲۹۹۶۰/۲۵**
خطای a	۲	۶۰/۳۰	۴۰۳۲/۵۸	۱۸/۱۶	۷۷۱/۰۸۳
رقم	۵	۷۲/۹۱^{ns}	۲۱۷۶/۳۸^{ns}	۳۰/۶۴^{ns}	۸۵۶/۸۹^{ns}
رقم × تنش خشکی	۵	۱۷/۰۹^{ns}	۱۳۸۹/۱۳^{ns}	۴۶/۲۰^{ns}	۳۷۱/۱۲^{ns}
خطای b	۲۰	۳۵/۱۴	۸۱۴/۲۱	۱۷/۶۱	۵۵۸/۱۴
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۲۸	۱۴/۶۸	۸/۵۹	۷/۸۶

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۲- مقایسه میانگین میزان شاخص تغییرات کلروفیل و هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش در مرحله ساقه‌رفتن و تنش در مرحله گل‌دهی

Table 2. Mean comparison of chlorophyll changes index and stomata conductance under stress at stem elongation and flowering stages

نام ژنوتیپ‌ها	تنش در ابتدای مرحله ساقه‌رفتن				تنش در ابتدای مرحله گل‌دهی			
	شاخص تغییرات کلروفیل		هدایت روزنه‌ای ($\mu mol\ Co_2\ m^{-2}S^{-1}$)		شاخص تغییرات کلروفیل		هدایت روزنه‌ای ($\mu mol\ Co_2\ m^{-2}S^{-1}$)	
	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش	شاهد	تنش
SLM046	۴۱/۳۳۳^{b}	۴۵/۱۰۰^{b}	۲۸۴/۳^{a}	۱۷۳/۳^{cde}	۴۰/۰۳^{c}	۵۶/۴۰^{a}	۲۱۷/۶۷^{a}	۱۱۰/۳۳^{b}
Tassilo	۴۸/۴۶۷^{ab}	۵۷/۱۶۷^{a}	۱۶۳/۰^{ab}	۱۲۶/۰^{a}	۴۶/۳۷^{bc}	۵۸/۱۷^{a}	۲۱۹/۳۳^{a}	۹۸/۰۰^{b}
Karun	۴۵/۴۶۷^{ab}	۵۷/۳۰۰^{a}	۲۳۲/۳^{abc}	۱۴۹/۰^{ae}	۴۸/۵۳^{b}	۵۲/۵۲^{ab}	۱۸۸/۶۷^{a}	۹۳/۰۰^{b}
Adriana	۴۳/۴۶۷^{b}	۵۱/۲۳۳^{ab}	۲۵۵/۰^{ab}	۱۴۱/۳^{de}	۴۵/۲۰^{bc}	۴۶/۱۷^{bc}	۲۱۱/۳۳^{a}	۸۱/۰۰^{b}
Cooper	۴۲/۹۳۳^{b}	۴۹/۶۳۳^{ab}	۲۵۶/۷^{ab}	۹۷/۰^{e}	۴۵/۰۷^{bc}	۵۱/۵۷^{ab}	۲۲۶/۶۷^{a}	۸۹/۶۷^{b}
Lilian	۴۷/۲۳۳^{ab}	۴۹/۸۰۰^{ab}	۲۱۸/۰^{bc}	۱۳۶/۸^{de}	۴۵/۰۷^{bc}	۵۱/۵۰^{ab}	۱۹۸/۰۰^{a}	۶۸/۶۷^{b}
میانگین	۴۴/۸۱۷	۵۱/۷۰۶	۲۵۱/۶	۱۳۷/۲	۴۵/۰۴	۵۲/۷۲	۲۱۰/۲۸	۹۰/۱۱

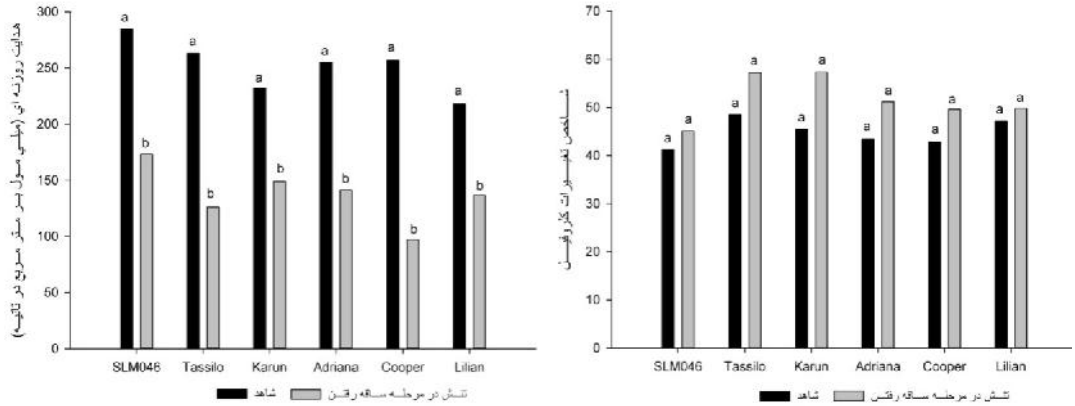
در هر ردیف و برای هر صفت، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم در شرایط شاهد و تنش خشکی ندارند.

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات مورفولوژیک در ارقام تجاری کلزا تحت تنش آبی در شرایط مزرعه‌ای

Table 3. Variance analysis some of morphological traits in canola commercial cultivars under water stress at farming condition

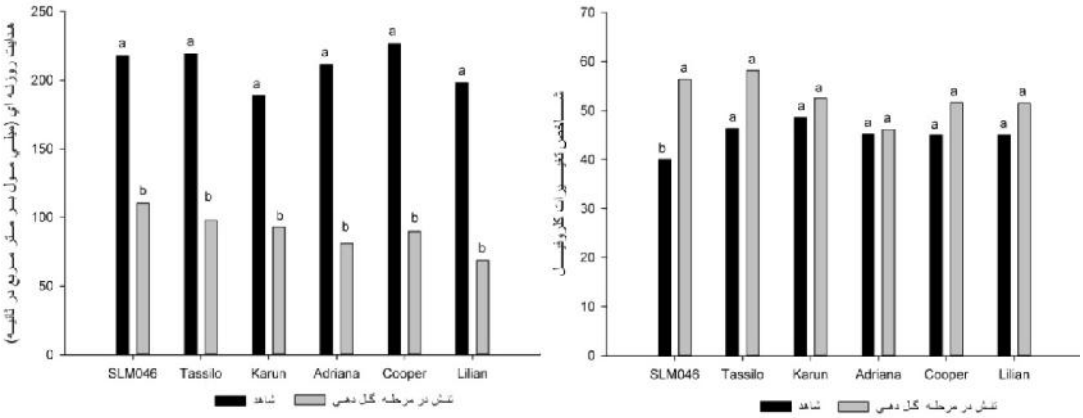
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		تعداد روز تا شروع گل‌دهی	تعداد روز تا شروع خورجین‌دهی	تعداد روز تا رسیدن	ارتفاع بوته	تعداد دانه در ۲۰ خورجین	وزن دانه در ۲۰ خورجین	وزن هزاردانه	عملکرد
تکرار	۲	۲۴/۵۷^{ns}	۲۱/۹۱^{ns}	۲۴/۲۲^{ns}	۵۵/۱۳^{ns}	۱۱۵۵۰/۳۵^{ns}	۰/۳۲۸*	۰/۰۶۱^{ns}	۳۷۲۸/۵۸^{ns}
تنش خشکی	۲	۵۸/۳۰^{ns}	۵۴/۱۳^{ns}	۶۶/۷۲^{ns}	۱۶۰۰/۲۴^{ns}	۵۵۸/۹۱^{ns}	۰/۲۳۲^{ns}	۰/۰۳۳^{ns}	۲۴۱۷۲۷۵/۶**
خطای a	۴	۲۰/۸۰	۲۱/۳۸	۴۲/۸۶	۵۶۹/۳۲	۳۱۴۳/۳۸	۰/۰۳۹	۰/۱۴۱	۵۰۲۱/۶۳
رقم	۵	۱۱۱۱**	۵۲۲/۷۷**	۳۳۰/۹۸**	۳۹۹/۸۵**	۸۱۷۴/۸۶^{ns}	۰/۲۱۸^{ns}	۰/۵۳۱*	۷۷۸۹۳۵/۷**
رقم × تنش خشکی	۱۰	۳۰/۶۵^{ns}	۳۰*	۱۴/۹۷^{ns}	۴۸/۴۰^{ns}	۸۳۸۶/۹۷^{ns}	۰/۰۸۲^{ns}	۰/۱۴۹^{ns}	۱۴۲۷۳۸/۵**
خطای b	۳۰	۱۴/۲۸	۱۳/۱۱	۱۹/۵۲	۵۰/۹۵	۶۳۹۸/۰۴	۰/۱۲۳	۰/۱۴۷	۶۴۷۲/۹
ضریب تغییرات (٪)		۲/۸۲	۲/۵۴	۲/۱۵	۵/۸۵	۲۴/۸۰	۳۴/۰۱	۱۱/۴۲	۶/۳۷

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد



شکل ۱- نمودار شاخص تغییرات کلروفیل و هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش در مرحله ساقه‌رفتن (میانگین‌های دارای حروف مشابه برای هر ژنوتیپ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفته است)

Figure 1. Diagram of chlorophyll changes index and stomata conductance under stress at stem elongation stage (The means followed by a common letter for each genotype are not significantly different based on the Multiple Duncan's Range Test at 5% level of probability)



شکل ۲- نمودار شاخص تغییرات کلروفیل و هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی (میانگین‌های دارای حروف مشابه برای هر ژنوتیپ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفته است)

Figure 2. Diagram of chlorophyll changes index and stomata conductance under stress at flowering stage (The means followed by a common letter for each genotype are not significantly different based on the Multiple Duncan's Range Test at 5% level of probability)

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های برخی صفات مورفولوژیک ارقام کلزا در سطوح تنش خشکی (مراحل ساقه‌رفتن و گل‌دهی) و شاهد

Table 4. Mean comparison some of morphological traits in canola cultivars under water stress (stem elongation and flowering stages) and control

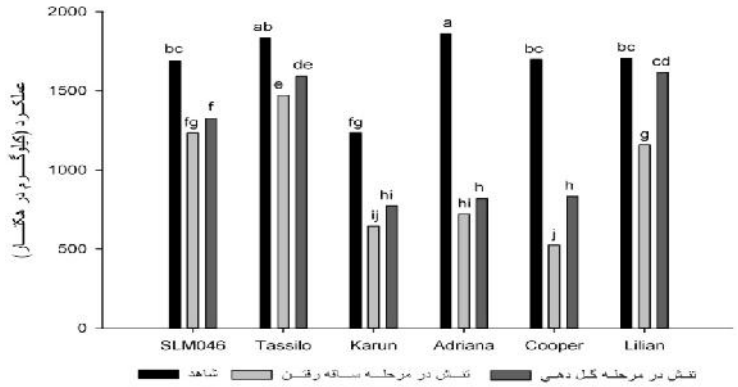
ژنوتیپ‌ها	سطح تنش	تعداد روز تا شروع گل‌دهی	تعداد روز تا شروع خورجین‌بندی	تعداد روز تا رسیدن	ارتفاع بوته (cm)	تعداد دانه در ۲۰ خورجین	وزن دانه در ۲۰ خورجین (g)	وزن هزاردانه (g)	عملکرد ($kg\ h^{-1}$)
SLM046	بدون تنش (شاهد)	۱۱۰/۳^{a}	۱۲۸/۳^{a}	۱۹۳/۷^{a}	۱۲۱^{cdef}	۳۵۰^{ab}	۱/۰۴۷^{a}	۳/۴۱۳^{abcd}	۱۶۸۸/۷^{bc}
Tassilo		۱۴۲/۰^{a}	۱۴۵/۳^{a}	۲۱۰/۳^{a}	۱۳۰^{abc}	۳۶۷^{ab}	۰/۷۵۳^{ab}	۳/۰۱۷^{bcd}	۱۸۳۲/۰^{ab}
Karun		۱۴۳/۳^{a}	۱۵۱/۳^{a}	۲۱۰/۳^{a}	۱۴۰^{a}	۳۴۶^{ab}	۱/۰۴۰^{ab}	۳/۲۸۰^{abcd}	۱۲۳۵/۰^{fg}
Adriana		۱۳۶/۳^{a}	۱۴۴/۰^{a}	۲۰۳/۰^{a}	۱۴۰a	۳۱۳^{ab}	۰/۸۷۷^{ab}	۳/۵۷۰^{abcd}	۱۸۶۳/۳^{a}
Cooper		۱۲۷/۰^{a}	۱۳۶/۳^{a}	۲۱۱/۰^{a}	۱۳۸^{ab}	۳۰۶^{ab}	۰/۸۲۷^{ab}	۳/۴۸۰^{abcd}	۱۶۹۷/۷^{bc}
Lilian		۱۳۱/۳^{a}	۱۴۰/۰^{a}	۲۰۸/۷^{a}	۱۲۹^{abc}	۲۸۲^{b}	۰/۸۶۳^{ab}	۳/۶۸۳^{ab}	۱۷۰۳/۰^{bc}
میانگین		۱۳۱/۷	۱۴۰/۹	۲۰۶/۲	۱۳۲/۹	۳۲۷/۳	۰/۹۰۱	۳/۴۰۷	۱۶۶۹/۹
SLM046	تنش در مرحله ساقه‌رفتن	۱۱۲/۷^{a}	۱۲۸/۳^{a}	۱۹۳/۳^{a}	۱۱۲^{efg}	۲۹۹^{b}	۱/۲۲۰^{ab}	۳/۶۶۰^{abc}	۱۲۳۴/۳^{fg}
Tassilo		۱۴۱/۷^{a}	۱۴۹/۷^{a}	۲۰۱/۰^{a}	۱۱۶^{cdefg}	۳۵۱^{ab}	۱/۱۲۷^{ab}	۲/۹۱۳^{cd}	۱۴۷۰/۷^{e}
Karun		۱۴۱/۷^{a}	۱۵۱/۳^{a}	۲۰۵/۷^{a}	۱۱۷^{cdefg}	۳۳۲^{ab}	۰/۹۸۰^{ab}	۳/۴۶۷^{abcd}	۶۴۳/۳^{ij}
Adriana		۱۳۵/۳^{a}	۱۴۳/۷^{a}	۲۰۳/۷^{a}	۱۲۶^{bcd}	۳۰۹^{ab}	۰/۹۲۳^{ab}	۳/۰۵۷^{abc}	۷۲۲/۳^{hi}
Cooper		۱۴۱/۳^{a}	۱۴۸/۳^{a}	۲۱۰/۷^{a}	۱۲۵^{bcd}	۲۸۷^{b}	۱/۱۰۷^{ab}	۳/۳۲۳^{abcd}	۵۲۵/۳^{j}
Lilian		۱۳۷/۰^{a}	۱۴۴/۳^{a}	۲۰۳/۰^{a}	۱۰۶^{g}	۳۲۱^{ab}	۱/۳۰۳^{ab}	۳/۵۴۳^{abcd}	۱۱۵۹/۳^{g}
میانگین		۱۳۴/۹	۱۴۴/۳	۲۰۲/۹	۱۱۷/۲	۳۱۶/۴	۱/۱۱	۳/۳۲۷	۹۵۹/۳
SLM046	تنش در مرحله گل‌دهی	۱۱۳/۷^{a}	۱۲۸/۰^{a}	۱۹۳/۷^{a}	۱۰۹^{fg}	۴۵۹^{a}	۱/۵۰۷^{ab}	۳/۸۸۳^{a}	۱۳۲۶/۳^{f}
Tassilo		۱۴۳/۷^{a}	۱۵۰/۷^{a}	۲۱۰/۰^{a}	۱۱۱^{efg}	۳۲۷^{ab}	۰/۹۶۷^{ab}	۳/۲۱۳^{abcd}	۱۵۹۳/۰^{de}
Karun		۱۴۱/۳^{a}	۱۴۵/۳^{a}	۲۰۹/۷^{a}	۱۱۲^{efg}	۲۳۱^{b}	۰/۷۹۳^{ab}	۳/۳۱۳^{abcd}	۷۷۲/۰^{hi}
Adriana		۱۳۶/۰^{a}	۱۴۴/۳^{a}	۲۰۷/۰^{a}	۱۲۳^{cde}	۲۴۶^{b}	۰/۷۷۰^{b}	۲/۸۶۰^{a}	۸۱۸/۰^{n}
Cooper		۱۳۸/۰^{a}	۱۴۶/۰^{a}	۲۱۱/۰^{a}	۱۲۶^{bcd}	۳۳۱^{ab}	۱/۰۷۳^{b}	۳/۱۲۷^{abcd}	۸۳۱/۷^{h}
Lilian		۱۳۵/۷^{a}	۱۴۵/۰^{a}	۲۲۰۶/۳^{a}	۱۱۵^{defg}	۳۵۱^{ab}	۱/۳۸۳^{b}	۳/۶۵۰^{abc}	۱۶۱۵/۳^{cd}
میانگین		۱۳۴/۷	۱۴۳/۲	۲۰۶/۳	۱۱۶/۱۱	۳۲۳/۹	۱/۰۸۲	۳/۳۴۱	۱۱۵۹/۴

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم در شرایط شاهد و تنش خشکی (مرحله ساقه‌رفتن و گل‌دهی) ندارند

بین ارقام مورد بررسی در شرایط تنش و بدون‌تنش از نظر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری وجود داشت و تفاوتی بین ارقام از نظر صفات تعداد روز تا شروع گل‌دهی، تعداد روز تا شروع خورجین‌بندی، تعداد روز رسیدن، وزن هزار دانه، تعداد دانه در ۲۰ خورجین و وزن دانه در ۲۰ خورجین مشاهده نشد (جدول ۴).

معنی‌دار شدن اثر متقابل رقم × تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد که عملکرد ارقام در شرایط مختلف تنش با هم متفاوت است (جدول ۳). با توجه به شکل ۳ بیش‌ترین عملکرد دانه در همه محیط‌ها مربوط به رقم Tassilo بود. از طرفی بین ارقام Tassilo و Adriana در سطح شاهد، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و بیش‌ترین عملکرد در سطح شاهد مربوط به این دو رقم بود (جدول ۴). در حالی که در هر دو سطح تنش، بین این دو رقم اختلاف معنی‌داری وجود داشت و این حاکی از اثر متقابل بین ارقام و تنش محیطی است. کم‌ترین عملکرد دانه در شرایط تنش در مرحله ساقه‌رفتن نیز مربوط به ارقام Cooper و Karun بود. هم‌چنین شکل ۳ نشان داد که بین ارقام در دو سطح تنش در مرحله ساقه‌رفتن و گل‌دهی تفاوت معنی‌دار وجود دارد. مقایسه میانگین شاخص‌های تحمّل به خشکی در شرایط تنش و بدون‌تنش با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد (جدول ۵). در این تحقیق شدت تنش (SI) در شرایط تنش در مرحله ساقه‌رفتن ۰/۴۳ و در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی ۰/۳۱ برآورد شد. برمبنای شاخص تحمّل (TOL) و شاخص حساسیت به خشکی (SSI)، کم‌ترین مقدار این شاخص‌ها در مرحله تنش در ابتدای مرحله ساقه‌رفتن مربوط به ژنوتیپ‌های Tassilo، SLM046 و Lilian بود و بیش‌ترین مقدار این شاخص‌ها در این مرحله مربوط به ارقام Cooper و Adriana بود (جدول ۵).

براساس این دو شاخص، ژنوتیپ‌هایی که دارای کم‌ترین مقدار باشند حساسیت کم‌تری نسبت به تنش دارند و ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش کاهش عملکرد کم‌تری نسبت به شرایط بدون‌تنش دارند. برمبنای این شاخص‌ها ممکن است ژنوتیپ‌هایی انتخاب شوند که دارای عملکرد پایین در شرایط بدون‌تنش و عملکرد بالا در شرایط تنش باشند (۱۲). بنابراین ممکن است این شاخص‌ها در تمایز ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا کارایی کم‌تری داشته باشند. در ضمن با توجه به مقدار پایین این شاخص‌ها، ژنوتیپ‌ها باید دارای عملکرد مناسب در شرایط تنش و بدون‌تنش باشند. همان‌طور که نتایج نشان داد رقم Tassilo دارای عملکرد بالا نسبت به سایر ارقام در شرایط تنش و بدون‌تنش بود و رقم Cooper دارای عملکرد پایین در شرایط تنش و بدون‌تنش بود (جدول ۵)



شکل ۳- نمودار اثر متقابل رقم × تنش خشکی بر عملکرد دانه در ۶ رقم کلزا در شرایط بدون‌تنش و تنش در مراحل ساقه‌رفتن و گل‌دهی (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه برای هر ژنوتیپ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفته است)

Figure 3. Diagram of cultivar × drought stress interaction on seed yield for six canola cultivar under non-stress and stress at stem elongation and flowering stages (The means followed by a common letter for each genotype are not significantly different based on the Multiple Duncan's Range Test at 5% level of probability)

نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های تحمّل به خشکی در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی (جدول ۵) نشان داد که کم‌ترین میزان شاخص TOL مربوط به رقم Lilian و کم‌ترین مقدار شاخص SSI مربوط به ژنوتیپ‌های Lilian و Tassilo است. درحالی که بیش‌ترین مقدار این دو آماره مربوط به ژنوتیپ‌های Adriana و Cooper بود. در این میان رقم Adriana دارای عملکرد بالا در شرایط بدون‌تنش و عملکرد پایین در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی بود ولی رقم Lilian دارای عملکرد بالا در شرایط تنش و عملکرد متوسط در شرایط بدون‌تنش بود (جدول ۵). همین موضوع باعث شده است که از نظر شاخص‌های TOL و SSI جزء بهترین ژنوتیپ‌ها باشد. شاخص SSI برای اصلاح تحت تنش‌هایی با شدت کم مناسب می‌باشد، در صورتی‌که شاخص‌های MP، GMP و STI برای تنش‌هایی با شدت بالا پیشنهاد می‌شوند (۲۶).

ژنوتیپ Tassilo بالاترین مقادیر میانگین تولید (MP)، میانگین هندسی عملکرد (GMP)، میانگین هارمونیک عملکرد (HM) و شاخص تحمّل به خشکی (STI) در شرایط تنش در مرحله ساقه‌رفتن را داشتند و ژنوتیپ‌های SLM046 و Lilian در مرتبه بعدی قرار گرفتند. هم‌چنین ژنوتیپ Tassilo، همان‌طور که بیان شد، بیش‌ترین عملکرد را در شرایط تنش و بدون‌تنش را داشت و بعد از آن ژنوتیپ‌های SLM046 و Lilian قرار داشتند (جدول ۵). براساس این پارامترها، ژنوتیپی که بیش‌ترین مقدار این شاخص‌ها را داشته باشد مطلوب است و جزء ژنوتیپ‌های متحمّل به تنش محسوب می‌شوند. ژنوتیپ‌های Karun و Cooper کم‌ترین مقادیر شاخص‌های MP، GMP، HM و STI را به‌خود اختصاص دادند. هم‌چنین هر دو ژنوتیپ دارای عمکرد پایین در شرایط تنش و بدون‌تنش بودند (جدول ۵). از نظر فرناندز (۱۲) شاخص STI قادر به گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمّل به تنش است و شاخص میانگین هندسی عملکرد کم‌تر تحت تأثیر ارزش نهایی صفات است و می‌تواند ژنوتیپ‌های گروه A را از بقیه جدا کند (۲۹).

شاخص‌های MP، GMP، HM و STI در مرحله تنش گل‌دهی نشان دادند که ارقام Lilian و Tassilo بیش‌ترین مقدار شاخص‌ها را دارا می‌باشند. ژنوتیپ Karun کم‌ترین میزان این شاخص‌ها را به‌خود اختصاص داده و هم چنین دارای عملکرد پایین در هر دو شرایط تنش و بدون‌تنش بود (جدول ۵). امیری اوغان و همکاران (۲)، در بررسی وراثت‌پذیری شاخص‌های تحمّل به خشکی در کلزا، بیان نمودند که شاخص میانگین تولید (MP)، به علت داشتن تنوع ژنتیکی بالا، قابلیت توارث بالا و نیز همبستگی معنی‌دار با عملکرد دانه برای گزینش ارقام متحمّل به تنش خشکی مناسب می‌باشد. در تحقیق نعیمی و همکاران (۲۱)، شاخص‌های MP، GMP و STI جزء بهترین شاخص‌ها برای گزینش و تعیین ارقام متحمّل به تنش آخر فصل در بین ارقام کلزا معرفی شدند. ولی فرناندز (۱۲)، شاخص MP را جزء شاخص‌های با کارایی پایین معرفی نمود و بیان نمود که این شاخص نمی‌تواند ژنوتیپ‌های متحمّل با عملکرد بالا را به‌طور هم‌زمان در شرایط تنش و بدون‌تنش، تفکیک نماید.

شاخص تحمّل به خشکی (STI) قادر است ژنوتیپ‌هایی را که در هر دو شرایط تنش و بدون‌تنش عملکرد بالایی دارند (گروه A) را از دو گروه ژنوتیپی که فقط در شرایط بدون‌تنش (گروه B) و یا فقط در شرایط تنش (گروه C) عملکرد نسبتاً بالایی دارند را تفکیک نماید. هم‌چنین فرناندز (۱۲)، شاخص‌های STI و GMP را به‌علت همبستگی با عملکرد در شرایط تنش و بدون‌تنش، به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌های گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد مناسب، قابل توصیه است.

برمبنای شاخص تولید در شرایط بدون‌تنش و تنش (SNPI) که مقاومت نسبی ژنوتیپ‌ها را نسبت به شرایط تنش نشان می‌دهد (موسوی و همکاران، ۲۰۰۸)، بیش‌ترین مقدار شاخص SNPI در شرایط تنش در مرحله ساقه‌رفتن، متعلق به

ژنوتیپ Tassilo و کم‌ترین مقدار مربوط به ژنوتیپ‌های Cooper و Karun بود. در این شاخص ژنوتیپ‌هایی که دارای مقدار SNPI بیش‌تر باشند، دارای مقاومت نسبی به خشکی بوده و ژنوتیپ‌هایی که دارای مقدار SNPI کم‌تر باشند، ژنوتیپ‌هایی با حساسیت نسبی به خشکی معرفی می‌شوند. هم‌چنین از نظر شاخص تحمّل غیرزیستی (ATI)، کم‌ترین مقدار آن متعلق به ژنوتیپ‌های Karun، SLM046، Tassilo و Lilian بود و ژنوتیپ‌های Tassilo، SLM046 و Lilian کم‌ترین مقدار شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI) را داشتند. مطابق با شاخص‌های ATP و SSPI، ژنوتیپ‌های Adriana و Cooper بیش‌ترین مقدار این دو شاخص را داشتند (جدول ۵). مطابق با شاخص‌های ATP و SSPI ژنوتیپ‌هایی که کم‌ترین مقدار را دارند ژنوتیپ‌های متحمّل به تنش معرفی می‌شوند. از طرفی ژنوتیپ Tassilo بیش‌ترین مقدار عملکرد را شرایط تنش در مرحله ساقه‌رفتن و شرایط بدون‌تنش داشت و ژنوتیپ‌های Cooper و Karun کم‌ترین مقدار عملکرد را در شرایط تنش داشتند (جدول ۵). از نظر موسوی و همکاران (۲۰)، شاخص‌های ATI و SSPI، می‌توانند ژنوتیپ‌های دارای تحمّل نسبی در شرایط تنش را تفکیک کنند و بنابراین ابزاری قوی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمّل به تنش می‌باشند.

بر مبنای شاخص‌های ATI و SSPI، کم‌ترین مقدار این دو شاخص در مرحله تنش گل‌دهی مربوط به ژنوتیپ Lilian و بیش‌ترین مقدار از نظر شاخص ATI مربوط به ژنوتیپ Cooper و از نظر شاخص SSPI مربوط به ژنوتیپ Adriana بود. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار شاخص SNPI مربوط به ژنوتیپ Lilian و کم‌ترین مقدار آن مربوط به ژنوتیپ‌های Karun، Cooper و Adriana بود. از طرفی ژنوتیپ Lilian بیش‌ترین عملکرد را در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت و ژنوتیپ‌های Cooper، Adriana و Karun به‌ترتیب کم‌ترین عملکرد در شرایط تنش گل‌دهی را به‌خود اختصاص دادند و این درحالی است که ژنوتیپ Adriana و Tassilo بیش‌ترین عملکرد را در شرایط بدون‌تنش و ژنوتیپ Karun، کم‌ترین مقدار عملکرد را در شرایط بدون‌تنش داشت (جدول ۵). موسوی و همکاران (۲۰)، بیان کردند که شاخص SNPI ژنوتیپ‌های مناسب با عملکرد بالا و پایدار در شرایط تنش و بدون‌تنش را معرفی می‌کند.

بر مبنای شاخص خشکی نسبی (RDI)، ژنوتیپ‌های Tassilo و SLM046 بیش‌ترین مقدار و ژنوتیپ‌های Adriana و Cooper کم‌ترین مقدار را در شرایط تنش ساقه‌رفتن را به‌خود اختصاص دادند. هم‌چنین ژنوتیپ Lilian و Tassilo بیش‌ترین مقدار RDI و کم‌ترین مقدار را ژنوتیپ‌های Adriana و Cooper، در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی داشتند (جدول ۵). برمبنای شاخص خشکی نسبی، ژنوتیپ‌هایی که بیش‌ترین مقدار را داشته باشند به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمّل به خشکی معرفی می‌شوند (۱۲).

از نظر شاخص درصد کاهش عملکرد (R%)، کم‌ترین مقدار متعلق به ژنوتیپ‌های Tassilo و SLM046 و بیش‌ترین مقدار مربوط به ژنوتیپ‌های Adriana و Cooper در شرایط تنش در مرحله ساقه‌رفتن بود. هم‌چنین در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی، کم‌ترین مقدار شاخص درصد کاهش عملکرد، مربوط به ژنوتیپ‌های Lilian و Tassilo و بیش‌ترین مقدار متعلق به ژنوتیپ‌های Adriana و Cooper بود (جدول ۵). در این شاخص هر چه تفاوت عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون‌تنش کم‌تر باشد پایداری بالای عملکرد در هر دو محیط تنش و بدون‌تنش را نشان می‌دهد. باید توجه داشت که کم‌بودن شاخص درصد کاهش عملکرد (R%)، هر چند ثبات عملکرد را نشان می‌دهد ولی ممکن است به خاطر پایین بودن عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط باشد. بنابراین باید در کنار این شاخص، حتماً توجه به عملکرد در شرایط تنش و بدون‌تنش داشت.

با توجه به شاخص پایداری عملکرد (YSI) و شاخص عملکرد (YI) ژنوتیپ‌های Lilian و Tassilo بیش‌ترین مقدار این شاخص‌ها را داشتند و ژنوتیپ‌های Karun، Adriana و Cooper کم‌ترین مقدار را در شرایط تنش گل‌دهی به خود اختصاص دادند (جدول ۵). در شاخص YSI مقادیر بیش‌تر از واحد نشان‌دهنده حساسیت ژنوتیپ و پایداری پایین عملکرد در شرایط تنش می‌باشد. شاخص YSI و درصد کاهش عملکرد، ارقام را در جهت عکس یک‌دیگر گزینش می‌کنند. به‌عبارت دیگر رقمی که توسط شاخص YSI به‌عنوان رقمی با پایداری بالای عملکرد در شرایط تنش معرفی می‌شود، از پایین‌ترین میزان تغییر و یا کاهش عملکرد برخوردار می‌باشد. در واقع شاخص YSI نشان‌دهنده میزان مقاومت ژنتیکی رقم به تنش خشکی می‌باشد و در نتیجه ژنوتیپی با میزان YSI بالا، باید عملکرد بالایی در هر دو محیط تنش و بدون‌تنش داشته باشد. از نظر سی و سه مرده و همکاران (۲۶)، با توجه به این‌که شاخص عملکرد از نسبت عملکرد رقم در شرایط تنش به میانگین عملکرد کلیه ارقام در شرایط تنش محاسبه می‌شود، بنابراین موجب رتبه‌بندی ارقام بر حسب میزان عملکرد تولیدی آن‌ها در محیط تنش می‌گردد. مطابق نظر گاووازی و همکاران (۱۵) شاخص YI برای گزینش ارقام گروه A بازده ندارد. در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی، بیش‌ترین مقدار YSI مربوط به ژنوتیپ‌های Tassilo و SLM046 و بیش‌ترین مقدار YI مربوط به ژنوتیپ Tassilo بود (جدول ۵).

به‌منظور شناسایی بهتر ژنوتیپ‌ها از نظر تحمّل به خشکی، محققان سعی می‌کنند از روش‌های مختلف استفاده کنند و در این تحقیق با استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)، از همه شاخص‌ها به‌طور هم‌زمان برای بررسی حساسیت یا تحمّل ژنوتیپ‌ها به تنش استفاده شد. برای آشنایی با روش محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل، مراحل محاسبه آن برای شرایط تنش در مرحله ساقه‌رفتن در جدول‌های ۶ و ۷ آورده شده است. ولی برای شرایط تنش در مرحله گل‌دهی تنها جدول نهایی (جدول ۷) که همان مقدار SIIG و فواصل از ژنوتیپ‌های ایده‌آل و غیر ایده‌آل آورده شده است. در جدول ۶، مقادیر نرمال شده شاخص‌های تحمّل به خشکی و هم‌چنین مقادیر ژنوتیپ‌های ایده‌آل و غیر ایده‌آل برای شرایط تنش در مرحله ساقه رفتن آورده شده است.

با توجه به اینکه مقدار شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)، بین صفر و یک است و ژنوتیپ‌هایی که مقدار آن نزدیک به یک باشد جزء برترین ژنوتیپ‌ها معرفی می‌شوند و ژنوتیپی‌هایی که مقدار SIIG آن نزدیک به صفر باشد، جزء ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته می‌شوند. همان‌طور که مشاهده می‌شود (جدول ۷) رقم Tassilo کم‌ترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (۰/۰۵۷=d_i^+) و بیش‌ترین فاصله را از ژنوتیپ غیر ایده‌آل (۱/۹۳۵=d_i^-) را نسبت به سایر ارقام دارد بر همین اساس، رقم Tassilo با SIIG=۰/۹۷۱ (نزدیک به یک)، متحمّل‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی، معرفی شد و از طرفی رقم Cooper، بیش‌ترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (۱/۳۸۲= d_i^+) و کم‌ترین فاصله از ژنوتیپ غیر ایده‌آل (۰/۰۰۴=d_i^-) را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارد. بنابراین رقم Cooper با SIIG= ۰/۰۰۳ جزء حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش در مرحله ساقه‌رفتن شناخته شد و بعد از آن ژنوتیپ Adriana با SIIG= ۰/۰۶۶ در مرتبه بعدی قرار داشت. باید توجه داشت که ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپی است که بیش‌ترین تحمّل و کم‌ترین حساسیت نسبت به خشکی را دارد و ژنوتیپ غیر ایده‌آل در نقطه مقابل قرار دارد و بیش‌ترین حساسیت و کم‌ترین تحمّل را نسبت به خشکی دارد. هم‌چنین ژنوتیپ‌های SLM046 (SIIG=۰/۷۸۶) و Lilian (SIIG=۰/۶۸۱) جزء ژنوتیپ‌های متحمّل در مرتبه بعدی قرار گرفتند (جدول ۷). در شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)، به‌طور هم‌زمان از عملکرد در شرایط تنش و بدون‌تنش و هم‌چنین تمام شاخص‌های تحمّل به خشکی برای انتخاب ژنوتیپ متحمّل استفاده شد. در صورتی که در نمودار سه بعدی از ۳ پارامتر بیش‌تر نمی‌توان استفاده کرد. ولی در این روش می‌توان به‌طور نامحدود از تمام شاخص‌ها براساس نظر محقق استفاده نمود. در واقع شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل، یک روش انتخاب هم‌زمان می‌باشد که کارایی گزینش را افزایش می‌دهد.

در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی ژنوتیپ Lilian دارای کم‌ترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل (۰/۰۰۵=d_i^+) و بیش‌ترین فاصله از ژنوتیپ غیر ایده‌آل (۵/۵۴۱ =d_i^-) نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بود. بنابراین برمبنای روش SIIG، متحمّل‌ترین ژنوتیپ در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی ژنوتیپ Lilian (SIIG=۰/۹۹۹) و بعد از آن ژنوتیپ Tassilo (SIIG=۰/۹۳۰) بود. هم‌چنین ژنوتیپ SLM046 از نظر شاخص SIIG وضعیت مطلوبی داشت (SIIG=۰/۷۹۹) و جزء ژنوتیپ‌های متحمّل به خشکی محسوب شد. از طرفی ژنوتیپ Adriana بیش‌ترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل (۱/۶۱۵=d_i^+) و کم‌ترین فاصله را از ژنوتیپ غیر ایده‌آل (۰/۰۸۷=d_i^-) نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت و بعد از آن ژنوتیپ Cooper قرار گرفت. بنابراین حساس‌ترین ارقام به تنش، ژنوتیپ Adriana (SIIG=۰/۰۵۱) و بعد از آن ژنوتیپ Cooper (SIIG =۰/۱۰۶) بود (جدول ۷). در اینجا نیز مبنای تصمیم‌گیری برای انتخاب ژنوتیپ‌ها، استفاده هم‌زمان از عملکرد در شرایط تنش (Ys) و بدون‌تنش (Yp) و هم‌چنین تمام شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق، بود. زالی و همکاران (۳۰) از شاخص SIIG به‌منظور ادغام روش‌های مختلف تجزیه پایداری پارامتری و ناپارامتری استفاده کردند و بیان نمودند شاخص SIIG یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها برای ادغام صفات یا شاخص‌های مختلف و افزایش کارایی انتخاب است.

شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) یک مدل گزینش‌گر بوده و به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین ژنوتیپ از بین ژنوتیپ‌های موجود در شرایط تنش و بدون‌تنش و یا در محیط‌های مختلف به‌کار می‌رود. محققان می‌توانند از شاخص SIIG، به‌منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها با استفاده از سایر شاخص‌های تحمّل به خشکی، پارامترهای تجزیه پایداری یا صفات مختلف، در سایر گیاهان استفاده کنند. به عبارت‌دیگر با استفاده از روش SIIG می‌توان شاخص‌های تحمّل به خشکی، پارامترهای مختلف تجزیه پایداری یا صفات مختلف را به‌صورت یک شاخص واحد درآورد و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را مطمئن‌تر و دقیق‌تر انجام داد.

جدول ۵- شاخص‌های مختلف تحمّل به خشکی در ۶ رقم کلزا در شرایط تنش آبی در مراحل ساقه‌رفتن و گل‌دهی

Table 5. Drought tolerance different indices for 6 canola cultivar under water stress at stem elongation and flowering stages

تنش در ابتدای مرحله ساقه رفتن تا شروع گل‌دهی															
نام ژنوتیپ	Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	STI	HM	%R	YI	YSI	RDI	ATI	SSPI	SNPI
SLM046	۱۶۸۸/۷^{b}	۱۲۳۴/۳^{b}	۴۵۴^{ab}	۰/۶۲۹^{a}	۱۴۶۲^{b}	۱۴۴۳^{b}	۰/۷۴۸^{b}	۱۴۲۵^{b}	۲۶/۷۷^{ab}	۱/۲۸۷^{b}	۰/۷۳۱^{b}	۱/۲۷۵^{ab}	۱۱۳۵^{a}	۰/۱۳۶a^{b}	۵۲۳۴۷۲^{b}
Tassilo	۱۸۳۲/۰^{a}	۱۴۷۰/۷^{a}	۳۶۱^{a}	۰/۴۶۳^{ab}	۱۶۵۱^{a}	۱۶۴۱^{a}	۰/۹۶۶^{a}	۱۶۳۱^{a}	۱۹/۷۲^{a}	۱/۵۳۳^{a}	۰/۸۰۳^{ab}	۱/۳۹۸^{a}	۱۱۷۵^{a}	۰/۱۰۸^{a}	۷۳۴۴۰۳^{a}
Karun	۱۲۳۵/۰^{c}	۶۴۳/۳^{cd}	۵۹۲^{b}	۱/۱۲۴^{c}	۹۳۹^{e}	۸۹۱^{d}	۰/۲۸۵^{d}	۸۴۵^{d}	۴۷/۸۵^{c}	۰/۶۷۱^{c}	۰/۵۲۱^{c}	۰/۹۰۸^{c}	۹۸۳^{a}	۰/۱۷۷^{b}	۱۷۹۱۶۰^{d}
Adriana	۱۸۶۳/۳^{a}	۷۲۲/۳^{c}	۱۱۴۱^{c}	۱/۴۳۷^{d}	۱۲۹۳^{c}	۱۱۵۲^{c}	۰/۴۸۲^{c}	۱۰۳۰^{c}	۱۶/۱۶^{d}	۰/۷۵۳^{c}	۰/۳۸۸^{d}	۰/۶۷۶^{d}	۱۷۵۸^{b}	۰/۳۴۲^{c}	۲۴۹۰۷۵^{c}
Cooper	۱۶۹۷/۷^{b}	۵۲۵/۷^{d}	۱۱۷۲^{c}	۱/۶۲۲^{d}	۱۱۱۲^{d}	۹۴۵^{d}	۰/۳۲۱^{d}	۸۰۳^{d}	۶۹/۰۳^{d}	۰/۵۴۸^{c}	۰/۳۱۰^{d}	۰/۵۳۹^{d}	۱۷۵۳^{b}	۰/۳۵۱^{c}	۱۶۴۰۱۹^{d}
Lilian	۱۷۰۳/۰^{b}	۱۱۵۹/۳^{b}	۵۴۴^{ab}	۰/۷۴۷^{a}	۱۴۳۱^{b}	۱۴۰۵^{b}	۰/۷۰۸^{b}	۱۳۷۹^{b}	۳۱/۸۰^{b}	۱/۲۰۹^{a}	۰/۶۸۱^{a}	۱/۱۸۷^{b}	۱۱۸۶^{a}	۰/۱۶۳^{ab}	۴۶۳۰۳۵^{b}
میانگین	۱۶۷۰	۹۵۹/۳	۷۱۱	۱/۰۰۴	۱۳۱۵	۱۲۴۶	۱۲۴۶	۱۱۸۶	۴۲/۷۲	۱/۰۰۰	۰/۵۷۲	۰/۹۹۷	۱۳۳۲	۰/۲۱۳	۳۸۵۵۲۷
تنش در ابتدای گل‌دهی تا شروع خورجین دهی															
نام ژنوتیپ	Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	STI	HM	%R	YI	YSI	RDI	ATI	SSPI	SNPI
SLM046	۱۶۸۸/۷^{b}	۱۳۲۶/۳^{b}	۳۶۲^{bc}	۰/۶۹۶^{b}	۱۵۰۸^{b}	۱۴۹۶^{b}	۰/۸۰۳^{b}	۱۴۸۵^{b}	۲۱/۲۸^{b}	۱/۱۴۴^{b}	۰/۷۸۵^{ab}	۱/۱۳۴^{b}	۳۷۸۱۳۳^{b}	۰/۱۰۸^{bc}	۶۱۳۰۵۰^{c}
Tassilo	۱۸۳۲/۰^{a}	۱۵۹۳/۰^{a}	۲۳۹^{b}	۰/۴۲۷^{ab}	۱۷۱۳^{a}	۱۷۰۸^{a}	۱/۰۴۷^{a}	۱۷۰۴^{a}	۱۳/۰۵^{ab}	۱/۳۷۴^{a}	۰/۸۷۰^{a}	۱/۲۵۲^{ab}	۲۸۲۷۶۷^{b}	۰/۰۷۲^{b}	۹۲۹۸۱۶^{b}
Karun	۱۲۳۵/۰^{c}	۷۷۲/۰^{c}	۴۶۳^{c}	۱/۲۲۴^{c}	۱۰۰۴^{a}	۹۷۳^{a}	۰/۳۴۲^{a}	۹۴۴^{a}	۳۷/۴۲^{c}	۰/۶۶۶^{cd}	۰/۶۲۵^{c}	۰/۹۰۱^{c}	۳۰۵۷۷۴^{b}	۰/۱۳۹^{c}	۲۴۳۶۹۳^{d}
Adriana	۱۸۶۳/۳^{a}	۸۱۸/۰^{c}	۱۰۴۵^{e}	۱/۸۳۵^{a}	۱۳۴۱^{c}	۱۲۳۵^{c}	۰/۵۴۷^{c}	۱۱۳۷^{c}	۵۶/۱^{a}	۰/۷۰۶^{c}	۰/۴۳۹^{a}	۰/۶۳۲^{a}	۸۹۶۱۵۸^{c}	۰/۳۱۳^{e}	۲۸۴۴۰۲^{a}
Cooper	۱۶۹۷/۷^{b}	۸۳۱/۷^{c}	۵۶۶^{a}	۱/۶۶۷^{a}	۱۲۶۵^{c}	۱۱۸۸^{c}	۰/۵۰۷^{c}	۱۱۱۶^{c}	۵۰/۹۷^{a}	۰/۷۱۷^{a}	۰/۴۹۰^{a}	۰/۷۰۶^{a}	۷۱۵۷۴۲^{a}	۰/۲۵۹^{a}	۲۸۰۲۸۴^{a}
Lilian	۱۷۰۳/۰^{b}	۱۶۱۵/۳^{c}	۸۸^{a}	۰/۱۶۹^{a}	۱۶۵۹^{c}	۱۶۵۹^{a}	۰/۹۸۹^{a}	۱۶۵۸^{a}	۵/۱۶^{a}	۱/۳۹۳^{b}	۰/۹۵۹^{b}	۱/۳۶۶^{a}	۱۰۱۰۳۴^{a}	۰/۰۲۶^{a}	۱۲۳۰۷۳۰^{a}
میانگین	۱۶۷۰	۱۱۵۹/۴	۵۱۱	۱/۰۰۳	۱۴۱۵^{a}	۱۳۷۶	۰/۷۰۶	۱۳۴۱	۳۰/۶۶	۱/۰۰۰	۰/۶۹۳	۰/۹۹۹	۴۴۶۶۰۱	۰/۱۵۳	۵۹۶۹۹۵

میانگین‌های دارای حروف مشابه برای هر ژنوتیپ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفته است.

جدول ۶- مقادیر نرمال شده (ماتریس R) شاخص‌های مختلف تحمّل به خشکی، مقادیر ژنوتیپ‌های ایده‌آل و ژنوتیپ‌های غیر ایده‌آل در شرایط تنش در مرحله ساقه‌رفتن

Table 6. Normalized values (R matrix) of drought tolerance different indices, ideal genotypes and non-ideal values under stress at stem elongation

نام ژنوتیپ	Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	STI	HM	%R	YI	YSI	RDI	ATI	SSPI	SNPI
SLM046	۰/۴۰۹۷	۰/۴۹۴۰	۰/۲۳۷۵	۰/۲۳۵۶	۰/۴۴۶۸	۰/۴۶۱۹	۰/۴۸۱۶	۰/۴۷۴۸	۰/۲۳۵۶	۰/۴۹۴۰	۰/۴۹۷۴	۰/۴۹۷۷	۰/۳۳۹۲	۰/۲۳۷۵	۰/۴۸۸۴
Tassilo	۰/۴۴۴۵	۰/۵۸۸۶	۰/۱۸۸۹	۰/۱۷۳۴	۰/۵۰۴۸	۰/۵۲۵۳	۰/۶۲۲۳	۰/۵۴۳۴	۰/۱۷۳۵	۰/۵۸۸۶	۰/۵۴۶۳	۰/۵۴۵۷	۰/۳۵۰۹	۰/۱۸۸۹	۰/۶۸۵۲
Karun	۰/۲۹۹۶	۰/۲۵۷۵	۰/۳۰۹۴	۰/۴۲۱۰	۰/۲۸۷۱	۰/۲۸۵۱	۰/۱۸۳۴	۰/۲۸۱۶	۰/۴۲۱۱	۰/۲۵۷۵	۰/۳۵۴۵	۰/۳۵۴۴	۰/۲۹۳۹	۰/۳۰۹۳	۰/۱۶۷۲
Adriana	۰/۴۵۲۱	۰/۲۸۹۱	۰/۵۹۶۶	۰/۵۳۸۳	۰/۳۹۵۲	۰/۳۶۸۷	۰/۳۱۰۴	۰/۳۴۳۰	۰/۵۳۸۳	۰/۲۸۹۱	۰/۲۶۳۸	۰/۲۶۴۰	۰/۵۲۵۲	۰/۵۹۶۶	۰/۲۳۲۴
Cooper	۰/۴۱۱۹	۰/۲۱۰۴	۰/۶۱۲۸	۰/۶۰۷۶	۰/۳۳۹۸	۰/۳۰۲۳	۰/۲۰۶۵	۰/۲۶۷۴	۰/۶۰۷۵	۰/۲۷۹۹	۰/۲۱۰۷	۰/۲۱۰۵	۰/۵۲۳۵	۰/۶۱۲۸	۰/۱۵۳۰
Lilian	۰/۴۱۳۲	۰/۴۶۴۰	۰/۲۸۴۳	۰/۲۷۹۸	۰/۴۳۷۵	۰/۴۴۹۶	۰/۴۵۶۳	۰/۴۵۹۳	۰/۲۷۹۹	۰/۴۵۹۳	۰/۴۶۳۲	۰/۴۶۳۵	۰/۳۵۴۴	۰/۲۸۴۳	۰/۴۳۲۰
مقادیر ژنوتیپ‌های ایده‌آل	۰/۴۵۲۱	۰/۵۸۸۶	۰/۱۸۸۹	۰/۱۷۳۴	۰/۵۰۴۸	۰/۵۲۵۳	۰/۶۲۲۳	۰/۵۴۳۴	۰/۱۷۳۵	۰/۵۸۸۶	۰/۵۴۶۳	۰/۵۴۵۷	۰/۲۹۳۹	۰/۱۸۸۹	۰/۶۸۵۲
مقادیر ژنوتیپ‌های غیر ایده‌آل	۰/۲۹۹۶	۰/۲۱۰۴	۰/۶۱۲۸	۰/۶۰۷۶	۰/۲۸۷۱	۰/۲۸۵۱	۰/۱۸۳۴	۰/۲۶۷۴	۰/۶۰۷۵	۰/۲۷۹۹	۰/۲۱۰۷	۰/۲۱۰۵	۰/۵۲۵۲	۰/۶۱۲۸	۰/۱۵۳۰

مقادیری که زیر آنها خط کشیده شده است مقادیر ژنوتیپ‌های غیر ایده‌آل از نظر شاخص‌های مربوطه می‌باشند.

جدول ۷- مقادیر شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) و فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل ($\bar{d}^+$) و فاصله از ژنوتیپ‌های غیر ایده‌آل ($\bar{d}^-$) و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در مراحل تنش در مراحل ساقه‌رفتن و گل‌دهی

Table 7. Values of selection index of ideal genotype (SIIG) and distance of ideal genotypes ($\bar{d}^+$) and non-ideal genotypes ($\bar{d}^-$) and ranking of genotypes under stress and non-stress stages

تنش در مرحله ابتدای ساقه‌رفتن				تنش در مرحله ابتدای گل‌دهی			
نام ژنوتیپ‌ها	$\bar{d}^+$ (فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل)	$\bar{d}^-$ (فاصله از ژنوتیپ‌های غیر ایده‌آل)	SIIG	رتبه	$\bar{d}^+$ (فاصله از ژنوتیپ‌های ایده‌آل)	$\bar{d}^-$ (فاصله از ژنوتیپ‌های غیر ایده‌آل)	SIIG	رتبه
SLM046	۰/۳۳۱	۱/۲۲۰	۰/۷۸۷	۲	۰/۶۱۳	۲/۴۴۱	۰/۷۹۹	۳
Tassilo	۰/۰۵۷	۱/۹۳۵	۰/۹۷۱	۱	۰/۳۰۲	۴/۰۱۳	۰/۹۳۰	۲
Karun	۱/۰۵۰	۰/۳۵۳	۰/۲۵۲	۴	۱/۱۳۲	۱/۲۵۱	۰/۵۲۵	۴
Adriana	۱/۱۷۰	۰/۰۷۵	۰/۰۶۰	۵	۱/۶۱۵	۰/۰۸۷	۰/۰۵۱	۶
Cooper	۱/۳۸۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۶	۱/۴۲۹	۰/۱۶۹	۰/۱۰۶	۵
Lilian	۰/۴۴۷	۰/۹۵۵	۰/۶۸۱	۳	۰/۰۰۵	۵/۵۴۱	۰/۹۹۹	۱

تشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر بهرام علیزاده دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به جهت راهنمایی‌های ارزنده در زمینه استفاده بهتر از تکنیک SIIG و تهیه بذور این تحقیق و هم‌چنین از جناب آقای دکتر سید علی طباطبائی، صمیمانه کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع

1. Ahmadi, A. and D.A. Baker. 1998. Stomatal and non stomatal photosynthesis limitation factors on wheat under drought condition. Iranian Journal Agricultural Science, 31: 813-825 (In Persian).
2. Amiri-Oghan, H., M. Moghaddam, M.R. Ahmadi and S.J. Davari. 2004. Gene action and heritability of drought stress tolerance indices in rapeseed (*Brassica napus*). Iranian Journal Agriccultural Science, 35: 73-83 (In Persian).
3. Artemios, M.B. and G. Kofidis. 2002. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. Plant Science, 163: 375-379.
4. Bansal, K.C. and S.K. Sinha. 1991. Assessment of draught resistance in 20 accessions of Triticum aestivum and related species. I. Total dry matter and grain yield stability. Euphytica, 56: 7-14.
5. Blum, A. 1988. Plant Breeding for Stress Environments. CRC Press, Boca Raton, FL. Pp. 223.
6. Bouslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937.
7. Choukan, R., T. Taherkhani, M.R. Ghannadha and M. Khodarahmi. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. Iranian Journal Agricultural Science, 8: 79-89.
8. Cornic, C. and A. Massacci. 1996. Leaf photosynthesis under drought stress. In: Photosynthesis and environment. Ed. Baker, N. R. Kluwer Acad. Publs, 347-366.
9. Davies, W.J. and J. Zhang. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plant in drying soil. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molecular Biology, 42: 55-76.
10. Dehghani, G., F. Malek shhi and B.A. Alizadeh. 2009. Study of Drought Tolerance Indices in Canola (*Brassica napus* L.) Genotypes. JWSS - Isfahan University of Technology, 13: 77-90 (In Persian).
11. Eberhart, S.A. and W.A. Russel. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science, 6: 36-40.
12. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo CG, ed. Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Shanhua: Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan, Publ. No. 93-410, 257-270.
13. Fischer, R.A. and T. Wood. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III. Yield association with morphological traits. Australian Journal of Agricultural Research, 30: 1001-1020.
14. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research, 29: 897-912.
15. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R.G. Campaline, G.L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. Canadian Journal Plant Science, 77: 523-531.
16. Hwang, C.L. and K.P. Yoon. 1981. Multiple attribute decision making methods and applications. Springer, New York.
17. Liang, J.S., J. Zhang and M.H. Wong. 1997. Can stomatal closure caused by xylem ABA explain the inhibition of leaf photosynthesis under soil drying? Photosynthesis Research, 51: 149-159.
18. Liu, L. and H. Stutzel. 2002. Biomass partitioning, specific leaf area and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus spp.*) in response to drought stress. Scientia Horticulturae, 102: 15-27.
19. Mitchell, R.A., V.J. Mitchell and D.W. Lawlor. 2001. Response of wheat canopy CO2 and water gas exchange to soil water content under ambient and elevated CO2. Global Change Biology, 7: 599-611.

20. Moosavi, S.S., B. Yazdi Samadi, M.R. Naghavi, A.A. Zali, H. Dashti and A. Pourshahbazi. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. DESERT, 12: 165-178.
21. Naeemi, M., Gh.A. Akbari, A.H. Shirani Rad, S.A.M. Modares Sanavi, Sadat, S.A. Nuri and H. Jabari, 2008. Evaluation of drought tolerance in different Canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. European Journal of Cancer Prevention, 1: 83-98.
22. Qifuma, Sh., R. Niknam and D.W. Turner. 2006. Responses of osmotic adjustment and seed yield of Brassica napus and *B. juncea* to soil water deficit at different growth stages. Australian Journal of Agricultural Research, 57: 221-226.
23. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science, 21: 943-946.
24. Shao, H.B., Z.S. Liang and M.A. Shao. 2006. Osmotic regulation of 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at soil water deficits. Biointer, 47: 132-139.
25. Sinaki, J.M., E. Majidi Heravan, A.H. Shirani Rad, G. Noormohamadi and G. Zarei. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*B. napus* L.). American-Eurasian journal of agricultural & environmental, 2: 417-424.
26. Sio-Se Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditioning. Field Crop Research, 98: 222-229.
27. Yari, P., A.H. Keshtkar and H. Mazahery Laghab. 2016. Evaluation of water stress in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars using tolerance indices in hamadan region. Journal of Crop Breeding, 8: 88-96.
28. Yordanov, I., V. Velikova and T. Tsonev. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 1: 187-206.
29. Yousofi, M. and A.M. Rezai. 2008. Assessment of drought tolerance in different breeding lines of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of science and technology of agriculture and natural, 42: 113-122 (In persian).
30. Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo, A. Asgharii and Hoseini, S.M. 2015. Appraising of drought tolerance relying on stability analysis indices in canola genotypes simultaneously, using selection index of ideal genotype (SIIG) technique: Introduction of new method. Biological Forum-An International Journal, 7: 703-711.
31. Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo, A. Asgharii and M. Zeinalabedini. 2016. Drought stress effect on physiological parameter and amino acids accumulations in canola. Journal of Crop Breeding, 8: 191-203 (In Persian).

Appropriate Strategies for Selection of Drought Tolerant Genotypes in Canola

Hasan Zali[1], Tahereh Hasanloo[2], Omid Sofalian[3], Ali Asghari[3] and Mehrshad Zeinalabedini[4]

1- Assistant Professor, Agriculture and Natural Resources Research Station of Darab
2- Assistant professor, Department of Molecular Physiology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (corresponding author: Thasanloo@abrii.ac.ir)
3- Associated professor, Plant Breeding Department, University of Mohaghegh Ardabili
4- Assistant professor, Department of Genomics, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran
Received: February 24, 2015 Accepted: August 15, 2015

Abstract

In this research, the possibility of applying selection index of ideal genotype (SIIG) technique for identify tolerate genotypes using the different drought tolerance indices be amended. The experiment was conducted as split plot based on randomized complete block design with three replications at the experimental farm of agricultural research institute and natural resources, Yazd, Iran in 2011-2012. Three irrigation levels consisting of irrigation after 80mm evaporation from class "A" pan as control, no irrigation from stem elongation stage until flowering and flowering stage until podding stage were applied in main plots and Subplots were six winter canola cultivars. Thirteen drought tolerance indices including stress susceptibility index, stress tolerance index, tolerance index, abiotic-stress tolerance index, stress susceptibility percentage index, stress non-stress production index, relative drought index, harmonic mean, percentage of yield reduction, yield stability index, yield index, mean productivity and geometric mean productivity and also selection index of ideal genotype were calculated. The results indicated that drought stress significantly decreased the stomatal conductivity at stem elongation and flowering stages. Tassilo genotype with the highest selection index of ideal genotype values, near to one was accepted drought tolerance genotype; also Cooper and Adriana genotypes with the lowest selection index of ideal genotype values, near to zero were accepted drought susceptible genotypes at drought stress conditions from stem elongation stage until flowering. Lilian genotype with the highest selection index of ideal genotype value, near to one, perceived as the drought tolerance genotype under drought stress in flowering stage and Cooper and Adriana genotypes with the lowest selection index of ideal genotype values, near to zero were perceived as the drought susceptible genotypes. Thus, Tassilo and Lilian genotypes may be used as the genetic sources for drought resistance**.**

Keywords: Canola, Drought tolerance, Ideal genotype, Stress, Stomata canductivity