دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

شناسایی ژنوتیپ‌های کلزا متحمل به خشکی با استفاده از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل

حسن زالی[۱]، طاهره حسنلو[۲]، امید سفالیان[۳]، علی اصغری[۳] و مهران عنایتی شریعت‌پناهی[۴]

۱- استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران (نویسنده مسوول: hzali90@yahoo.com)
۲- استادیار، بخش فیزیولوژی مولکولی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۴- دانشیار، بخش کشت بافت و انتقال ژن، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۲۲
صفحه: ۱۱۷ تا ۱۲۶

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده می‌باشد که رشد، متابولیسم و عملکرد گیاهان زراعی را در سراسر دنیا تحت تاثیر قرار می‌دهد. این تحقیق به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های کلزا متحمل به خشکی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد انجام شد. دو سطح آبیاری شامل آبیاری براساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A (به‌عنوان تیمار شاهد)، قطع آبیاری از ابتدای مرحله گل‌دهی که در کرت اصلی قرار گرفت و ۲۱ ژنوتیپ و لاین دبل هاپلوئید کلزا در کرت فرعی، به‌صورت طرح کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. شش شاخص تحمل به خشکی شامل شاخص حساسیت به خشکی، شاخص تحمل تنش، شاخص تحمل، میانگین هارمونیک، میانگین تولید، میانگین هندسی عملکرد بررسی شد و هم‌چنین شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل بر مبنای شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی (STI، GMP، SSI، MP، TOL و HM) و صفات فیزیولوژی محاسبه شد. نتایج نشان داد تنش آبی تأثیر منفی بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد، ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های ثانویه کلزا داشته است. بر مبنای شاخص SIIG، ژنوتیپ‌های SLM046 و Adriana به‌ترتیب با بیش‌ترین مقدار SIIG (به‌ترتیب ۰/۷۹۱ و ۰/۷۵۶) به‌عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش در شرایط تنش خشکی معرفی شدند و می‌توانند ژنوتیپ‌هایی مناسب برای مناطق خشک باشند. این نتایج را نمودار سه بعدی نیز تایید نمود. در مجموع شاخص SIIG یک روش مناسب برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش با استفاده از سایر شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی و صفات مرفولوژیک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشکی، شاخص SIIG، صفات مرفولوژیک، کلزا

مقدمه

کلزا را با نام‌های "Canola"، "Rapeseed" و "Oilseed rape" سال‌های زیادی است که در صنعت و صنایع غذایی کاربرد دارد. در واقع ژنوتیپ‌های "Canola" طبقه‌بندی خاصی از "Rapeseed" می‌باشند که دارای مقدار اسید اروسیک کم‌تر از ۲ درصد و میزان پایین گلوکوزینولات در کنجاله (کم‌تر از ۳۰ میکرومول در هر گرم ماده خشک کنجاله) و کیفیّت روغن بالا می‌باشند (۹). مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین‌ها، یکی از حساس‌ترین زمان‌ها برای آبیاری در این گیاه می‌باشد که نسبت به خشکی بسیار حساس می‌باشد (۱۵،۱۷). 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 می‌باشد. یکی از روش‌های مقابله با خشکی، توسعه ارقام زراعی متحمل به خشکی است (۲۲). به علت اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، عملکرد در شرایط تنش به تنهایی ملاک مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی محسوب نمی‌شود و باید ژنوتیپ‌هایی مدنظر باشند که در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی یکسان، از نظر عملکرد افت کم‌تری داشته باشند (۵). شاخص‌هایی که در هر دو شرایط تنش و عدم تنش همبستگی بالایی با عملکرد دارند، به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند؛ چون این شاخص‌ها قادرند ژنوتیپ‌های 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 متحمل و حساس به خشکی آن‌ها معرفی شده است (۱). رزیل و هامبلین (۱۶)، شاخص تحمل (TOL)[۱] و شاخص متوسط تولید یا بهره‌وری (MP)[۲] را معرفی کردند. فرناندز (۶)، شاخص‌های میانگین هندسی عملکرد (GMP)[۳] و شاخص تحمل به تنش (STI)[۴] را برای بررسی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها معرفی کرد. فیشر و مورر (۷)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)[۵] را بر مبنای عملکرد در شرایط تنش و بدون‌تنش، مطرح نمودند. موسوی و همکاران (۱۳)، سه شاخص دیگر، تحت عنوان شاخص تحمل 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 تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم معرفی کردند. شاخص پایداری عملکرد (YSI)[۹] توسط بوسلام و شاپوف (۲)، درصد کاهش عملکرد (%R)[۱۰] توسط چوگان و همکاران (۳) و شاخص عملکرد (YI)[۱۱] توسط گاووزی و همکاران (۱۰) پیشنهاد شدند. براساس نتایج دهقانی و همکاران (۴) و مجیدی و همکاران (۱۳)، شاخص‌های STI، GMP و MP به‌عنوان مناسب‌ترین

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

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-08-23]
[DOI: 10.29252/jcb.11.29.117]

شاخص‌ها برای شناسایی و معرفی ارقام متحمل به خشکی در کلزا معرفی شدند. برای انتخاب ارقام متحمل 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 می‌یابد. بر همین اساس در این مقاله تکنیک شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)[1] به‌منظور ادغام شاخص‌های مختف تحمل به خشکی، به‌منظور ارزیابی بهتر ژنوتیپ‌ها استفاده می‌شود.

تکنیک SIIG، برای اولین بار برای ادغام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی (۲۱) و روش‌های مختلف تجزیه پایداری (۲۰)، برای افزایش کارایی انتخاب ژنوتیپ‌های ایده آل استفاده شده است. این تکنیک برگرفته از مدل TOPSIS[2] یا اولویت‌بندی بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل می‌باشد که نخستین بار بوسیله ونگ و یون (۱۲) به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره معرفی شد. از روش SIIG می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه بهتر ژنوتیپ‌های مختلف و انتخاب بهترین ژنوتیپ و تعیین فواصل بین ژنوتیپ‌ها و گروه‌بندی آن‌ها استفاده نمود. از ویژگی‌های روش SIIG این است که برای محاسبه آن از سایر شاخص‌های تحمل به خشکی 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 به صورت 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. به عبارت دیگر می‌توان از شاخص‌های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این تکنیک استفاده نمود. بر اساس این تکنیک، بهترین ژنوتیپ، نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل و دورترین از ژنوتیپ غیرایده‌آل است. در اینجا منظور از ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپی فرضی است که بیش‌ترین تحمل به تنش و کم‌ترین حساسیت به تنش را داشته باشد، درحالی‌که ژنوتیپ غیر ایده آل، ژنوتیپی فرضی است که بیش‌ترین حساسیت به تنش و کم‌ترین تحمل به تنش را داشته باشد. به‌طور خلاصه، ژنوتیپ ایده‌آل از مجموع مقادیر ایده‌آل هر یک از شاخص‌ها به‌دست می‌آید، درحالی‌که ژنوتیپ غیرایده‌آل از مجموع مقادیر غیر ایده‌آل هر یک از شاخص‌ها حاصل می‌گردد (۲۰،۲۱). در تحقیقات خشکی، شاخص‌های مختلفی برای بررسی تحمل به خشکی وجود دارد و هر کدام از شاخص‌ها مزایا و معایب خود را دارند. هر کدام از شاخص‌ها را می‌توان در نهایت به صورت تک به تک با عملکرد در شرایط تنش و غیرتنش در یک نمودار ۳ بعدی بررسی کرد. ولی در روش SIIG می‌توان با توجه به نظر محقق از تمام شاخص‌ها به‌طور هم‌زمان برای تصمیم‌گیری در مورد انتخاب ژنوتیپ متحمل به تنش استفاده نمود.

هدف از اجرای این تحقیق، بررسی تحمل به خشکی تعدادی از ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی در مرحله گل‌دهی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی بود. هم‌چنین در این تحقیق از تکنیک SIIG در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با استفاده از سایر شاخص‌های تحمل به تنش به‌طور هم‌زمان، استفاده شد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش در مزرعه مرکز تحقیقات و منابع طبیعی یزد، در موقعیت طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۲۳۶ متر از سطح دریا انجام گرفت. یزد با متوسط بارندگی سالانه ۱۰۶ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۹/۲ سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی ۲۷ درصد و مجموع ساعات آفتابی ۳۴۸۳ ساعت، با اقلیمی خشک در فلات مرکزی ایران واقع شده است. خاک محل آزمایش دارای بافت لوم رسی شنی، میزان هدایت الکتریکی آن ۳/۸۸ میلی‌موس بر سانتی‌متر و میانگین اسیدیته خاک حدود ۷/۸ بود. آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت طرح کرت‌های خرد شده (اسپیلت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در دو سال زراعی (۹۲-۱۳۹۰) اجرا شد. در این طرح تیمار رژیم رطوبتی در کرت اصلی و ارقام در کرت فرعی قرار گرفتند. نحوه آبیاری به‌صورت کرتی و نحوه اعمال تنش به‌صورت قطع آبیاری بود. در شرایط نرمال، آبیاری بعد از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر اعمال می‌شد. در سال اول تنش در مرحله خورجین‌دهی اعمال شد و در سال دوم تنش هم در مرحله گل‌دهی و هم در مرحله خورجین‌دهی به‌صورت قطع آبیاری انجام شد. ژنوتیپ‌های مورد بررسی شامل ۱۱ لاین دابل هاپلوئید و ۱۰ رقم تجاری بود (جدول ۱). 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 حدود ۶ سانتی‌متر و عمق کشت ۱ سانتی‌متر بود. در زمان کشت از کود فسفره (بر پایه ۱۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات در هکتار) و پتاس (بر پایه ۱۵۰ 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. جهت مبارزه با شته از سم مالاتیون به میزان ۱/۵ در هزار استفاده شد. برای جلوگیری از آلودگی قارچی بذور توسط هیپوکلریت سدیم ۵٪ به‌مدّت ۵ دقیقه ضدعفونی شدند. در هر کرت حدود ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر خط به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و از ۱/۵ متر باقی مانده نمونه‌برداری انجام شد. صفاتی که قبل از برداشت اندازه‌گیری شدند شامل تعداد شاخه‌های فرعی و ارتفاع بوته بود. در مرحله رسیدگی پس از محاسبه تعداد دانه در غلاف، سایر بوته‌ها توسط خرمن‌کوب کوبیده و بعد از بوجاری، عملکرد دانه و وزن هزار دانه محاسبه شد (۱۱). برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی از شاخص تولید و شاخص میانگین روزیل و هامبلین

1- Selection index of ideal genotype

2- Technique of order preference by similarity to ideal solution

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-08-23]

[DOI: 10.29252/jcb.11.29.117]

(۱۶)، شاخص حساسیت به خشکی (SSI) فیشر و موور (۸)، میانگین هندسی عملکرد در دو شرایط تنش و بدون‌تنش (GMP)، شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هارمونیک عملکرد (HM) فرناندز (۶) استفاده شد.

نحوه محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل

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 ($i = 1, 2, \dots n$) در رابطه با ژنوتیپ jام ($j = 1, 2, \dots m$) 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- پیداکردن ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ غیرایده‌آل

در این مرحله برای هر شاخص یا صفت به‌طور جداگانه، بهترین ژنوتیپ و ضعیف‌ترین انتخاب می‌شود.

۴- محاسبه فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و ژنوتیپ غیرایده‌آل

در این مرحله برای هر گزینه، فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و فاصله از ژنوتیپ غیرایده‌آل به‌ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

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

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

در روابط فوق d_i^+ فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل و d_i^- فاصله از ژنوتیپ غیرایده‌آل می‌باشد.

۵- محاسبه شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG)

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

$$SIIG = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$$

$$i = 1, 2 \dots, m, \quad 0 \le SIIG \le 1$$

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 (۲۰،۲۱).

در این تحقیق، برای انجام تجزیه واریانس، مقایسه میانگین تیمارها به روش دانکن و تجزیه خوشه‌ای از نرم‌افزار SPSS، برای محاسبه شاخص‌های تحمل به خشکی و شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل از نرم‌افزار Excel و در نهایت از نرم‌افزار Statistica به‌منظور ترسیم نمودار بای‌پلات و نمودار سه بعدی استفاده شد.

نتایج و بحث

تیمار آبی در دو سطح، یعنی آبیاری در تمام طول فصل (بدون‌تنش) و تنش آبی در مرحله گل‌دهی اعمال شد. به منظور بررسی اثر تنش بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و برخی از صفات مرفولوژیک، تجزیّه واریانس انجام شد (جدول تجزیه واریانس نشان داده نشده است). نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی بر ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه معنی‌دار بود که این مطلب نشان‌دهنده‌ی تأثیر تنش، بر روی این صفات می‌باشد. هم‌چنین، بین ارقام و لاین‌ها از نظر تمام صفات مورد بررسی، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ مشاهده شد. این نتایج نشان داد که احتمالاً تنوع ژنتیکی بالقوّه و تفاوت میان ژنوتیپ‌ها وجود دارد. هم‌چنین، معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در بسیاری از صفات (به‌جزء ارتفاع بوته و تعداد خورجین در بوته) نشان‌دهنده‌ی عکس‌العمل متفاوت ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون‌تنش بود. این مطلب نشان داد که ژنوتیپ‌هایی وجود دارد که در شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی تولید کرده‌اند. به‌منظور بررسی بهتر ارقام از نظر صفات مورد بررسی، مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها با استفاده از روش دانکن در جدول ۱ آورده شده است. هم‌چنین، برای افزایش کارایی انتخاب ژنوتیپ‌ها، از شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (۲۰،۲۱) که بر مبنای صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه (جدول ۱) محاسبه شده است، استفاده شد (جدول ۵). میزان شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) بین صفر و یک می‌باشد و هر چه مقدار SIIG به یک نزدیک‌تر باشد آن ژنوتیپ از نظر صفات مورد بررسی مطلوب‌تر می‌باشد و بالعکس، هرچه مقدار SIIG به صفر نزدیک‌تر باشد ژنوتیپ مورد نظر از نظر صفات مورد نظر، ژنوتیپ ضعیفی می‌باشد (۲۱). بنابراین، ژنوتیپ SLM046 با بالاترین مقدار SIIG (۰/۸۷۶)، بهترین ژنوتیپ از نظر صفات مرفولوژیک مورد مطالعه (جدول ۱) بود و بعد از آن، به‌ترتیب ژنوتیپ‌های Triangle (۰/۷۰۸)، DH13 (۰/۶۸۰)، Adriana (۰/۶۶۴)، DH7 (۰/۶۴۵)، DH13

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-08-23]

[DOI: 10.29252/jcb.11.29.117]

(۰/۶۸۰)، DH10 (۰/۶۱۳) و DH11 (۰/۶۰۳) جزء بهترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۵). از طرف دیگر لاین DH1 با کم‌ترین مقدار SIIG (۰/۱۳۵) جزء ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مرفولوژیک و عملکرد دانه بود. هم‌چنین، ژنوتیپ‌های Oase (۰/۲۵۹)، DH3 (۰/۲۷۹)، Billy (۰/۲۹۴)، Tassilo (۰/۳۵۲)، DH4 (۰/۳۵۶) و Savanah (۰/۳۵۸) نیز به‌ترتیب جزء ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۵).

جدول ۱- مقایسه میانگین صفات مرفولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه در ۲۱ لاین و ژنوتیپ کلزا و منشاء آن‌ها

Table 1. Mean comparison of morphologic traits, yield components and grain yield for 21 genotypes and lines and its origins

نام ارقام و لاین‌ها	منشاء ارقام و لاین‌ها	ارتفاع بوته (cm)	تعداد شاخه‌های فرعی	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه (g)	عملکرد (kg h^{-1})
DH1	ایران	۱۰۱/۵^{g}	۱۱/۱۷$^{c-e}$	۲۵/۴۳^{cd}	۱۸/۶۳^{g}	۳/۷۶۵^{cd}	۱۵۵۵/۶$^{i-k}$
DH3	ایران	۱۱۲/۳^{ef}	۱۱/۱۷$^{c-e}$	۲۵/۶۵^{cd}	۲۳/۱۰$^{b-c}$	۳/۵۳۲^{ef}	۱۴۰۹/۲^{k}
DH4	ایران	۱۱۵/۷^{de}	۱۳/۶۷^{ab}	۲۸/۳۰^{cd}	۲۲/۲۸$^{d-f}$	۳/۷۸۲^{c}	۱۵۵۵/۶$^{i-k}$
DH5	ایران	۱۱۲/۲^{ef}	۱۱/۳۳$^{b-e}$	۳۳/۰۵$^{b-d}$	۲۳/۲۵$^{b-e}$	۳/۳۳۲^{f}	۱۵۷۲/۹$^{h-k}$
DH6	ایران	۱۱۷/۷^{de}	۱۰/۳۳^{e}	۳۶/۰۸$^{a-c}$	۲۰/۳۸$^{e-g}$	۳/۴۱۵^{ef}	۱۴۷۵/۶$^{j-k}$
DH7	ایران	۱۱۷/۰^{de}	۱۲/۵۰$^{a-e}$	۳۴/۸۰$^{a-d}$	۲۶/۱۷^{ab}	۳/۷۶۵^{cd}	۱۷۴۰/۳$^{f-i}$
DH8	ایران	۱۱۳/۳$^{d-f}$	۱۲/۳۳$^{a-e}$	۲۷/۷۷^{cd}	۲۴/۱۳$^{a-d}$	۳/۴۳۲^{ef}	۱۷۷۵/۰^{fg}
DH9	ایران	۱۱۶/۰^{de}	۱۳/۵۰$^{a-c}$	۳۲/۷۷$^{b-d}$	۲۲/۶۲$^{c-f}$	۳/۸۶۵$^{a-c}$	۱۷۴۷/۷$^{f-i}$
DH10	ایران	۱۱۵/۲^{de}	۱۲/۵۰$^{a-e}$	۳۳/۸۵$^{a-d}$	۲۵/۶۸$^{a-c}$	۳/۵۸۲^{de}	۲۰۴۰/۲$^{c-e}$
DH11	ایران	۱۱۹/۲$^{c-e}$	۱۲/۵۰$^{a-e}$	۳۴/۱۰$^{a-d}$	۲۵/۵۲$^{a-c}$	۳/۵۱۵^{ef}	۱۹۸۸/۱^{de}
DH13	ایران	۱۰۵/۰^{fg}	۱۳/۸۲^{a}	۴۵/۵۵^{a}	۲۲/۰۷$^{d-f}$	۳/۵۳۲^{ef}	۱۷۶۴/۶$^{f-h}$
Lilian	آلمان	۱۲۹/۳^{ab}	۱۱/۰۰$^{c-e}$	۲۹/۷۵^{cd}	۲۱/۷۲$^{d-f}$	۳/۹۶۵$^{a-c}$	۲۱۰۰/۰$^{c-e}$
Billy	آلمان	۱۱۵/۷^{ed}	۱۱/۰۰$^{c-e}$	۲۶/۷۸^{cd}	۲۱/۱۲$^{d-g}$	۳/۳۸۲^{ef}	۱۹۲۰/۸^{ef}
Adriana	فرانسه	۱۳۲/۳^{a}	۱۲/۱۷$^{a-e}$	۳۲/۳۰$^{b-d}$	۲۵/۶۷$^{a-c}$	۴/۰۳۲^{a}	۲۳۵۱/۴^{ab}
Cooper	فرانسه	۱۲۹/۷^{ab}	۱۱/۸۳$^{a-e}$	۲۹/۵۰^{cd}	۲۵/۵۵$^{a-c}$	۳/۸۳۲^{bc}	۱۹۰۴/۵^{ef}
Oase	فرانسه	۱۱۱/۷^{ef}	۱۰/۱۷^{e}	۲۳/۰۷^{d}	۱۹/۷۵^{fg}	۳/۴۴۸^{ef}	۲۱۹۰/۲^{bc}
Tassilo	فرانسه	۱۲۰/۰$^{b-e}$	۱۰/۳۳^{e}	۲۹/۸۵^{cd}	۲۱/۶۰$^{d-g}$	۳/۵۶۵^{e}	۱۶۶۱/۱$^{g-j}$
Triangle	آلمان	۱۲۸/۲$^{a-c}$	۱۲/۱۷$^{a-e}$	۳۲/۷۸$^{b-d}$	۲۶/۷۵^{a}	۳/۷۶۵^{cd}	۲۴۵۶/۲^{a}
Karun	فرانسه	۱۲۳/۰$^{a-d}$	۱۱/۶۷$^{a-e}$	۳۱/۱۱$^{b-d}$	۲۳/۵۵$^{b-e}$	۳/۹۹۸^{ab}	۲۱۷۷/۸$^{b-d}$
Savanah	فرانسه	۱۱۶/۰^{de}	۱۰/۸۳^{de}	۲۶/۸۳^{cd}	۲۲/۹۲$^{c-e}$	۳/۴۳۲^{ef}	۲۰۴۲/۴$^{c-e}$
SLM047	آلمان	۱۲۳/۷$^{a-d}$	۱۳/۱۷$^{a-d}$	۴۳/۲۲^{ab}	۲۴/۱۹$^{a-d}$	۳/۷۹۸^{c}	۲۵۰۴/۵^{a}
میانگین کل		۱۱۷/۸	۱۱/۸۷	۳۱/۵۵	۲۳/۱۷	۳/۶۵۴	۱۹۰۱/۶

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حدّاقل یک حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

جدول ۲- میانگین صفات مرفولوژیک و اجزای عملکرد ارقام و لاین‌های کلزا در شرایط بدون‌تنش (NS)، حالات تنش آبی (WS) و درصد کاهش صفت (%R)

Table 2. Means of morphologic traits and yield components of canola genotypes/lines under non-stress (NS) and water stress (WS) conditions and percentage of reduction (%R)

نام ارقام و لاین‌ها	ارتفاع بوته (cm)			تعداد شاخه‌های فرعی			تعداد دانه در خورجین			تعداد خورجین در بوت			وزن هزار دانه (g)		
	NS	WS	%R	NS	WS	%R	NS	WS	%R	NS	WS	%R	NS	WS	%R
DH1	۱۱۱	۹۲	۱۷/۱۲	۱۴/۰۰	۸/۳۳	۴۰/۴۸	۲۳/۴۰	۱۳/۸۷	۴۰/۷۴	۲۹/۹۳	۲۰/۹۳	۳۰/۰۷	۴/۰۳	۳/۰	۱۳/۱۵
DH3	۱۲۱	۱۰۴	۱۳/۸۱	۱۳/۳۳	۹/۰۰	۳۲/۵۰	۳۱/۱۰	۱۵/۲۰	۵۰/۹۷	۳۰/۵۳	۲۰/۷۷	۳۱/۹۹	۳/۶۳	۳/۴۳	۵/۴۲
DH4	۱۱۸	۱۱۳	۳/۹۵	۱۶/۳۳	۱۱/۰۰	۳۲/۶۵	۲۴/۸۰	۱۹/۷۷	۲۰/۳۰	۳۳/۹۷	۲۲/۶۳	۳۳/۳۷	۴/۰۰	۳/۵۷	۱۰/۷۶
DH5	۱۱۳	۱۱۱	۲/۰۶	۱۲/۳۳	۱۰/۳۳	۱۶/۲۲	۲۷/۴۷	۱۹/۰۳	۳۰/۷۰	۳۴/۷۳	۳۱/۳۷	۹/۶۹	۳/۶۳	۳/۰۳	۱۶/۴۴
DH6	۱۲۵	۱۱۱	۱۱/۲۳	۱۲/۰۰	۸/۶۷	۲۷/۷۸	۲۴/۲۳	۱۶/۵۳	۳۱/۷۷	۳۹/۹۷	۳۲/۲۰	۱۹/۴۳	۳/۶۰	۳/۲۳	۱۰/۱۰
DH7	۱۲۳	۱۱۱	۹/۷۶	۱۳/۶۷	۱۱/۳۳	۱۷/۰۷	۳۰/۶۳	۲۱/۷۰	۲۹/۱۶	۴۲/۶۳	۲۶/۹۷	۳۶/۷۵	۳/۸۰	۳/۷۳	۱/۸۴
DH8	۱۱۴	۱۱۳	۱/۱۷	۱۲/۶۷	۱۲/۰۰	۵/۲۶	۲۹/۶۳	۱۸/۶۳	۳۷/۱۲	۳۳/۰۷	۲۲/۲۷	۳۳/۰۷	۳/۵۳	۳/۳۳	۵/۵۷
DH9	۱۲۱	۱۱۱	۸/۷۹	۱۵/۰۰	۱۲/۰۰	۲۰/۰۰	۲۶/۸۰	۱۸/۴۳	۳۱/۲۲	۳۵/۴۰	۳۰/۰۳	۱۵/۱۶	۳/۹۰	۳/۸۳	۱/۶۳
DH10	۱۱۹	۱۱۱	۶/۹۸	۱۵/۳۳	۹/۶۷	۳۶/۹۶	۲۸/۰۰	۲۳/۳۷	۱۶/۵۵	۴۰/۴۷	۲۷/۹۳	۳۲/۷۰	۳/۶۰	۳/۵۷	۰/۸۳
DH11	۱۲۱	۱۱۷	۳/۵۷	۱۲/۶۷	۱۲/۳۳	۲/۶۳	۲۹/۵۰	۲۱/۵۳	۲۷/۰۱	۳۴/۴۷	۳۳/۷۳	۲/۱۳	۳/۶۳	۳/۴۰	۶/۵۱
DH13	۱۱۰	۱۰۰	۸/۵۱	۱۵/۰۰	۱۲/۶۷	۱۵/۵۶	۲۵/۲۰	۱۸/۹۳	۲۴/۸۷	۵۴/۸۳	۳۶/۲۷	۳۳/۸۶	۳/۶۰	۳/۴۶	۳/۸۰
Lilian	۱۳۳	۱۲۶	۵/۵۱	۱۲/۰۰	۱۰/۰۰	۱۶/۶۷	۲۴/۸۷	۱۸/۵۷	۲۵/۳۴	۳۰/۰۰	۲۹/۵۰	۱/۶۷	۴/۰۷	۳/۸۶	۵/۰۰
Billy	۱۲۹	۱۰۲	۲۱/۱۳	۱۳/۶۷	۸/۳۳	۳۹/۰۲	۲۶/۷۳	۱۵/۵۰	۴۲/۰۲	۳۲/۹۳	۲۰/۶۳	۳۷/۳۵	۳/۵۶	۳/۲۰	۱۰/۲۰
Adriana	۱۳۹	۱۲۵	۱۰/۰۵	۱۲/۶۷	۱۱/۶۷	۷/۸۹	۳۰/۳۷	۲۰/۹۷	۳۰/۹۵	۳۶/۵۳	۲۸/۰۷	۲۳/۱۸	۴/۱۷	۳/۹۰	۶/۴۸
Cooper	۱۳۶	۱۲۳	۹/۳۱	۱۲/۳۳	۱۱/۳۳	۸/۱۱	۲۸/۱۳	۲۲/۹۷	۱۸/۳۶	۳۳/۲۷	۲۶/۷۳	۱۷/۱۵	۳/۹۷	۳/۷۰	۶/۸۱
Oase	۱۲۰	۱۰۳	۱۴/۴۰	۱۰/۶۷	۹/۶۷	۹/۳۸	۲۴/۳۷	۱۵/۱۳	۳۷/۸۹	۲۳/۷۷	۲۲/۳۷	۵/۸۹	۳/۷۶	۳/۱۳	۱۶/۷۴
Tassilo	۱۳۱	۱۰۹	۱۶/۳۳	۱۲/۶۷	۸/۰۰	۳۶/۸۴	۲۷/۹۳	۱۵/۲۷	۴۵/۳۵	۳۹/۰۳	۲۰/۶۷	۴۷/۰۵	۳/۶۳	۳/۵۰	۳/۵۸
Triangle	۱۳۴	۱۲۲	۹/۱۸	۱۲/۳۳	۱۲/۰۰	۲/۷۰	۲۹/۹۷	۲۲/۵۳	۲۱/۴۷	۳۵/۶۰	۲۹/۹۷	۱۵/۸۲	۴/۰۰	۳/۵۳	۱۱/۷۵
Karun	۱۲۶	۱۲۰	۴/۷۶	۱۲/۳۳	۱۱/۰۰	۱۰/۸۱	۲۵/۶۰	۲۱/۵۰	۱۶/۰۲	۳۸/۸۵	۲۳/۳۷	۳۹/۸۵	۴/۱۷	۳/۸۳	۸/۰۸
Savanah	۱۳۰	۱۰۲	۲۱/۵۴	۱۲/۶۷	۹/۰۰	۲۸/۹۵	۲۷/۷۷	۱۸/۰۷	۳۴/۹۳	۳۱/۰۰	۲۲/۶۵	۲۶/۹۴	۳/۷۰	۳/۱۷	۱۴/۳۴
SLM047	۱۲۵	۱۲۲	۲/۶۶	۱۳/۳۳	۱۳/۰۰	۲/۵۰	۲۶/۵۳	۲۱/۸۵	۱۷/۶۵	۴۸/۷۰	۲۷/۷۳	۲۲/۵۲	۳/۸۰	۳/۷۹	۰/۰۹
میانگین	۱۲۴	۱۱۲	۹/۶۱	۱۳/۲۰	۱۰/۵۰	۱۹/۵۲	۲۷/۳۰	۱۹/۱۰	۳۰/۰۲	۳۶/۱۰	۲۷/۰۰	۲۴/۵۵	۳/۸۰	۳/۵۱	۷/۵۸
حداقل	۱۱۰	۹۲	۱/۱۷	۱۰/۶۷	۸/۰۰	۲/۵۰	۲۳/۴	۱۲/۸۷	۱۶/۰۲	۲۳/۷۷	۲۰/۶۳	۱/۶۷	۳/۵۳	۳/۰۳	۰/۰۹
حداکثر	۱۳۹	۱۲۶	۱/۵۴	۱۶/۳۳	۱۳/۰۰	۳۹/۰۲	۳۱/۰	۲۳/۵۳	۵۰/۹۷	۵۴/۳۳	۳۷/۷۳	۴۷/۰۵	۴/۱۷	۳/۹۰	۱۶/۷۴

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-08-23]

[DOI: 10.29252/jcb.11.29.117]

در جدول ۲ میانگین صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه در شرایط بدون‌تنش، تنش آبی و درصد کاهش این صفات در شرایط تنش نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در شرایط تنش، ارتفاع بوته در همه ژنوتیپ‌ها کاهش یافته است و بیش‌ترین درصد کاهش ارتفاع مربوط به ژنوتیپ Savanah (۲۱/۵۴٪) و کم‌ترین درصد کاهش ارتفاع در شرایط تنش مربوط به لاین دابل‌هاپلوئید DH8 (۱/۱۷٪) بود. هم‌چنین، در شرایط تنش تعداد شاخه‌های فرعی در تمام ارقام و لاین‌ها کاهش نشان داده است که در این میان بیش‌ترین و کم‌ترین درصد کاهش تعداد شاخه‌های فرعی به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های Billy (۳۹/۰۲٪) و SLM046 (۲/۵۰٪) بود. از طرفی، نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش اجزای عملکرد در همه ارقام و لاین‌های مورد بررسی شده است. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد کاهش تعداد خورجین در بوته به‌ترتیب مربوط به لاین دابل‌هاپلوئید DH3 (۵۰/۹۷٪) و ژنوتیپ Karun (۱۶/۰۲) است. هم‌چنین، ژنوتیپ Tassilo بیش‌ترین درصد کاهش تعداد دانه در خورجین (۴۷/۰۵٪) را به خود اختصاص داد و کم‌ترین درصد کاهش این صفت در شرایط تنش مربوط به ژنوتیپ Billy (۱/۶۷٪) بود. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های Oase (۱۶/۷۴٪) و SLM046 (۰/۰۹٪) بود (جدول ۲). به‌منظور جمع‌بندی نتایج و پیداکردن ژنوتیپ‌هایی که در مجموع، از نظر صفات مورد بررسی در شرایط تنش و بدون‌تنش و درصد کاهش آن‌ها در شرایط تنش نسبت به‌سایر ارقام و لاین‌ها از وضعیّت بهتری برخوردار باشند، از شاخص SIIG استفاده شد (جدول ۵). نتایج شاخص SIIG نشان داد ژنوتیپ SLM046 دارای نزدیک‌ترین فاصله به ژنوتیپ مطلوب یا ایده‌آل (d^+ = ۰/۲۱۶) و بیش‌ترین فاصله از ژنوتیپ نامطلوب یا غیرایده‌آل (d^- = ۰/۸۱۸) بود. به‌همین دلیل با مقدار SIIG بزرگ‌تر (۰/۷۹۱) نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از برتری بالاتری برخوردار بود و بعد از آن لاین DH11 با مقدار SIIG = ۰/۷۵۶ جزء بهترین لاین‌ها از نظر صفات مورد بررسی بود (جداول ۲ و ۵). از طرفی لاین DH1 دارای بیش‌ترین فاصله از ژنوتیپ مطلوب (d^+ = ۰/۷۹۵) و کم‌ترین فاصله از ژنوتیپ نامطلوب (d^- = ۰/۲۱۰) نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۵). بنابراین، با پایین‌ترین مقدار SIIG (۰/۲۱۰) جزء ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مورد بررسی محسوب شد و بعد از آن ژنوتیپ‌های Billy، Savanah، DH3 و Tassilo به‌ترتیب با کم‌ترین مقدار SIIG، ۰/۲۲۲، ۰/۲۸۳، ۰/۳۵۱ و ۰/۳۵۴ در مرتبه بعدی قرار گرفتند. در جدول ۳، تعدادی از شاخص‌های محاسبه تحمل به خشکی یعنی شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص میانگین تولید (MP)، شاخص حساسیت به خشکی (SSI)، شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هارمونیک عملکرد (HM) آورده شده است. برمبنای TOL و SSI، کم‌ترین مقدار این شاخص‌ها مربوط به لاین DH5 و بیش‌ترین مقدار این شاخص‌ها مربوط به ارقام Triangle، Oase و Savanah بود (جدول ۳). بر اساس 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 بدون تنش دارند. بر مبنای این شاخص‌ها ممکن است ژنوتیپ‌هایی انتخاب شوند که دارای عملکرد پایین در شرایط بدون‌تنش و عملکرد بالا در شرایط تنش باشند (۶). 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. 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 (۱۸). ژنوتیپ‌های Triangle، SLM046 و Billy بالاترین مقادیر MP، GMP را داشتند و ژنوتیپ‌های SLM046 و Adriana بالاترین مقادیر HM و STI را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). هم‌چنین ژنوتیپ Triangle بیش‌ترین عملکرد را در شرایط بدون‌تنش را داشت و ژنوتیپ‌های SLM046 وAdriana بالاترین عملکرد را در شرایط تنش خشکی به خود اختصاص دادند. بر اساس این پارامترها، ژنوتیپی که بیش‌ترین مقدار این شاخص‌ها را داشته باشد مطلوب است و جزء ژنوتیپ‌های متحمل به تنش محسوب می‌شوند. لاین DH3 کم‌ترین مقادیر شاخص‌های MP، GMP، HM و STI را به خود اختصاص داد. هم‌چنین این لاین دارای عمکرد پایین در شرایط تنش و بدون‌تنش بود (جدول ۳). از نظر فرناندز (۶) شاخص STI قادر به گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل 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 (۱۹). شاخص تحمل 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 (۶)، 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. به‌منظور بررسی بهتر تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها و لاین‌های دابل هاپلوئید با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی (جدول ۳) به‌طور هم‌زمان از آماره SIIG استفاده شد (جدول ۵). در واقع این آماره، نتایج شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی را ادغام نموده و تبدیل به یک شاخص واحد می‌نماید و کارایی تصمیم‌گیری را افزایش می‌دهد (۲۱). بر این اساس، ژنوتیپ‌های SLM046 و Adriana با بیش‌ترین مقدار SIIG (به‌ترتیب ۰/۷۶۳ و ۰/۷۲۳) جزء متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی بودند (جدول ۵). هم‌چنین این دو ژنوتیپ بیش‌ترین عملکرد را در شرایط تنش به خود اختصاص دادند (جدول ۳). از طرفی ژنوتیپ Tassilo با کم‌ترین مقدار SIIG (۰/۲۳۵)، جزء حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر حساسیت به خشکی بود و ژنوتیپ‌های DH3، DH9، DH13، DH1،

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-08-23]

[DOI: 10.29252/jcb.11.29.117]

DH7، Billy و Cooper به‌ترتیب با کم‌ترین مقدار SIIG در مرتبه بعدی از نظر حساسیت به خشکی قرار داشتند. سایر ژنوتیپ‌ها در حدفاصل این دو دسته از ژنوتیپ‌ها قرار گرفتند. با نگاهی به جدول ۳ مشخص می‌شود که این ارقام و لاین‌ها پایین‌ترین عملکرد را در شرایط تنش نسبت به سایر ارقام و لاین‌ها داشتند. در واقع شاخص SIIG به‌خوبی توانسته که ارقام و لاین‌ها را از نظر تحمل به خشکی رتبه‌بندی نماید.

بای‌پلات شکل ۱ پراکندگی ژنوتیپ‌ها را بر اساس شاخص‌های MP، GMP، SSI، HM، STI، Yp و Ys را نشان می‌دهد. هم‌چنین، به‌منظور گروه‌بندی بهتر ژنوتیپ‌ها بر مبنای شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی از تجزیّه کلاستر با ضریب تشابه مربع فاصله اقلیدسی[1] و روش وارد[2] استفاده شد (شکل ۱). بر این اساس ژنوتیپ‌ها در ۳ گروه قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های SLM046، Adriana، Savanah، Karun، Triangle، Oase و Lilian در گروه یک قرار گرفتند. ژنوتیپ‌هایSLM046 و Adriana که در گروه ۱ قرار گرفته‌اند از نظر شاخص SIIG جزء بهترین ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به خشکی بودند و آن چنان‌که از بای پلات (شکل ۱) مشخص است، این دو ژنوتیپ در گروه ۲، فاصله بیش‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارند. دابل هاپلوئیدهای DH1، DH3، DH4، DH5 و DH6 در گروه ۳ قرار گرفتند که این ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص SIIG جزء ژنوتیپ‌های ضعیف بودند و سایر ژنوتیپ‌ها در گروه دوم قرار گرفتند. در ضمن در گروه ۲ ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص SIIG جزء ژنوتیپ‌های حساس به خشکی می‌باشند.

جدول ۳- عملکرد دانه تحت شرایط عدم تنش (Yp) و تنش خشکی (Ys) و شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی در ۲۱ لاین و رقم کلزا

Table 3. Grain yield under non-stress (YP) and drought stress (Ys) conditions, and drought tolerance indices of 21 canola genotypes and lines

نام ارقام و لاین‌ها	Yp	Ys	TOL	MP	SSI	GMP	STI	HM
DH1	۲۰۹۸/۶^{gh}	۱۰۱۲/۷$^{g-i}$	۱۰۸۶/۰$^{b-f}$	۱۵۵۵/۶$^{i-k}$	۱/۰۹۷$^{d-f}$	۱۴۵۷/۸$^{j-k}$	۰/۳۴۳$^{i-k}$	۱۳۶۶/۱^{hi}
DH3	۱۹۲۵/۰^{hi}	۸۹۳/۴^{i}	۱۰۳۱/۶$^{b-e}$	۱۴۰۹/۲^{k}	۱/۱۳۷$^{d-f}$	۱۳۱۱/۴^{j}	۰/۲۷۸^{k}	۱۲۲۰/۴^{i}
DH4	۱۹۳۸/۹^{hi}	۱۱۷۲/۳$^{e-i}$	۷۶۶/۶^{b}	۱۵۵۵/۶$^{i-k}$	۰/۸۳۹$^{b-e}$	۱۵۰۷/۶$^{i-k}$	۰/۳۶۷$^{h-k}$	۱۴۶۱/۱$^{f-i}$
DH5	۱۷۰۹/۷^{j}	۱۴۳۶/۰$^{c-f}$	۲۷۳/۷^{a}	۱۵۷۲/۹$^{i-k}$	۰/۳۴۰^{a}	۱۵۶۶/۹$^{g-j}$	۰/۳۹۷$^{g-k}$	۱۵۶۰/۹$^{e-h}$
DH6	۱۸۴۱/۷^{ij}	۱۱۰۹/۴$^{f-i}$	۷۳۲/۲^{b}	۱۴۷۵/۶$^{g-k}$	۰/۸۴۳$^{b-e}$	۱۴۲۹/۴$^{j-k}$	۰/۳۳۰^{jk}	۱۳۸۴/۷^{hi}
DH7	۲۳۷۶/۴^{ef}	۱۱۰۴/۲$^{f-i}$	۱۲۷۲/۲$^{c-g}$	۱۷۴۰/۳$^{g-i}$	۱/۱۳۵$^{d-f}$	۱۶۱۹/۹$^{g-j}$	۰/۴۲۴$^{g-j}$	۱۵۰۷/۸$^{f-i}$
DH8	۲۲۲۳/۶^{fg}	۱۳۲۶/۴$^{c-h}$	۸۹۷/۲^{bc}	۱۷۷۵/۰^{gh}	۰/۸۵۶$^{b-e}$	۱۷۱۷/۴$^{f-i}$	۰/۴۷۶$^{e-i}$	۱۶۶۱/۶$^{d-h}$
DH9	۲۴۳۱/۹^{ef}	۱۰۶۳/۵$^{g-i}$	۱۳۶۸/۴$^{d-g}$	۱۷۴۷/۷$^{g-i}$	۱/۱۹۳^{ef}	۱۶۰۸/۲$^{g-j}$	۰/۴۱۸$^{g-k}$	۱۴۷۹/۹$^{f-i}$
DH10	۲۵۰۸/۳^{e}	۱۵۷۲/۰^{bc}	۹۳۶/۳$^{b-e}$	۲۰۴۰/۲$^{c-f}$	۰/۷۹۲$^{b-d}$	۱۹۸۵/۷$^{c-e}$	۰/۶۳۷^{cd}	۱۹۳۲/۷^{cd}
DH11	۲۳۸۳/۳^{ef}	۱۵۹۲/۹^{bc}	۷۹۰/۴^{b}	۱۹۸۸/۱$^{d-f}$	۰/۷۰۳^{bc}	۱۹۴۸/۴$^{c-f}$	۰/۶۱۳$^{c-e}$	۱۹۰۹/۶^{cd}
DH13	۲۴۵۲/۸^{e}	۱۰۷۶/۴$^{f-i}$	۱۳۷۶/۴$^{e-g}$	۱۷۶۴/۶^{gh}	۱/۱۹۰^{ef}	۱۶۲۴/۹$^{g-j}$	۰/۴۲۶$^{g-j}$	۱۴۹۶/۲$^{f-i}$
Lilian	۲۸۵۵/۶^{bc}	۱۳۴۴/۴$^{c-h}$	۱۵۱۱/۱^{fg}	۲۱۰۰/۰$^{c-e}$	۱/۱۲۲$^{d-f}$	۱۹۵۹/۴$^{c-f}$	۰/۶۲۰$^{c-e}$	۱۸۲۸/۲$^{c-e}$
Billy	۲۷۱۶/۷^{cd}	۱۱۲۵/۰$^{e-i}$	۱۵۹۱/۷^{gh}	۱۹۲۰/۸$^{e-g}$	۱/۲۴۳^{f}	۱۷۴۸/۲$^{e-h}$	۰/۴۹۴$^{e-h}$	۱۵۹۱/۱$^{e-h}$
Adriana	۲۸۱۳/۹^{bc}	۱۸۸۸/۹^{ab}	۹۲۵/۰$^{b-d}$	۲۳۵۱/۴^{ab}	۰/۶۹۷^{b}	۲۳۰۵/۴^{a}	۰/۸۵۹^{ab}	۲۲۶۰/۴^{ab}
Cooper	۲۵۲۹/۲^{de}	۱۲۷۷/۸$^{c-h}$	۱۲۵۱/۴$^{c-g}$	۱۹۰۳/۵^{fg}	۱/۰۴۹$^{c-f}$	۱۷۹۷/۷$^{d-g}$	۰/۵۲۲$^{d-g}$	۱۶۹۷/۸$^{d-g}$
Oase	۳۰۰۸/۳^{b}	۱۳۷۲/۲$^{c-g}$	۱۶۳۶/۱^{gh}	۲۱۹۰/۳^{bc}	۱/۱۵۳^{ef}	۲۰۳۱/۷^{cd}	۰/۶۶۷^{c}	۱۸۸۴/۷$^{c-e}$
Tassilo	۲۳۲۷/۸^{ef}	۹۹۴/۴^{hi}	۱۳۳۳/۳$^{c-g}$	۱۶۶۱/۱^{gh}	۱/۲۱۵^{f}	۱۵۲۱/۴$^{h-k}$	۰/۳۷۴$^{h-k}$	۱۳۹۳/۵$^{g-i}$
Triangle	۳۴۳۸/۸^{a}	۱۴۷۳/۶$^{c-e}$	۱۹۶۵/۲^{h}	۲۴۵۶/۲^{a}	۱/۲۱۲^{f}	۲۲۵۱/۱^{ab}	۰/۸۱۹^{b}	۲۰۶۳/۱^{bc}
Karun	۲۸۵۵/۶^{abc}	۱۵۰۰/۰^{cd}	۱۳۵۵/۶$^{d-g}$	۲۱۷۷/۸$^{b-d}$	۱/۰۰۷$^{b-f}$	۲۰۶۹/۶^{bc}	۰/۶۹۲^{c}	۱۹۶۶/۸^{cd}
Savanah	۲۸۳۴/۷^{bc}	۱۲۵۰/۰$^{c-i}$	۱۵۸۴/۷^{gh}	۲۰۴۲/۴$^{c-f}$	۱/۱۸۶^{ef}	۱۸۸۲/۴$^{c-f}$	۰/۵۷۲$^{c-f}$	۱۷۳۵/۰$^{d-f}$
SLM047	۲۹۸۰/۶^{b}	۲۰۲۸/۵^{a}	۹۵۲/۱$^{b-e}$	۲۵۰۴/۵^{a}	۰/۶۷۷^{b}	۲۴۵۸/۹^{a}	۰/۹۷۷^{a}	۲۴۱۴/۱^{a}
میانگین	۲۴۸۸/۲	۱۳۱۴/۹	۱۱۷۳/۲	۱۹۰۱/۶	۰/۹۸۵	۱۸۰۰/۲	۰/۵۳۸	۱۷۰۵/۵

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حدّاقل یک حرف مشترک می‌باشند براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

فرناندز (۶) در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو شرایط تنش و بدون‌تنش، ژنوتیپ‌ها و لاین‌های دابل‌هاپلوئید را به ۴ گروه A (عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون‌تنش)، B (عملکرد بالا در شرایط بدون‌تنش)، C (عملکرد بالا در شرایط تنش) و D (عملکرد پایین در شرایط بدون‌تنش و تنش) تقسیم نمود. پراکندگی ژنوتیپ‌ها براساس عملکرد در شرایط بدون‌تنش (Yp) و تنش (Ys) و شاخص SIIG در نمودار سه بعدی در شکل ۲ نشان داده شده است. بر این اساس ژنوتیپ‌ها در چهار گروه قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های SLM046 و Adriana در گروه A قرار گرفتند که نشان می‌دهد این ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون‌تنش می‌باشند. ژنوتیپ‌های Triangle، Oase، Lilian، Billy و Savanah در گروه B (عملکرد بالا در شرایط بدون‌تنش) قرار گرفتند و هم‌چنین از مقدار پایین SIIG برخوردار بودند. بر این اساس می‌توان گفت که این ژنوتیپ‌ها مناسب کشت در محیط‌های بدون‌تنش آبی می‌باشند. لاین‌های DH10 و DH11 با داشتن عملکرد بالا در شرایط تنش در گروه C قرار گرفتند. لاین‌های دابل‌هاپلوئید DH1، DH2، DH4، DH7، DH8، DH13، DH5 و ژنوتیپ Tassilo در گروه D (عملکرد پایین در شرایط بدون‌تنش و تنش) قرار گرفت. در جدول ۵، نتایج همبستگی بین شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی و شاخص SIIG نشان داده شده است. نتایج نشان داد که شاخص SIIG با تمام شاخص‌ها (به‌جزء Ys و TOL) همبستگی بالای معنی‌داری دارد. شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) یک مدل گزینش‌گر بوده و به‌منظور انتخاب ایده‌آل‌ترین ارقام و لاین‌ها از بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی به

1- Squared Euclidean distances

2- Ward's method

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-08-23]

[DOI: 10.29252/jcb.11.29.117]

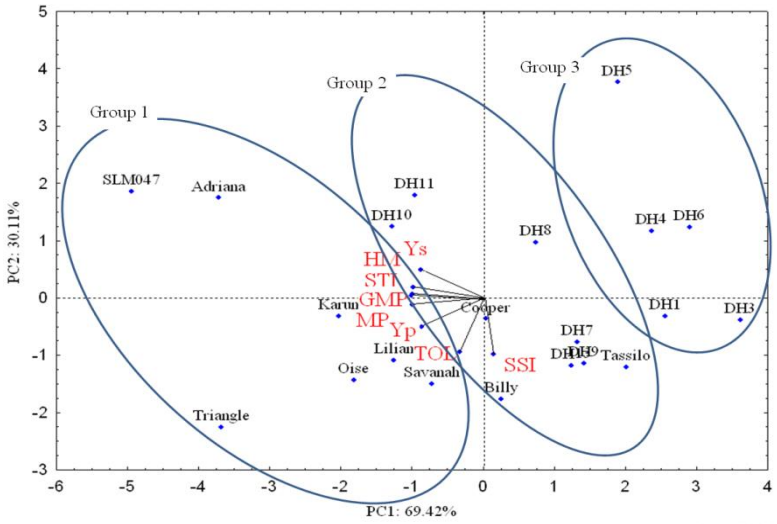
کار می‌رود. محققان می‌توانند از شاخص SIIG، به‌منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها با استفاده از ادغام شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی (۲۱)، پارامترهای تجزیه پایداری (۲۰) یا صفات مختلف، در سایر گیاهان استفاده کنند. به عبارت‌دیگر با استفاده از روش SIIG می‌توان شاخص‌های تحمل به خشکی، پارامترهای مختلف تجزیه پایداری یا صفات مختلف را به صورت یک شاخص واحد درآورد و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر را مطمئن‌تر و دقیق‌تر انجام داد.

جدول ۴- همبستگی بین شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی و روش SIIG

Table 4. Correlation coefficients among drought tolerance indices and SIIG method

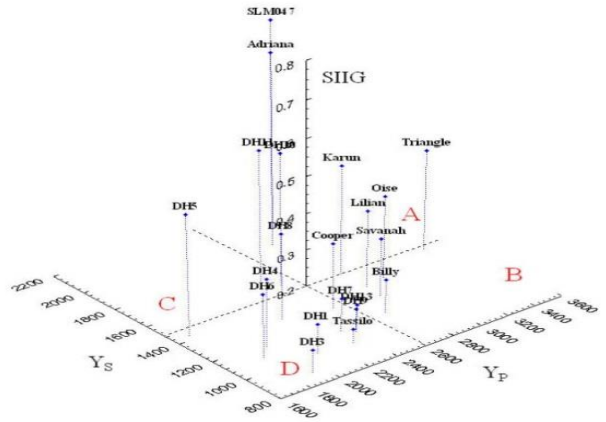
HM	STI	GMP	SSI	MP	TOL	Ys	Yp	
							۰/۵۳۷**	Ys
						۰/۷۰۰**	-۰/۱۶۹ns	TOL
					۰/۴۴۵ns	۰/۹۳۲**	۰/۷۷۳**	MP
				-۰/۰۴۰ns	۰/۸۳۴**	۰/۲۴۵ns	-۰/۶۰۶**	SSI
			-۰/۱۵۸ns	۰/۹۸۶**	۰/۳۳۴ns	۰/۸۸۷**	۰/۸۴۲**	GMP
		۰/۹۹۹**	-۰/۱۵۸ns	۰/۹۸۶**	۰/۳۳۴ns	۰/۸۸۷**	۰/۸۴۲**	STI
	۰/۹۸۱**	۰/۹۸۱**	-۰/۳۰۰ns	۰/۹۴۷**	۰/۱۸۱ns	۰/۷۹۵**	۰/۹۲۱**	HM
۰/۸۳۰**	۰/۷۲۷**	۰/۷۲۷**	-۰/۷۲۹**	۰/۶۴۵**	-۰/۳۳۹ns	۰/۳۷۵ns	۰/۹۷۸**	SIIG

ns و **: غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۱- بای‌پلات ۲۱ لاین و ژنوتیپ کلزا براساس اولین و دومین مؤلفه اصلی (PC) حاصل از شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی و میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون‌تنش

Figure 1. Biplot of 21 lines and genotypes based on first and two main components (PC) from drought tolerance different indexes and yield mean at non-stress and stress conditions



شکل ۲- نمودار سه‌بعدی انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در کلزا بر مبنای عملکرد در شرایط تنش (Ys) و عملکرد شرایط بدون تنش (Yp) و روش SIIG

Figure 2. Three dimensional scatter graph for showing the relationship among yield in stress (Ys), yield in non-stress (Yp) and SIIG method

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-08-23]

[DOI: 10.29252/jcb.11.29.117]

جدول ۵- مقادیر آماره شاخص انتخاب ژنوتیپ ایده‌آل (SIIG) و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر مبنای شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی، صفات مرفولوژیک در شرایط تنش، بدون‌تنش و درصد کاهش عملکرد

Table 5. The selection index of ideal genotype (SIIG) and the ranking of genotypes and lines based on morphological traits at non-stress and stress conditions and drought tolerance indices

نام ارقام و لاین‌ها	SIIG بر مبنای صفات مرفولوژیک				SIIG بر مبنای شاخص‌های تحمل به خشکی				SIIG بر مبنای صفات مرفولوژیک در شرایط تنش، بدون‌تنش و درصد کاهش صفت در شرایط تنش			
	d^+	d^-	SIIG	رتبه	d^+	d^-	SIIG	رتبه	d^+	d^-	SIIG	رتبه
DH1	۰/۲۶۴	۰/۰۴۱	۰/۱۳۵	۲۱	۰/۴۳۶	۰/۱۶۸	۰/۲۷۸	۱۷	۰/۷۹۵	۰/۲۱۱	۰/۲۱۰	۲۱
DH3	۰/۲۲۷	۰/۰۸۸	۰/۲۷۹	۱۹	۰/۴۷۷	۰/۱۶۸	۰/۲۶۰	۲۰	۰/۶۷۰	۰/۳۶۳	۰/۳۵۱	۱۸
DH4	۰/۲۰۳	۰/۱۱۲	۰/۳۵۶	۱۶	۰/۳۸۶	۰/۲۴۱	۰/۳۸۴	۱۱	۰/۵۱۸	۰/۵۴۶	۰/۵۱۳	۱۴
DH5	۰/۱۸۱	۰/۱۲۵	۰/۴۰۹	۱۲	۰/۳۳۹	۰/۳۷۵	۰/۵۲۵	۵	۰/۵۵۲	۰/۵۷۹	۰/۵۱۲	۱۵
DH6	۰/۱۹۴	۰/۱۲۴	۰/۳۹۱	۱۴	۰/۴۰۸	۰/۲۴۰	۰/۳۷۰	۱۳	۰/۴۷۵	۰/۵۶۲	۰/۵۴۲	۱۳
DH7	۰/۱۲۱	۰/۲۲۰	۰/۶۴۵	۵	۰/۴۰۹	۰/۱۶۵	۰/۲۸۸	۱۶	۰/۴۳۴	۰/۵۸۵	۰/۵۷۴	۱۰
DH8	۰/۱۸۳	۰/۱۲۵	۰/۴۰۶	۱۳	۰/۳۳۰	۰/۲۵۰	۰/۴۳۱	۸	۰/۵۰۱	۰/۶۲۱	۰/۵۵۴	۱۲
DH9	۰/۱۵۶	۰/۱۴۸	۰/۴۸۷	۱۰	۰/۴۲۵	۰/۱۵۰	۰/۲۶۱	۱۹	۰/۳۹۹	۰/۶۰۷	۰/۶۰۴	۸
DH10	۰/۱۱۸	۰/۱۸۷	۰/۶۱۳	۶	۰/۲۴۹	۰/۳۱۳	۰/۵۵۷	۴	۰/۴۹۱	۰/۶۱۱	۰/۵۵۵	۱۱
DH11	۰/۱۲۰	۰/۱۸۳	۰/۶۰۳	۷	۰/۲۴۲	۰/۳۲۷	۰/۵۷۵	۳	۰/۲۵۰	۰/۷۷۷	۰/۷۵۶	۲
DH13	۰/۱۱۳	۰/۲۳۹	۰/۶۸۰	۳	۰/۴۲۱	۰/۱۵۳	۰/۲۶۷	۱۸	۰/۳۷۷	۰/۶۳۵	۰/۶۲۷	۶
Lilian	۰/۱۸۱	۰/۱۳۰	۰/۴۱۷	۱۱	۰/۳۴۸	۰/۲۴۰	۰/۴۰۸	۱۰	۰/۳۴۲	۰/۶۷۶	۰/۶۶۴	۴
Billy	۰/۲۱۳	۰/۰۸۹	۰/۲۹۴	۱۸	۰/۴۱۷	۰/۱۶۹	۰/۲۸۸	۱۵	۰/۷۷۸	۰/۲۲۲	۰/۲۲۲	۲۰
Adriana	۰/۱۰۷	۰/۲۱۱	۰/۶۶۴	۴	۰/۱۶۰	۰/۴۱۹	۰/۷۲۳	۲	۰/۴۰۴	۰/۵۸۰	۰/۵۸۹	۹
Cooper	۰/۱۵۴	۰/۱۵۸	۰/۵۰۸	۹	۰/۳۵۲	۰/۲۱۳	۰/۳۷۷	۱۲	۰/۳۳۱	۰/۶۶۷	۰/۶۶۹	۳
Oase	۰/۲۶۱	۰/۰۹۱	۰/۲۵۹	۲۰	۰/۳۵۲	۰/۲۵۹	۰/۴۲۳	۸	۰/۶۱۴	۰/۵۱۲	۰/۴۵۵	۱۶
Tassilo	۰/۱۹۶	۰/۱۰۶	۰/۳۵۲	۱۷	۰/۴۴۷	۰/۱۳۸	۰/۲۳۵	۲۱	۰/۷۰۰	۰/۳۸۴	۰/۳۵۴	۱۷
Triangle	۰/۰۹۶	۰/۲۳	۰/۷۰۸	۲	۰/۳۷۳	۰/۳۵	۰/۴۷۳	۷	۰/۳۸۶	۰/۶۶۱	۰/۶۳۱	۵
Karun	۰/۱۴۷	۰/۱۵۸	۰/۵۱۷	۸	۰/۲۹۳	۰/۲۸۹	۰/۴۹۷	۶	۰/۴۲۱	۰/۶۵۰	۰/۶۰۷	۷
Savanah	۰/۱۹۸	۰/۱۱۰	۰/۳۵۸	۱۵	۰/۳۸۰	۰/۲۱۰	۰/۳۵۶	۱۴	۰/۷۱۹	۰/۲۸۴	۰/۲۸۳	۱۹
SLM047	۰/۰۳۸	۰/۲۶۹	۰/۸۷۶	۱	۰/۱۴۶	۰/۴۷۱	۰/۷۶۳	۱	۰/۲۱۶	۰/۸۱۸	۰/۷۹۱	۱

منابع

1. 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.
2. 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.
3. 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(1): 79-89.
4. Dehghani, G., F. Malek shhi and B. Alizadeh. 2009. A Study of Drought Tolerance Indices in Canola (*Brassica napus* L.) Genotypes. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 13(48): 77-90 (In Persian).
5. Farshadfar, E., S.H. Sabaghpour and H. Zali. 2012. Comparison of parametric and non-parametric stability statistics for selecting stable chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under diverse environments. Australian Journal of Crop Science, 6: 514-524.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Flakelar, C.L., D.J. Luckett, J.A. Howitt, G. Dorana and P.D. Prenzler. 2015. Canola (*Brassica napus*) oil from Australian cultivars shows promising levels of tocopherols and carotenoids, along with good oxidative stability. Journal of Food Composition and Analysis, 42: 179-186.
10. 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.
11. Ghodrati, G.R. 2012. Response of grain yield and yield components of promising genotypes of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) under non-stress and moisture-stressed conditions. Crop Breeding Journal, 2: 49-56.
12. Hwang, C.L. and K.P. Yoon. 1981. Multiple attribute decision making methods and applications. Springer, New York, 350 pp.
13. Majidi, M.M., M.J. Ghahdrijani, F. Rashidi and Mirlohi. 2015. Identification of canola cultivars with drought tolerance indices. Iranian Journal of Agricultural Science, 45(4): 565-573 (In Persian).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-08-23]

[DOI: 10.29252/jcb.11.29.117]

14. 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.
15. Qifuma, S.H., 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.
16. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science, 21: 943-946.
17. 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(4): 417-424.
18. 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.
19. 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(11): 113-122 (In Persian).
20. Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo, A. Asghari and S.M. Hoseini. 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, 7(2): 703-711.
21. Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo, A. Asghari and M. Zeinalabedini. 2016. Appropriate Strategies for Selection of Drought Tolerant Genotypes in Canola. Journal of Crop Breeding, 78(20): 77-90 (In Persian).
22. Zali, H., T. Hasanloo, O. Sofalian, A. Asghari and M. Zeinalabedini. 2016. Drought Stress Effect on Physiological Parameter and Amino Acids Accumulations in. Journal of Crop Breeding, 8(18): 191-203 (In Persian).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-08-23]

[DOI: 10.29252/jcb.11.29.117]

Identifying drought Tolerant Canola Genotypes using Selection Index of Ideal Genotype

Hassan Zali[1], Tahereh Hasanloo[2], Omid Sofalian[3], Ali Asgharii[3] and Mehran Enayati Shariatpanahi[4]

1- Assistant professor, Seed and Plant Improvement Department, Fars Agricultural and Natural Resources, Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran, (Corresponding author: Hzali90@yahoo.com)
2- Assistant professor, Department of Molecular Physiology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), AREEO, Karaj, Iran
3- Associated professor, Plant Breeding Department, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
4- Associated professor, Department of Tissue Culture & Gene Transformation, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), AREEO, Karaj, Iran
Received: May 4, 2017 Accepted: August 13, 2017

Abstract

Drought stress is one of the most important abiotic factors which adversely affects growth, metabolism and yield of crops worldwide. The goal of the research was identify drought tolerate canola genotypes using the different drought tolerance indices. The experiment was conducted as split plot based on randomized complete block design with three replications at the experimental farm of agricultural and natural resources research center, Yazd, Iran .Two irrigation levels consisting of irrigation after 80mm evaporation from class "A" pan as control, no irrigation from flowering stage were applied in main plots and subplots were 21 winter canola cultivars/double haploid. Six drought tolerance indices, including stress tolerance index (STI), geometric mean productivity (GMP), stress susceptibility index (SSI), mean productivity (MP), stress tolerance (TOL), harmonic mean (HM) were used and calculated for all treatments. Then selection index of ideal genotype (SIIG) based on both tolerance indices (STI, GMP, SSI, MP, TOL, and HM) and morphological traits were defined and calculated. Selection index of ideal genotype (SIIG) is a decision making method that is very simple to implement. The results showed water stress negatively affected yield and yield components, plant height, and number of branches of rapeseed genotypes. Based on the results "SLM046" and "Adriana" with maximum SIIG (0.791 and 0.756) were identified as the most ideal genotypes among assessed genotypes. As "SLM046" and "Adriana" genotypes were superior to the other genotypes under drought condition, they can be considered as promising genotypes for drought regions. These results were also approved by three dimensional scatter graphs. It is concluded that selection index of ideal genotype (SIIG) could be serve as an appropriate index to identify drought tolerance genotypes based on a set of drought stress tolerance indices and morphological traits in crops.

Keywords: Canola, Drought, Morphological traits, SIIG method

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2025-08-23]

[DOI: 10.29252/jcb.11.29.117]