مجله به‌زراعی نهال و بذر
جلد ۲-۲۸ ، شماره ۲، سال ۱۳۹۱

ارزیابی تحمل به خشکی انتهایی لاین‌های امیدبخش کلزا بهاره (*Brassica napus* L.)

Evaluation of Terminal Drought Tolerance in Spring Rapeseed (*Brassica napus* L.) Promising Lines

غلامرضا قدرتی

عضو هیأت علمی، مرکز تحقیقات کشارزی صفی‌آباد، دزفول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۸/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۴/۲۹

چکیده

قدرتی، غ. ۱۳۹۱. ارزیابی تحمل به خشکی انتهایی لاین‌های امیدبخش کلزا بهاره (*Brassica napus* L.). **مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۲۸ (۲):** ۲۳۷ - ۲۲۵.

به منظور ارزیابی تحمل به خشکی انتهای فصل در لاین‌های امید بخش کلزای بهاره تعداد ۱۱ لاین بهاره به همراه رقم هایولا ۴۰۱ به عنوان شاهد در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی طی دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بر اساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل به تنش (TOL) لاین‌های L5 و L1 به عنوان لاین‌های متحمل‌تر شناخته شدند. شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) که مقادیر بالای آن نشان‌دهنده تحمل به تنش خشکی می‌باشد، ژنوتیپ‌های هایولا ۴۰۱ و L1 را به عنوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط عادی و تنش تعیین کردند. با در نظر گرفتن کلیه شاخص‌ها و با توجه به اینکه لاین‌های متحمل برتر باید دارای عملکرد بالا در شرایط عادی و حداقل کاهش عملکرد در شرایط تنش باشند. هایولا ۴۰۱ و L1 به عنوان ژنوتیپ‌های مناسب برای شرایط تنش خشکی انتهای فصل انتخاب شدند. همچنین با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص‌های STI، GMP و MP با عملکرد دانه در شرایط مطلوب و تنش، در مجموع این شاخص‌ها به عنوان معیارهای مناسب جهت شناسایی لاین‌های امید بخش کلزای بهاره متحمل به تنش خشکی انتهای فصل شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: کلزا، تنش خشکی انتهایی، شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده: grgh2005@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

تنش خشکی مهمترین عامل محدود کننده محصولات در سیستم‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک به حساب می‌آید (Debaeke and Abdellah, 2004). کلزا دومین منبع مهم تولید روغن خوراکی بعد از سویا در جهان می‌باشد(FAO, 2007). در این گیاه مراحل گلدهی و تشکیل خورجین‌ها، از حساسترین مراحل به تنش خشکی می‌باشند (Sinaki *et al.*, 2007). بررسی‌های انجام شده نشان داد که برخورد مراحل زایشی گیاه با تنش خشکی، موجب کاهش اکثر صفات وابسته به عملکرد در کلزا نظیر تعداد خورجین در گیاه، وزن هزار دانه و تعداد دانه درخورجین شده و نهایتاً کاهش عملکرد دانه می‌باشد (Ma *et al.*, 2006; Ghodrati, 2012).

یکی از راه‌های مقابله با تنش خشکی، اصلاح گیاهان متحمل و زودرس است و شناخت این موضوع که هریک از گیاهان یا ژنوتیپ‌ها چگونه با تنش مقابله می‌کنند، حائز اهمیت می‌باشد (Koocheki *et al.*, 2006). تاکنون روش‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش گیاهان زراعی نسبت به انواع تنش‌ها ارائه، و مورد استفاده اصلاح‌گران قرار گرفته است. فرناندز (Fernandez, 1992) در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو محیط(تنش و شرایط عادی) واکنش گیاهان را به چهار گروه تقسیم کرد: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط عملکرد بالایی دارند(گروه A)، ژنوتیپ‌هایی که در شرایط عادی عملکرد بالایی دارند(گروه B)، ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش عملکرد خوبی دارند(گروه C) و ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط دارای عملکرد پایینی هستند(گروه D). او معتقد است مناسب‌ترین معیار برای انتخاب برای تنش، معیاری است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها باشد. روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) شاخص تحمل (Tolerance = TOL) و میانگین بهره‌وری (Mean Productivity = MP) را ارائه کردند. مقادیر بالای شاخص تحمل نمایانگر حساسیت بیشتر لاین‌ها به خشکی بوده و هر چه میزان این شاخص پایین‌تر باشد، مطلوب‌تر خواهد بود. MP قادر به تفکیک لاین‌های گروه A از B نیست و انتخاب بر اساس مقادیر بالای MP انجام می‌شود. فیشر و مورر (Fisher and Maurer, 1978) شاخص حساسیت تنش (Stress Susceptibility Index = SSI) را پیشنهاد کردند. انتخاب براساس این شاخص باعث گزینش لاین‌هایی با عملکرد پایین در شرایط نرمال ولی عملکرد بالا در شرایط تنش می‌شود. این شاخص قادر به تفکیک گروه A از C نیست. فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index = STI) را معرفی کرد. مقادیر بالای این شاخص برای یک لاین، نشان‌دهنده تحمل به خشکی بالاتر و عملکرد بالقوه بیشتر آن لاین است. این شاخص قادر به تفکیک و جداسازی

Archive of SID

www.SID.ir

گروه A از گروه‌های C و B است. او شاخص دیگری تحت عنوان میانگین هندسی بهره‌وری (Geometric Mean Producttivity = GMP) ارائه کرد که حساسیت کمتری نسبت به عملکرد در شرایط نرمال و تنش دارد. میانگین هندسی در مقایسه با MP قدرت بالاتری در تفکیک گروه A از سایر گروه‌ها دارد. طبق نظر فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص‌هایی که در دو محیط نرمال و تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند. روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) اظهار داشتند که انتخاب معیار گزینش، به هدف اصلاح‌گر بستگی دارد. اگر افزایش عملکرد در شرایط تنش مد نظر اصلاح‌گر باشد، شاخص TOL می‌تواند مفید باشد، اما اگر افزایش عملکرد در هر دو محیط عادی و تنش مورد نظر اصلاح‌گر باشد، بهتر است گزینش بر اساس MP انجام شود. محققین در بررسی این شاخص‌ها به این نتیجه رسیدند که کارآمدی شاخص‌های انتخاب، به شدت تنش محیط هدف بستگی دارد (Panthuwan *et al.*, 2002; Blum, 1996). شاخص SSI برای اصلاح تحت تنش‌هایی با شدت کم مناسب می‌باشد، در صورتی که شاخص‌های MP، GMP و STI برای تنش‌هایی با شدت بالا پیشنهاد می‌شوند (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006).

با توجه به نیاز روز افزون کشور برای تامین روغن خوراکی و همچنین بروز خشکسالی‌های مکرر، شناسایی ارقام کلزا که در شرایط محدودیت آب، بتوانند عملکرد قابل قبولی تولید کنند، از اهمیت خاصی برخوردار است (Ghodrati, 2012). هدف از این پژوهش، ارزیابی تحمل به تنش خشکی در مراحل انتهایی رشد با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و تعیین بهترین معیار گزینش و ارقام برتر کلزا بود.

مواد و روش‌ها

این بررسی در دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۸۲ متر از سطح دریای آزاد اجرا شد. خاک محل آزمایش دارای بافت لومی- رسی با pH = ۷/۶۴ و EC = ۰/۵۷ دسی‌زیمنس بر متر بود. پس از عملیات تهیه زمین به منظور مبارزه با علف‌های هرز از علف‌کش ترفلان به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار به صورت پیش کاشت استفاده گردید. تجزیه خاک محل آزمایش نشان داد که وضعیت خاک از نظر مواد آلی(۰/۷۲ درصد)، فسفر(۸/۵ پی‌پی‌ام) و پتاسیم (۱۷۸ پی‌پی‌ام) و در طبقه متوسط بود. مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به صورت پایه مصرف گردید. باقی‌مانده کود

Archive of SID

www.SID.ir

نیتروژن مورد نیاز به صورت سرک اوره در دو مرحله ۶-۴ برگی به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و مرحله غنچه‌دهی به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در اختیار گیاه قرار گرفت. میانگین بلندمدت بارندگی سالانه در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول ۳۱۹/۸ میلی‌متر است. نزولات جوی به صورت باران بوده که عمدتاً در فصول پاییز و زمستان و مقداری نیز در بهار باریده می‌شود. با توجه به اینکه دوره رشد کلزا در این بررسی از نیمه دوم آبان تا نیمه دوم اردیبهشت بود، به منظور آشنایی بیشتر با شرایط اقلیمی محل انجام آزمایش، میزان دما و بارندگی در طی سال‌های انجام آزمایش به همراه میانگین ۲۵ ساله مرکز صفی‌آباد در جدول ۱ ارائه شده است.

در این آزمایش ۱۱ لاین امیدبخش بهاره کلزا، به دست آمده از ژرم‌پلاسم حاصل از دورگ‌گیری، جمعیت‌های F_2 هیبریدهای برتر و یا تنوع ژنتیکی موجود درارقام آزاد گرده‌افشان، به همراه رقم هایولا۴۰۱ به عنوان شاهد در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی به صورت دو آزمایش جداگانه و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار شرکت داشتند (جدول ۲). هر کرت آزمایشی شامل شش خط کشت به طول پنج متر بود که بر روی سه پشته ۷۵ سانتی‌متری (هر پشته شامل دو خط کشت) کشت شد. کاشت لاین‌ها در نیمه دوم آبان هر سال به وسیله ردیف‌کار مخصوص دانه‌های روغنی انجام و کنترل علف‌های هرز به صورت دستی صورت گرفت. آبیاری آزمایش در شرایط مطلوب بر اساس ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A تا مرحله رسیدگی کامل صورت گرفت و آزمایش در شرایط تنش با قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی تا رسیدگی کامل همراه بود. در مرحله رسیدگی کامل میزان عملکرد دانه در هر پلات آزمایشی پس از حذف خطوط و فواصل حاشیه از مساحت شش متر مربع برداشت گردید و با استفاده از عملکرد لاین‌ها در شرایط بدون تنش و تنش شاخص‌های تحمل به خشکی به شرح ذیل محاسبه شدند:

شاخص حساسیت به تنش	$SSI = 1-(Y_S/Y_P)/SI$	(Fischer and Maurer, 1978)
شدت تنش	$SI = 1-(\overline{Y}_S/\overline{Y}_P)$	(Fischer and Maurer, 1978)
شاخص تحمل	$TOL = Y_P-Y_S$	(Rosielle and Hamblin, 1984)
شاخص میانگین بهره‌وری	$MP = (Y_P+Y_S)/2$	(Rosielle and Hamblin, 1984)
شاخص تحمل به تنش	$STI = (Y_P)(Y_S)/(\overline{Y}_P)^2$	(Fernandez, 1992)
شاخص میانگین هندسی بهره‌وری	$GMP = \sqrt{(Y_S)(Y_P)}$	(Fernandez, 1992)
شاخص عملکرد	$YI = Y_S/\overline{Y}_S$	(Gavuzzi *et al*., 1997)
شاخص پایداری عملکرد	$YSI = Y_S/Y_P$	(Bouslama and Schapaugh, 1984)
درصد کاهش	$\%Reduction = ((Y_P-Y_S)/Y_P))\times100$	(Choukan *et al*., 2006)

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- میانگین دما و بارندگی برای بلندمدت و دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول

Table 1. Mean air temperature and rainfall for 2008-09 and 2009-10 growing seasons and long-term at Agricultural Research Center of Safiabad, Dezfoul, Iran

		Rainfall (mm) بارندگی (میلی‌متر)			Temperature (ºC) دما (سانتی‌گراد)		
		2008-09	2009-10	1985-2010	2008-09	2009-10	1985-2010
Sep-Oct	مهر	3.0	12.5	0.8	33.1	30.9	31.1
Oct-Nov	آبان	8.0	66.9	11.1	26.2	26.5	26.0
Nov-Dec	آذر	84.1	38.0	35.2	18.9	19.3	18.9
Dec-Jan	دی	0.0	46.0	72.0	13.2	14.7	13.9
Jan-Feb	بهمن	22.5	36.7	69.8	11.2	14.3	12.7
Feb-Mar	اسفند	16.0	25.1	46.5	15.6	16.1	13.6
Mar-Apr	فروردین	10.9	1.8	49.8	18.0	20.3	17.3
Apr-May	اردیبهشت	18.7	69.3	28.3	22.3	24.3	22.9
May-Jun	خرداد	7.7	33.0	6.1	30.7	29.5	29.2
Jun-Jul	تیر	0.0	0.0	0.1	34.7	35.5	33.8
Jul-Aug	مرداد	0.0	0.0	0.1	36.1	37.6	36.0
Aug-Sep	شهریور	0.0	0.0	0.0	35.9	30.8	35.4
Total	مقدار کل	170.9	329.3	319.8	---	---	---

ماخذ: ایستگاه هواشناسی صفی آباد، دزفول، ایران (منتشر نشده).

Agro-meteorological office of Safiabad, Dezfoul, Iran (unpublished date).

جدول ۲- شجره لاین‌های بهاره کلزا

Table 2. Pedigree of spring rapeseed lines

لاین Line	شجره Pedigree	لاین Line	شجره Pedigree
L1	Sarigol × Bolero	L7	Fusia × Goliat
L2	Fusia × Goliat	L8	Option500 (Selection in OP cultivar)
L3	Hyola420 (Selection in OP cultivar)	L9	RGS003 (Selection in OP cultivar)
L4	Option500 (Selection in OP cultivar)	L10	Sarigol × Bolero
L5	RGS003 (Selection in OP cultivar)	L11	Option500 (Selection in OP cultivar)
L6	RGS003 (selection in OP cultivar)	H401	Hyola401

عملکرد دانه در شرایط بدون تنش(Y_P) و تنش (Y_S) با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ مقایسه شدند. ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها و Y_P و Y_S به کمک نرم‌افزار SPSS محاسبه شد.

نتایج و بحث

از تجزیه واریانس داده‌ها برای عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین لاین‌های مورد

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه لاین‌های کلزا در شرایط تنش (Y_s) و بدون تنش (Y_p)

Table 3. Combined analysis of variance for seed yield of canola lines under stress (Y_s) and non-stress (Y_p) conditions

S.O.V.	منابع تغییرات	درجه آزادی df.	میانگین مربعات MS Y_p	Y_s
Year (Y)	سال	1	9116378**	34589571**
Replication/year	تکرار/سال	4	63870	10419
Genotype (G)	ژنوتیپ	11	290743**	296544**
Y × G	سال × ژنوتیپ	11	203259**	102896**
Error	خطا	44	58013	22673
C.V.%	ضریب تغییرات (٪)	---	10.65	8.91

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

بررسی وجود داشت (جدول ۳). بیشترین میانگین عملکرد دانه (۲۵۳۷ کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون تنش مربوط به رقم هایولا ۴۰۱ و در شرایط تنش نیز مربوط به رقم هایولا ۴۰۱ با ۱۹۷۴ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها در هر دو محیط به تفکیک نشان داد که تفاوت لاین‌ها در شرایط تنش بیشتر از شرایط بدون تنش بود. بنابراین به نظر می‌رسد لاین‌ها از نظر واکنش به تنش از حساسیت یا مقاومت متفاوتی برخوردار بودند (Ghodrati, 2012).

در این پژوهش شدت تنش (SI) برابر ۰/۲۵ برآورد شد. لازم به ذکر است که این شاخص تنها برای اندازه‌گیری شدت تنش خشکی در آزمایش‌ها قابل محاسبه است و برای اندازه‌گیری شدت تنش در ارقام کاربرد ندارد (Fischer and Maurer, 1978).

بیشترین کاهش عملکرد دانه (۳۵/۷ ٪) ناشی از تنش خشکی در لاین L10 اتفاق افتاد، در حالیکه کمترین کاهش عملکرد دانه (۱۰/۹ ٪) در لاین L5 مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین مقدار شاخص‌های TOL و SSI متعلق به لاین L10 بود و لاین L5 دارای کمترین مقدار شاخص TOL و SSI بود (جدول ۴).

بر اساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل (TOL) که مقادیر عددی کمتر آنها بیانگر تحمل بالای رقم نسبت به تنش می‌باشد (Choukan *et al.*, 2006)، لاین‌های L5 و L1 به ترتیب با عملکرد ۱۹۰۹ و ۱۹۷۴ کیلوگرم در هکتار به عنوان ارقام متحمل به تنش شناخته شدند (جدول ۳). شاخص SSI و TOL مواد آزمایشی را فقط براساس مقاومت و حساسیت به تنش، و بدون توجه به پتانسیل عملکرد آنها دسته‌بندی می‌کنند. بنابر این دو رقم با عملکرد بالا یا کم در دو محیط می‌توانند مقدار SSI و TOL یکسانی داشته باشند،

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴– میانگین عملکرد دانه لاین‌های کلزا در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی

Table 4. Means for seed yield under stress and non-stress conditions and different drought tolerance indices for canola lines

لاین	عملکرد دانه در شرایط بدون تنش	عملکرد دانه در شرایط تنش								درصد کاهش
Line	Y_p	Y_s	SSI	TOL	MP	STI	GMP	YI	YSI	%Reduction
L1	2362	1974	0.65	387	2168	0.91	2159	1.17	0.84	16.4
L2	2276	1644	1.10	633	1960	0.73	1934	0.97	0.72	27.8
L3	1919	1420	1.03	499	1670	0.53	1651	0.84	0.74	26.0
L4	2511	1790	1.14	721	2151	0.88	2120	1.06	0.71	28.7
L5	2142	1909	0.43	233	2025	0.80	2022	1.13	0.89	10.9
L6	2208	1671	0.96	538	1940	0.72	1921	0.99	0.76	24.3
L7	1826	1318	1.10	508	1572	0.47	1551	0.78	0.72	27.8
L8	2282	1649	1.10	633	1965	0.74	1940	0.98	0.72	27.8
L9	2414	1746	1.10	668	2080	0.82	2053	1.03	0.72	27.7
L10	2207	1419	1.41	788	1813	0.61	1770	0.84	0.64	35.7
L11	2446	1718	1.18	728	2082	0.82	2050	1.02	0.70	29.8
H401	2537	2025	0.80	512	2281	1.01	2267	1.20	0.80	20.2

Y_S: Seed yield under stress conditions (kg ha^{-1}) — عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (کیلوگرم در هکتار)

Y_p: Seed yield under non-stress conditions (kg ha^{-1}) — عملکرد دانه در شرایط بدون تنش خشکی (کیلوگرم در هکتار)

TOL: Tolerance index — شاخص تحمل

MP: Mean productivity — شاخص بهره‌وری متوسط

SSI: Stress susceptibility index — شاخص حساسیت به تنش

STI: Stress tolerance index — شاخص تحمل به تنش

GMP: Geometric mean productivity — شاخص میانگین هندسی بهره‌وری

YI: Seed yield index — شاخص عملکرد دانه

YSI: Seed yield stability index — شاخص پایداری عملکرد

بنابراین انتخاب فقط بر اساس این شاخص‌ها در بعضی از مواقع به‌نژادگران را به اشتباه می‌اندازد (Naderi *et al.*, 2000). با توجه به مقادیر اشاره شده در جدول ۴ ، لاین‌های L5 و L1 علاوه بر تولید عملکرد نسبتاً مناسب در شرایط تنش، به علت پایین بودن درصد تغییرات عملکرد در شرایط مختلف بوسیله این شاخص‌ها به عنوان لاین‌های متحمل به تنش شناسایی شدند. مقدم و هادی‌زاده (Moghaddam and Hadizadeh, 2002) در گزارش خود عنوان کردند که پایین بودن شاخص TOL الزاماً به معنای بالا بودن عملکرد رقم در محیط بدون تنش نمی‌باشد، چون ممکن است عملکرد رقمی در شرایط عادی پایین باشد و در شرایط تنش نیز با افت کمتری همراه باشد، و این باعث کوچک شدن شاخص TOL خواهد شد، همانند لاین L7 که دارای پتانسیل عملکرد پائین بود (جدول ۴).

استفاده از شاخص میانگین بهره‌وری (MP) که مقادیر بالای عددی آن نشان‌دهنده تحمل نسبی به تنش می‌باشد و اغلب منجر به

Archive of SID

www.SID.ir

گزینش ارقامی با عملکرد بالا در شرایط مطلوب ولی با تحمل کمتر به شرایط تنش می‌گردد (Rosielle and Hamblin, 1984). در این بررسی به ترتیب رقم هایولا ۴۰۱ (شاهد) و لاین L1 را که دارای پتانسیل عملکرد نسبتاً مطلوب در هر دو شرایط آزمایش بودند به کمک شاخص MP به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناسایی شدند (جدول ۴). احمد زاده (Ahmadzadeh, 1997) شاخص MP را معیار مناسبی برای گزینش لاین‌های پرمحصول و متحمل به خشکی ذرت معرفی کرد. سی وسه مرده و همکاران (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006) گزارش کردند که شاخص MP زمانی برای انتخاب ژنوتیپ‌های تحت شرایط تنش بازده دارد که شدت تنش زیاد نبوده و اختلاف بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش خیلی زیاد نباشد.

بر اساس نظر پژوهشگران بهترین شاخص برای گزینش ارقام، شاخص تحمل به تنش (STI) می‌باشد، چون قادر است ارقامی را که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش عملکرد بالایی دارند (گروه A) را از دو گروه B و C، تفکیک نماید (Fernandez, 1992; Khalilzadeh and Karbalai-Khiavi, 2002; Sadeghzadeh-Ahari, 2006). فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص‌های تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) را به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌های گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد مطلوب، توصیه می‌کند. با توجه به اینکه مقادیر بالای شاخص‌های STI و GMP نشان‌دهنده تحمل ارقام می‌باشند، رقم هایولا ۴۰۱ و L1 به ترتیب با عملکرد ۲۰۲۵ و ۱۹۷۴ کیلوگرم در هکتار به عنوان ارقام متحمل شناسایی شدند. بهمرام و همکاران (Behmaram *et al.*, 2006) در گزارش‌های خود در زمینه ارزیابی تحمل به خشکی ارقام بهاره کلزا عنوان کردند که شاخص STI بهتر از شاخص‌های SSI و TOL می‌تواند در ارزیابی تحمل به خشکی ارقام کاربرد داشته باشد.

برای شاخص پایداری عملکرد دانه (YSI) مقادیر عددی بیشتر از واحد نشان‌دهنده حساسیت ژنوتیپ و ضعف پایداری عملکرد در شرایط تنش می‌باشد (Eberhart and Russel, 1966). دو شاخص پایداری عملکرد (YSI) و شاخص درصد کاهش عملکرد در واقع ارقام را در جهت عکس همدیگر گزینش می‌کنند. به عبارت دیگر رقمی که توسط شاخص YSI به عنوان رقمی با پایداری بالای عملکرد در شرایط تنش معرفی می‌شود، از پایین‌ترین میزان تغییر و یا کاهش عملکرد برخوردار می‌باشد. در این پژوهش لاین‌های L5 و L1 از نظر شاخص YSI به ترتیب در رتبه اول و دوم نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها قرار گرفتند، در حالی که از نظر شاخص درصدکاهش در پائین‌ترین رتبه‌ها جای داشتند. با توجه به این شاخص لاین L10 دارای پایین‌ترین میزان پایداری عملکرد، یا

Archive of SID

www.SID.ir

به عبارتی بیشترین درصد کاهش عملکرد بود که نشان‌دهنده حساسیت بالای این لاین نسبت به تنش می‌باشد (جدول ۴). در واقع شاخص YSI نشان‌دهنده میزان مقاومت ژنتیکی رقم به تنش خشکی است (Bouslama and Schapaugh, 1984). با توجه به اینکه مبنای گزینش این دو شاخص نیز همانند شاخص TOL بر پایه میزان تغییر عملکرد در دو محیط بدون تنش و تنش می‌باشد، بنابراین میتوان نتیجه گرفت که دو شاخص ذکر شده نیز فاقد توانایی لازم برای انتخاب ارقام با عملکرد بالا در هر دو محیط (گروه A) می‌باشند.

با توجه به اینکه شاخص عملکرد (YI) از نسبت عملکرد رقم در شرایط تنش به میانگین عملکرد کلیه ارقام در شرایط تنش محاسبه می‌گردد، بنابراین موجب رتبه‌بندی ارقام برحسب میزان عملکرد تولیدی آنها در محیط تنش می‌گردد (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006). هر چند که بر اساس نظر گاوازی و همکاران (Gavuzzi *et al.*, 1997) شاخص YI برای گزینش ارقام گروه A بازده ندارد ولی در این پژوهش رقم هایولا ۴۰۱ و لاین‌های L1 و L5 به ترتیب مقادیر YI بالاتری را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

فرناندز (Fernandez, 1992)، خلیل‌زاده و کربلایی خیاوی (Khalilzadeh and Karbalai-Khiavi, 2002) و فرشادفر و همکاران (Farshadfar *et al.*, 2001) گزارش کردند شاخص‌هایی که در هر دو محیط تنش و نرمال همبستگی بالایی با عملکرد داشته باشند به عنوان بهترین شاخص‌ها انتخاب می‌شوند. نتایج حاصل از بررسی ضرایب همبستگی بین شاخص‌های ذکر شده و عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و تنش در جدول ۵ ارائه شده است.

در شرایط تنش همبستگی شاخص SSI با عملکرد معنی‌دار اما منفی بود (جدول ۵). از آنجاییکه لاین‌هایی با مقادیر کوچک‌تر SSI به عنوان لاین‌های تحمل کننده شناخته می شوند انتخاب بر اساس این شاخص باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد بالایی در محیط دارای تنش داشته ولی عملکرد آن‌ها در محیط بدون تنش پائین است. بنابراین شاخص SSI نمی‌توانند در شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم مفید باشند. در این پژوهش شاخص TOL در هیچ‌کدام از شرایط آبیاری با عملکرد دانه همبستگی معنی‌داری نداشت، ولی با شاخص‌های SSI و YSI همبستگی منفی کاملاً معنی‌داری داشت (جدول ۵). بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش استفاده از شاخص TOL برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی کلزا مناسب نمی‌باشد.

همبستگی شاخص‌های MP، GMP، STI و YI با عملکرد دانه در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی، مثبت و کاملاً معنی‌دار بود (جدول ۵). بنابراین رقم هایولا ۴۰۱ و

www.SID.ir

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی با عملکرد دانه لاین‌های کلزا در شرایط تنش و بدون تنش

Table 5. Correlation coefficients between drought tolerance indices and seed yield of canola lines under stress and non-stress conditions

	Y_p	Y_s	SSI	TOL	MP	STI	GMP	YI	YSI	%R
Y_p	1									
Y_s	0.747**	1								
SSI	-0.015ns	-0.675*	1							
TOL	0.343 ns	-0.368 ns	0.932**	1						
MP	0.934**	0.935**	-0.370 ns	-0.015 ns	1					
STI	0.906**	0.955**	-0.428 ns	-0.082 ns	0.996**	1				
GMP	0.915**	0.951**	-0.416 ns	-0.064 ns	0.999**	0.998**	1			
YI	0.747**	1.000**	-0.674*	-0.367 ns	0.935**	0.955**	0.952**	1		
YSI	0.019 ns	0.679*	-1.000**	-0.931**	0.375 ns	0.433 ns	0.420 ns	0.678*	1	
%R	-0.020 ns	-0.679*	1.000**	0.931**	-0.375 ns	-0.432 ns	-0.420 ns	-0.678*	-1.000**	1

* and **: Significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

ns: Not significant

Y_S: Seed yield under stress conditions (kg ha^{-1})

Y_p: Seed yield under non-stress conditions (kg ha^{-1})

TOL: Tolerance index

MP: Mean productivity

SSI: Stress susceptibility index

STI: Stress tolerance index

GMP: Geometric mean Productivity

YI: Seed yield index

YSI: Seed Yield stability index

%R= % Reduction

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns: غیرمعنی‌دار

عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی (کیلوگرم در هکتار)

عملکرد دانه در شرایط بدون تنش خشکی (کیلوگرم در هکتار)

شاخص تحمل

شاخص بهره‌وری متوسط

شاخص حساسیت به تنش

شاخص تحمل به تنش

شاخص میانگین هندسی بهره‌وری

شاخص عملکرد دانه

شاخص پایداری عملکرد

%R= درصد کاهش

Archive of SID

www.SID.ir

لاین‌های L1 و L5 که بر اساس شاخص‌های فوق برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند، به عنوان لاین‌های برتر در هر دو شرایط آبیاری شناخته شدند. با نگاهی دقیق‌تر به ضرایب همبستگی شاخص‌های فوق با عملکرد دانه در هر دو شرایط آبیاری متوجه خواهیم شد که به جز شاخص YI، برای بقیه شاخص‌ها ضرایب همبستگی حدود r = ۰/۹۰ می‌باشد.

بنابراین در جمع‌بندی نهایی، نتایج حاصل از بررسی ضرایب همبستگی عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی انتهای فصل رشد گیاه و بدون تنش با شاخص‌های تحمل به خشکی در این پژوهش نشان می‌دهد که شاخص‌های GMP، STI و MP شاخص‌های مناسبتری برای گزینش و تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی آخر فصل در بین ارقام کلزا بهاره می‌باشند که با گزارشات شفازاده و همکاران (Shafazadeh *et al.*, 2004)، نعیمی و همکاران (Naeemi *et al.*, 2009) کاملاً موافقت دارد. رقم هایولا ۴۰۱ و لاین L1 نیز به عنوان ارقام متحمل به تنش خشکی آخر فصل شناسایی شدند.

References

Ahmadzadeh, A. 1997. Definition of the best drought tolerant index in corn selected lines. M.Sc. thesis in plant breeding. The University of Tehran, Karaj, Iran. 238 pp.

Behmaram, R. A., Faraji, A., and Amiari-Oghan, H. 2006. Evaluation of drought tolerance in spring rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). Pp. 496. In: Proceedings of the 9th Iranian Crop Science Congress.

Blum, A. 1996. Crop response to drought and the interpretation of adaptation. Journal of Plant Growth Regulation 20: 135-148.

Bouslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science 24:933-937.

Choukan, R., Taherkhani, T., Ghannadha, M. R., and Khodarahmi, M. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. Iranian Journal of Agricultural Sciences 8 (1): 79-89.

Debaeke, P., and Abdellah, A. 2004. Adaptation of crop management to water limited environments. European Journal of Agronomy 21: 433-446.

Eberhart, S. A., and Russel, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science 6: 36-40.

Archive of SID

www.SID.ir

FAO. 2007. Food outlook: Global Market Analysis. http://www.fao.Food outlook.com

Farshadfar, E. A., Zamani, M. R., Matlabi, M., and Emam-Jome, E. E. 2001. Selection for drought resistance chickpea lines. Iranian Journal of Agricultural Sciences 32 (1): 65-77.

Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (Ed.), Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress, AVRDC Publication. Tainan, Taiwan.

Fischer, R. A., Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: grain yield response. Australian Journal of Agricultural Research 29: 897- 912.

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L., and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science 77: 523-531.

Ghodrati, G. 2012. Response of grain yield and yield components of promising genotypes of rapeseed (*Brassica napus* L.) under non-stress and moisture stress conditions. Crop Breeding Journal 2(1): 49-56.

Khalilzadeh, G., and Karbalai-Khiavi, H. 2002. Investigation of drought and heat stress on advanced lines of durum wheat. Pp. 563-564. In: Proceedings of the 7th Iranian Congress of Crop Sciences.

Koocheki, A. R., Yazdansepas, A., and Nikkhah, H. R. 2006. Effect of terminal drought on grain yield and some morphological traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences 8 (1): 14-29.

Ma, Q., Niknam, S. R., and Turner, D. W. 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(2): 221-226.

Moghaddam, A., and Hadizadeh, M. H. 2002. Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. Seed and Plant 18 (3): 255-272.

Naderi, A., Majidi-Hervan, E., Hashemi-Dezfoli, A., Rezaei, A., and Nour Mohammadi, G. 2000. Efficiency analysis of indices for tolerance to environmental stresses in field crops and introduction of a new index. Seed and Plant 15 (4): 390-402.

Archive of SID

www.SID.ir

Naeemi, M., Akbari, G. A., Shirani Rad, A. H ., Modares Sanavi, S. A. M., Sadat Nouri, S. A., and Jabari, H., 2009. Evaluation of drought tolerance in different Canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. Electronic Journal of Crop Production 1 (3): 83-98.

Panthuwan, G., Fokai, S., Cooper, M., Rajatasereekul, S., and O' Toole, J. C. 2002. Yield response of rice genotypes to different types of drought under rainfed lowlands. Part1: grain yield and yield components. Field Crops Research 41:45-54.

Rosielle, A. A. and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science 21: 943-946.

Sadeghzadeh-Ahari, D. 2006. Evaluation for tolerance to drought stress in dry land promising durum wheat genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences 8 (1): 30-45.

Shafazadeh, M. K., Yazdansepas, A., Amini, A., and Ghannadha, M. R. 2004. Study of terminal drought tolerance in promising winter and facultative wheat genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. Seed and Plant 20 (1): 57-71.

Sinaki, J. M., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A. H., Noormohamadi, G., and Zarei, G. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*B. napus* L.). American- Eurasia Journal of Agriculture and Environment 2(4): 417-424.

Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research 98: 222-229.

Archive of SID

www.SID.ir