Archive of SID

"نهال و بذر"
جلد ۱۸، شماره ۳، آذر ۱۳۸۱

عکس‌العمل هیبریدهای ذرت (*Zea mays* L.) و لاین‌های والدی آن‌ها به خشکی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش

Response of Corn (*Zea mays* L.) Hybrids and Their Parental Lines to Drought Using Different Stress Tolerance Indices

علی مقدم و محمدحسن هادی‌زاده

مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر

تاریخ دریافت: ۸۰/۳/۲۲

چکیده

مقدم، ع.، و هادی‌زاده، م.ح. ۱۳۸۱. عکس‌العمل هیبریدهای ذرت (*Zea mays* L.) و لاین‌های والدی آن‌ها به خشکی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش. **نهال و بذر** ۱۸: ۲۷۲-۲۵۵.

به منظور بررسی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های مختلف ذرت، آزمایشی به مدت دو سال (۷۶-۱۳۷۵) در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج بـه اجـرا درآمـد. قـالب طـرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود که سه هیبرید تجارتی دیررس به نام‌هـای SC711، SC704 و SC704M همراه با لاین‌های والدی مربوطه به نام‌هـای B73، B84 × B73، MO17 و L105 در چـهار رژیـم آبیـاری شـامل آبیاری به شکل عادی (بدون تنش)، قطع دو دور آبیاری در مراحل رویشی (۷-۶ برگـی)، گلدهـی (تنـش دوره گلدهی) و پر شدن دانه (تنش دوره پر شدن دانه) مورد مطالعه قرار گرفتند. خاک مزرعه از نوع لـوم رسـی بـا اسیدیته ۷/۹ بود. از میان چهار شاخص محاسبه شده به نام‌های شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شـاخص تحمـل (TOLI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل به تنش (STI)، شاخص اخیر از مزایای بیشتری جـهت گزینش ارقام مطلوب در شرایط تنش و بدون تنش برخوردار بود. همچنین از میان ژنوتیپ‌های مـورد آزمـون، هیبرید SC704 با پتانسیل عملکرد بالا، بیشتر مناسب شرایط بدون تنش و هیبرید SC704M بیشـتر مناسـب شـرایط تنش بود. تغییر شرایط محیطی بر هیبرید اخیر تأثیر کمتری نسـبت بـه SC704 داشـت. هیـبرید SC711 وضعیـت بینابینی دو هیبرید دیگر در آزمایش را داشت. به جز لاین والدی B84 × B73 که عملکرد بـالایی داشـت، لایـن متحمل به تنش در این آزمایش MO17 تشخیص داده شـد. همبسـتگی میـان هیبریدهـا و لاین‌هـای والـدی در شرایط عادی منفی و ضعیف بود که با تغییر شرایط به حالت تنش، همبستگی‌ها مثبت و قوی‌تر شد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، تنش خشکی، نمودار سه بعدی، هیبرید سه طرفه (TWC)، همبستگی.

این مقاله بر اساس نتایج به دست آمده از اجرای طرح تحقیقاتی شماره ۷۵٤٦٦-۱۲-۱۰۷ مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه گردیده است.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

متوسط کاهش عملکرد سالیانه محصولات کشاورزی بواسطه خشکی در جهان حدود ۱۷٪ بوده که تا بیش از ۷۰٪ در هر سال می‌تواند افزایش یابد (سرمدنیا، ۱۳۷۲؛ Edmeads *et al.*, 1994). آزمایش‌های تحمل به خشکی و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل باید بر اساس شرایط موجود هر منطقه انجام شود. ابتدا باید نوع تنش و مدت زمان مربوط به آن را شناسایی و با توجه به نوع گیاه مورد پژوهش، آزمایش‌ها را مطابق با آن طراحی کرد. در مناطقی مانند کشورمان که نیاز رطوبتی برای ذرت از طریق آب آبیاری تأمین می‌گردد هدف اصلاح برای تحمل به خشکی، دستیابی به ارقامی است که دوره‌های آبیاری بلند مدت یا قطع آبیاری برای دو تا سه دور را در مراحل حساس رشد بتوانند تحمل کنند. به این ترتیب می‌توان از طریق جلوگیری از کاهش شدید عملکرد در واحد سطح یا افزایش سطح زیر کشت به مناطقی که کمبود نسبی آب را دارا هستند، بر تولید افزود. گزینش ژنوتیپ‌هایی که هم به شرایط تنش و هم بدون تنش سازگاری دارند هدف اصلی آزمایش‌های آزمون عملکرد است. این راهکار هنگامی مناسب است که ژنوتیپ‌ها در شرایط مطلوب رشد می‌کنند ولی تنش‌های زنده و غیرزنده به شکل دوره‌ای اتفاق می‌افتند (Fernandez, 1992). معیارهای مختلفی جهت گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس نمودشان در محیط‌های واجد یا فاقد تنش پیشنهاد شده است. روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981)، شاخص تحمل به تنش (Tolerance Index = TOL) را به شکل تفاوت میان عملکرد در شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) و شاخص بهره‌وری متوسط (Mean Productivity = MP) را به صورت متوسط عملکرد Ys و Yp معرفی کردند:

$$TOL = Yp - Ys \qquad [۱]$$

$$MP = \frac{Yp+Ys}{2} \qquad [۲]$$

شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index = SSI) توسط فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) بر طبق روابط ذیل بیان شد.

$$SSI = \frac{1-[\frac{Ys}{Yp}]}{SI} \qquad [۳]$$

$$SI = 1 - [\frac{\bar{Ys}}{\bar{Yp}}] \qquad [۴]$$

در روابط فوق Y_S و Y_P به ترتیب، عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، $\bar{Y}_S$ و $\bar{Y}_P$ به ترتیب، متوسط عملکرد کلیه ژنوتیپ‌های تحت تنش و ژنوتیپ‌های در شرایط بدون تنش بوده و SSI و SI به ترتیب شاخص حساسیت به تنش و سختی محیط (شدت تنش) هستند. همبستگی ژنتیکی بین Y_S و Y_P و نسبت واریانس‌های ژنتیکی بین σ^2Y_P و σ^2Y_S تعیین‌کننده نتیجه گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های TOL و MP است (Rosielle and Hamblin, 1981)

www.SID.ir

Archive of SID

تحت اکثر شرایط آزمایش‌های عملکرد، همبستگی میان Y_S و Y_P بین صفر تا ۰/۵ و نسبت واریانس ژنتیکی کمتر از یک است.

$$\left(\frac{\partial^2 Y_S}{\partial^2 Y_P}\right) < 1$$

از این رو در گزینش یک ژنوتیپ برای صفت عملکرد تحت شرایط بدون تنش، متوسط عملکرد در شرایط بدون تنش افزایش یافته و با گزینش ژنوتیپ در شرایط تنش، متوسط عملکرد تحت تنش افزایش می‌یابد. به عبارت بهتر ژنوتیپ‌های گزینش شده در شرایط تنش در بهبود عملکرد در همان شرایط کارایی داشته و در شرایط بدون تنش دارای نمود ضعیفی هستند (Fernandez, 1992). فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل به تنش (STI: Stress Tolerance Index) را بر طبق فرمول ذیل پیشنهاد کرد:

$$STI = \left(\frac{Y_P}{Y_{\bar{P}}}\right)\left(\frac{Y_S}{Y_{\bar{S}}}\right)\left(\frac{Y_{\bar{S}}}{Y_{\bar{P}}}\right) = \frac{(Y_P)(Y_S)}{(Y_{\bar{P}})^2} \quad [۵]$$

هر یک از شاخص‌های مذکور دارای مزایا یا معایبی است که بعد از این به آن اشاره می‌شود. به طور کلی ژنوتیپ‌ها رابر اساس نمودشان در محیط‌های تنش و بدون تنش به چهار گروه می‌توان تقسیم کرد: گروه (A) ژنوتیپ‌هایی هستند که هم در محیط تنش و هم بدون تنش عملکرد خوبی دارند. گروه (B) را ژنوتیپ‌هایی تشکیل می‌دهند که فقط در میحط بدون تنش خوبند؛ اما ژنوتیپ‌های گروه (C) در محیط تنش نسبتا بهتر از محیط بدون تنش هستند و بالاخره گروه (D) که در محیط تنش و بدون تنش خوب نیستند. بهترین معیار گزینش آن است که قادر به تفکیک گروه (A) از سه گروه دیگر باشد.

SI یا شدت تنش عددی است که بین صفر تا ۱ تغییر می‌کند و هر چه عدد آن بزرگتر باشد شدت تنش بیشتر است. شاخص MP در جهت بالا بردن پتانسیل عملکرد عمل کرده و در اکثر آزمایش‌های عملکرد، همبستگی میان MP با Y_S نیز مثبت بود (Rosielle and Hamblin, 1981). بنابراین گزینش بر اساس MP عمدتا منجر به بهبود میانگین عملکرد در محیط تنش و بدون تنش شده ولی قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A از گروه B نیست. این امر به دلیل ویژگی میانگین حسابی بوده که در صورت اختلاف نسبتا زیاد بین Y_S و Y_P حاصل آن به سمت بالا اریب است. در مطالعه سنجری (۱۳۷۷) و قاجار سپانلو و همکاران (۱۳۷۹) برروی گندم همبستگی بالا و مثبت میان شاخص مذکور و عملکرد بالقوه و با عملکرد در شرایط تنش به دست آمد. شاخص TOL هرچه کوچکتر باشد نشانه تحمل بیشتر به تنش است. گزینش بر اساس شاخص TOL منجر به کاهش پتانسیل عملکرد در شرایط بدون تنش و عملکرد بیشتر در شرایط تنش می‌شود، همبستگی میان ROL و Y_P در اغلب آزمایش‌های عملکرد منفی ولی میان TOL و Y_S مثبت بود (مقدم، گزارش منتشر نشده). به

www.SID.ir

Archive of SID

این دلیل شاخص مذکور در تفکیک گروه A از C ناموفق است.

هر چه مقدار عددی شاخص SSI کوچکتر باشد حاکی از تحمل بیشتر به تنش است. همبستگی مثبتی اغلب بین TOL و SSI وجود دارد. این شاخص نیز مانند TOL قادر به تفکیک گروه A و C از هم نیست شاخص STI برعکس شاخص SSI بر مبنای میانگین هندسی طراحی شده است. در میانگین هندسی که از فرمول ذیل تبعیت می‌کند حساسیت کمتری به مقادیر بسیار متفاوت Y_S و Y_P وجود دارد:

$$GMP = \sqrt{\left(Y_S \times Y_P\right)} \qquad [٦]$$

STI و GMP به لحاظ همبستگی رتبه در یک مرتبه قرار می‌گیرندو هر چه مقدار STI بزرگتر باشد. تحمل به تنش و پتانسیل عملکرد ژنوتیپ هم بالاتر است، در شاخص STI شدت تنش نیز شرکت داشته و انتظار می‌رود که شاخص مذکور در تفکیک گروه A از گروه B و گروه C موفق باشد (Fernandez, 1992). فرناندز (۱۹۹۲)، در مطالعه خود بر روی ماش، دو وضعیت تنش متوسط (SI = 0.23)، و تنش شدید (SI = 0.76) را ملاک گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی با عملکرد بالا قرار داد. گزینش بر اساس شاخص TOL، منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالقوه پایین شد، در حالی که گزینش بر اساس شاخص MP ژنوتیپ‌هایی را با عملکرد بالقوه بالا گزینش نمود. SSI در گزینش ارقام متحمل به خشکی ولی با عملکرد بالقوه پایین موفق بود، اما بهترین شاخص، STI بود که گروه A را از سایر گروه‌ها تفکیک کرد.

در مطالعه مقدم و هادی‌زاده (۱۳۷۹) مشخص گردید که شاخص تحمل به تنش (STI) نسبت به شاخص حساسیت به تنش (SSI) از کارایی بیشتری در گزینش ژنوتیپ‌های ذرت متحمل به تنش برخوردار بود، و شاخص اخیر فقط جهت حذف ژنوتیپ‌های حساس و نه گزینش ژنوتیپ‌های متحمل در شرایط دشوار کارایی قابل قبولی داشت.

احمدزاده (۱۳۷٦) در تحقیق خود با استفاده از روش بای‌پلات (Biplot)، شاخص‌های مختلف SSI، TOL، STI، GMP و MP در شرایط تنش و بدون تنش در سه گروه رسیدگی دیررس، متوسط رس و زودرس ذرت محاسبه کرد. نتایج حاکی از آن بود که در گروه دیررس سه شاخص اخیر قادر به شناسایی لاین‌های پرمحصول و متحمل به خشکی بوده ولی دو شاخص اول کارایی خوبی نداشتند. از آنجا که همبستگی دو شاخص GMP و MP با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش بالا بود، این شاخص‌ها به عنوان شاخص برتر شناخته شدند. در گروه زودرس شاخص‌های MP، GMP و STI همگی در شناسایی لاین‌های مورد نظر موفق بوده و کارایی دو شاخص SSI

www.SID.ir

Archive of SID

و TOL نیز به علت وجود همبستگی مثبت بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش افزایش یافت. مظفری و همکاران (۱۳۷۵)، بهترین شاخص ارزیابی تحمل به خشکی را در ژنوتیپ‌های آفتابگردان، شاخص تحمل به تنش (STI) دانستند. آن‌ها متوجه شدند که هیبرید ایرانی گلشید از نظر شاخص‌های MP، GMP و STI، بهترین ژنوتیپ بود، در حالی که از نظر شاخص TOL هیبرید دیگری گزینش شد. همچنین اظهار داشتند که هیبرید انتخابی بر اساس STI و GMP در هر دو شرایط تنش و عادی رتبه اول را کسب نمود. در آزمایش‌هایی که توسط نورمند مؤید و همکاران (۱۳۷۷)، قاجار سپانلو و همکاران (۱۳۷۹)، و سنجری (۱۳۷۷)، انجام شد بهترین شاخص‌ها را برای گزینش ژنوتیپ‌های گندم متحمل به تنش با عملکرد بالقوه بالا GMP و STI ذکر کردند. سمیع‌زاده و همکاران (۱۳۷۷)، در آزمایشی برای تعیین بهترین شاخص تحمل به خشکی در ارقام نخود نشان دادند که شاخص GMP و STI برای برآورد پایداری عملکرد و همچنین دستیابی به ارقام پرمحصول در دو محیط تنش‌زا و بدون تنش مناسبند. بر اساس نتایج آن‌ها، ضریب همبستگی بین عملکرد در شرایط عادی و تنش ۰/۰۶۱- و نسبت واریانس ژنتیکی عملکرد محاسبه شده در دو محیط برابر ۰/۱۲۷ بود. در این شرایط میزان میانگین هندسی کمتر از میانگین حسابی برآورد گردید. در مطالعه دیگری بر روی چغندر قند نیز شاخص STI برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها مناسب‌تر از بقیه تشخیص داده شد و پیشنهاد گردید برای توسعه ارقام متحمل چغندر قند باید گزینش ژنوتیپ‌ها در دو محیط متفاوت انجام شود (پرویزی آلمانی و همکاران، ۱۳۷۷).

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی مقدماتی تحمل به خشکی در هیبریدهای تجاری دیررس ذرت و والدین آن‌ها، تحقیقی در طی دو سال ۷۶-۱۳۷۵ در مزرعه چهارصد هکتاری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به شکل چهار آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مورد اجرا گذاشته شد. آزمایش اول با رژیم آبیاری معمول (هر ۷ روز یک بار)، آزمایش دوم با قطع آبیاری به مدت دو دور در مرحله رویشی (۷-۶ برگی ذرت)، آزمایش سوم با قطع آبیاری به مدت دو دور در مرحله گلدهی و در آزمایش چهارم قطع آبیاری به مدت دو دور در مرحله پر شدن دانه انجام شد. برخی داده‌های هواشناسی در دوره اعمال تنش در جدول ۱ آمده است.

هیبریدهای تجارتی مورد بررسی که قسمت اعظم سطح زیر کشت ذرت در کشور را به خود اختصاص داده‌اند به همراه والدین آن‌ها به ترتیب عبارت از سینگل کراس ۷۰۴ و والدین آن MO17 × B73، سینگل کراس ۷۱۱ و

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ـ برخی پارامترهای آب و هوایی در مراحل مختلف نمو ژنوتیپ‌های ذرت برای سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۷۶

Table 1. Some climatological parameters at different developmental phases of corn genotypes for years 1996 and 1997

Developmental phase	مرحله نمو	سال Year		بارندگی Precipitation (mm)	رطوبت نسبی Relative humidity %	درجه حرارت Temperature (°C) Max.	Min.
Vegetative (6th leaf)	رویشی (۷-۶ برگی)	۱۳۷۵	1996	5.6	40.5	33.1	18.2
		۱۳۷۶	1997	0.9	35.0	34.4	17.4
Anthesis	گلدهی	۱۳۷۵	1996	0	40.3	34.0	19.2
		۱۳۷۶	1997	0	43.3	37.1	18.6
Kernel filling	پر شدن دانه	۱۳۷۵	1996	0	36.3	33.5	18.6
		۱۳۷۶	1997	0	32.0	38.0	18.3

والدین آن L105 × B73، و سینگل کراس تغییر شکل یافته 704M (برحسب نامگذاری درون بخشی ذرت) و والدین آن (B73 × B84) × MO17. به این ترتیب سه هیبرید تجارتی متعلق به گروه دیررس و چهار لاین والدی مورد بررسی تحمل به خشکی قرار گرفتند. بر اساس نمونه مرکب از خاک مزرعه بافت خاک از نوع لوم رسی با ضریب هدایت الکتریکی $EC = 0.9 \times 10\text{-}3$ میلی‌موس بر سانتی‌متر و pH = 7.9 تعیین شد.

هر کرت آزمایشی در این تحقیق شامل ۵ ردیف به فواصل ۷۵ سانتی‌متر و به طول ۵/۵ متر و فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. برای رسیدن به تراکم ۶۵۰۰۰ بوته در هکتار تعداد ۲۷ کپه بذر در هر ردیف کشت شد. جهت اعمال تیمارهای تنش خشکی، از روش قطع آبیاری به مدت ۲۱ روز (دو دور) در مراحل مورد نظر استفاده شد. کود شیمیایی فسفات آمونیوم ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و اوره ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و کود سرک اوره ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در زمان هفت برگی ذرت مصرف گردید. میزان عملکرد دانه بر اساس ۱۴ درصد رطوبت تصحیح گردید. بر اساس فرمول‌های (۱) تا (۵) قسمت مقدمه، چهار شاخص ارزیابی تحمل به خشکی با عناوین شاخص تحمل (TOLI)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص حساسیت به تنش (SSI) و شاخص تحمل به تنش (STI) محاسبه

www.SID.ir

Archive of SID

گردید و ضرایب همبستگی فنوتیپی (n = ٦) بین والدین و هیبریدهای آزمایش از لحاظ شاخص‌های مذکور و صفت عملکرد تعیین شد.

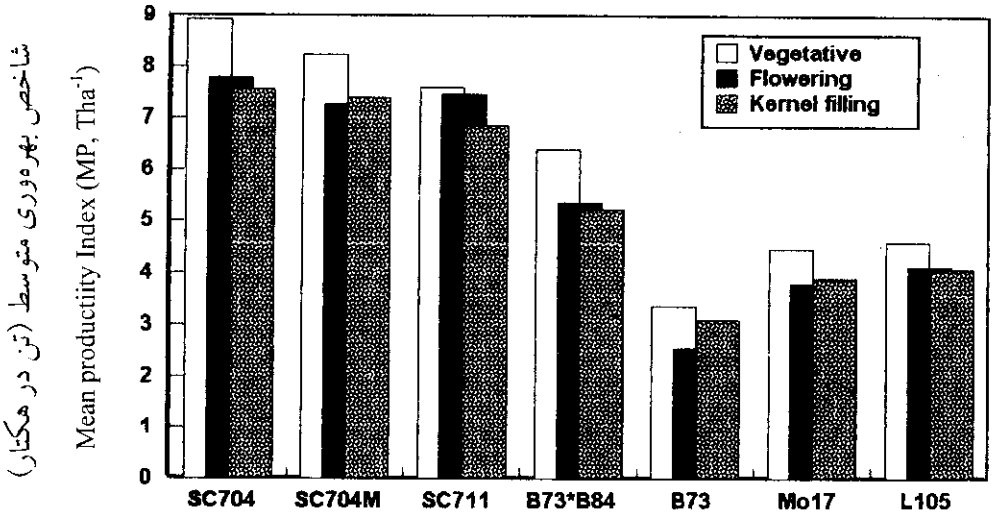
نتایج و بحث

الف) شاخص بهره‌وری متوسط (MP)

از میان هیبریدهای مورد آزمون، سینگل کراس ٧٠٤ (SC704) بر اساس شاخص MP از تحمل نسبی بیشتری برخوردار بود (شکل ١). با توجه به نحوه محاسبه شاخص MP (رجوع به قسمت مقدمه) واضح است که هر چه میزان عددی این شاخص بیشتر باشد تحمل نسبی به تنش بیشتر است. مقدار عددی این شاخص در تیمار تنش در مراحل رویشی، گلدهی و پر شدن دانه نیز حاکی از برتری هیبرید SC704 در کلیه زمان‌های اعمال تنش نسبت به سایر هیبریدها بود (شکل ١). در مقایسه عملکرد بین دو هیبرید SC704 و SC704M مشاهده شد که هیبرید اخیر از عملکرد بیشتری نسبت به SC704 در تمام زمان‌های اعمال تنش برخوردار بود (رجوع به شکل a, b, c–٦)، ولی از لحاظ شاخص MP در مرتبه پایین‌تری قرار گرفت که دلیل آن را می‌توان به اختلاف عملکرد بیشتر هیبرید SC704 در دو وضعیت تنش و عدم تنش نسبت به SC704M نسبت داد به نحوی که بالاتر بودن عملکرد SC704 در شرایط عادی باعث بالا رفتن میزان شاخص MP برای آن گردید. به این ترتیب می‌توان گفت که شاخص MP در گزینش ارقامی که دارای عملکرد بالا در شرایط تنش هستند مناسب نیست (Fernandez, 1992). در مقایسه والدین با استفاده از شاخص MP، تحمل نسبی تنش متعلق به والد (B84 × B73) بود و لاین‌های L105، MO17 و B73 در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ١). والد B84 × B73 یک هیبرید خویشاوند بوده و عملکرد بالاتر همراه با تحمل نسبی بیشتر آن نیز به همین دلیل است. بنابراین مقایسه آن با سایر لاین‌های والدی که اینبرد می‌باشند شاید چندان صحیح نباشد. در مقایسه بین لاین MO17 و L105، لاین اخیر دارای عملکرد کمتر ولی شاخص بهره‌وری متوسط بالاتر در شرایط تنش بود که باز حاکی از عدم قابلیت شاخص مذکور جهت گزینش در شرایط تنش بود. یادآور می‌شود که یک شاخص مناسب برای گزینش آن است که منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش گردد (مقدم، ١٣٧٧). علیرغم نتیجه این آزمایش، مطالعه احمدزاده (١٣٧٦)، حاکی از مطلوب بودن شاخص MP در شناسایی لاین‌های پرمحصول و متحمل به خشکی ذرت بود. همچنین در مقایسه ضرایب همبستگی Y_P و Y_S با شاخص‌های اندازه‌گیری شده MP، GMP، STI، SSI و TOL سه شاخص اول از ضرایب همبستگی بالاتری نسبت به سایرین برخوردار بودند (قاجار سپانلو و همکاران، ١٣٧٩).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱ـ مقایسه ژنوتیپ‌های ذرت از نظر شاخص بهره‌وری متوسط (MP)
در زمان‌های مختلف اعمال تنش خشکی (متوسط دو ساله)

Fig.1. Comparison of corn genotypes for mean productivity index (MP) in different drought stress treatments (average of two years)

ب) شاخص تحمل (TOLI)

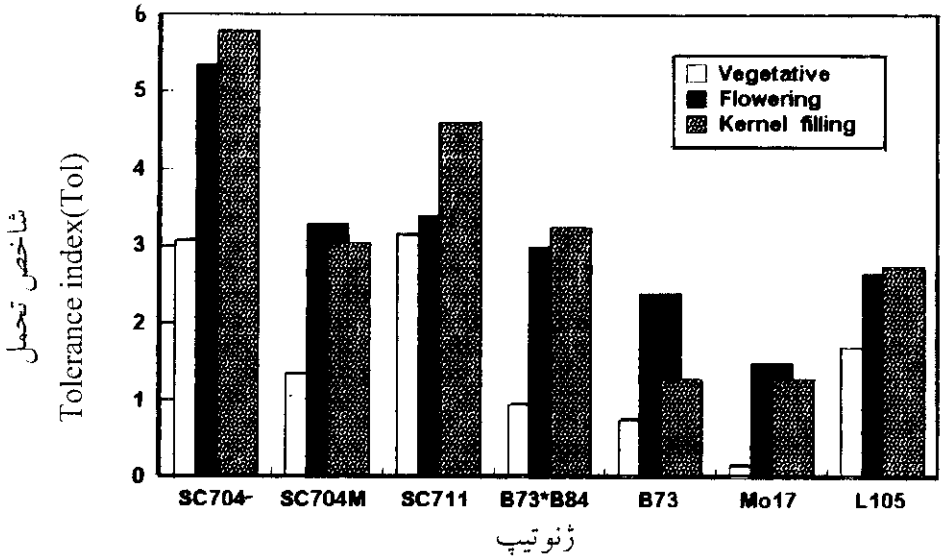
تحمل نسبی بیشتر، بر اساس این شاخص متعلق به ژنوتیپی است که شاخص کوچکتری داشته باشد. که از میان هیبریدهای مورد آزمون، هیبرید SC704M در هر سه زمان اعمال تنش از تحمل بیشتری برخوردار بود (شکل ۲)و حساس‌ترین آن‌ها، هیبرید SC704 بود. با مراجعه به مقادیر عملکرد هیبریدهای مذکور (شکل ٦-a, b, c) روشن شد که شاخص TOL در گزینش ژنوتیپ‌هایی موفق بوده که عملکرد آن‌ها در شرایط تنش مناسب است ولی در گزینش ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای عملکرد مناسب بودند توفیق چندانی نداشت.

با استفاده از شاخص TOL برای والدین مورد آزمون، متحمل‌ترین آن‌ها، لاین MO17 بود و لاین‌های B73، L105 و والد (B73 × B84)در مرتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۲). شاخص TOL به نوعی حاکی از تغییرات عملکرد در شرایط عادی و تنش است و به عبارت دیگر، ژنوتیپ‌هایی که دارای شاخص TOL کمتر می‌باشند تغییرات کمتر یا ثبات بیشتری در تغییر شرایط تنش به عدم تنش و بالعکس از لحاظ عملکرد دارند. در حقیقت یکی از معیارهای پایداری، واریانس است و به

www.SID.ir

Archive of SID

اعتقاد بلام (Blum, 1979) یک ژنوتیپ با عملکرد مناسب تحت شرایط مطلوب، عملکرد خوبی هم در شرایط کمتر مساعد نیز باید داشته باشد تا به عنوان یک رقم اصلاح شده برای شرایط تنش در نظر گرفته شود و به عبارت دیگر واریانس یا تغییرات عملکرد آن باید کم باشد. نکته در خور توجه آن است که پایین بودن شاخص TOL (یا کم بودن تغییرات عملکرد) لزوما بر بالا بودن عملکرد در شرایط عادی یا تنش دلالت ندارد بلکه ممکن است عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط عادی پایین باشد و در شرایط تنش با افت اندک باعث کوچک شدن شاخص TOL شود. برای مثال لاین B73 که از لحاظ محاسبه شاخص TOL در مرتبه دوم در تمام زمان‌های اعمال تنش قرار گرفت، صاحب کمترین عملکرد در کلیه شرایط بود. نتیجه این که استناد به شاخص TOL هنگامی قابل اطمینان است که همراه با عملکرد در نظر گرفته شود.



شکل ۲ـ مقایسه ژنوتیپ‌های ذرت از لحاظ شاخص تحمل (TOLI) در زمان‌های مختلف اعمال تنش خشکی (متوسط دو ساله)

Fig.2. Comparison of corn genotypes for tolerance index (TOLI) in different drought stress treatments (average of two years)

ج) شاخص حساسیت به تنش (SSI)

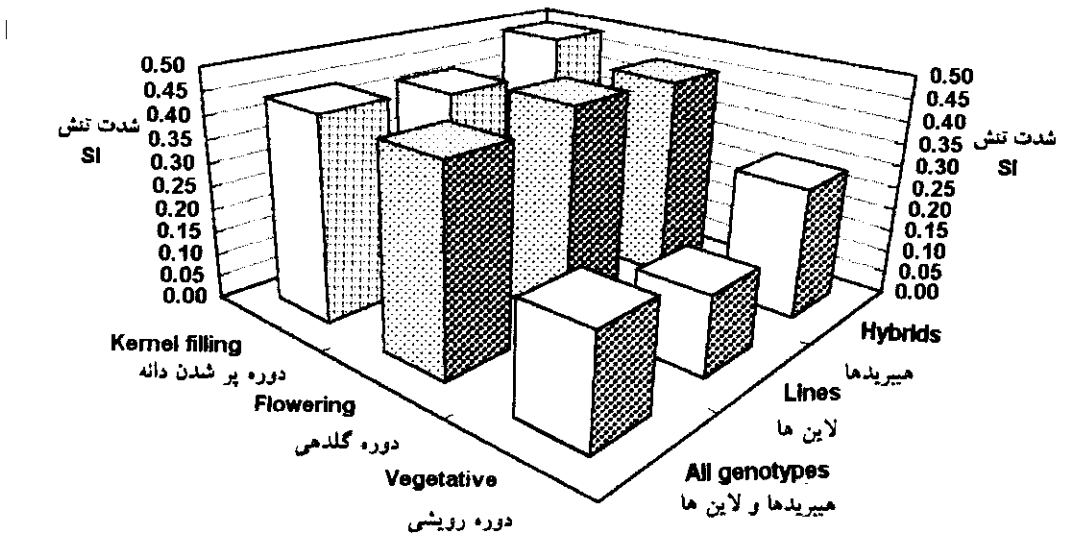
این شاخص توسط فیشر و مورر (Fisher and Maurer, 1978) معرفی گردید. هر چه مقدار عددی شاخص حساسیت به تنش کوچکتر باشد، حساسیت به تنش کمتر و تحمل نسبی ژنوتیپ به تنش بیشتر است. در محاسبه شاخص حساسیت به تنش، یک جزء بنام S I وجود دارد که به عنوان سختی محیط نامیده می‌شود، (رجوع به قسمت مقدمه). هر چه میزان SI بزرگتر باشد حاکی از شرایط محیطی

www.SID.ir

Archive of SID

سخت‌تر است. مقدار عددی SI بین صفر و ۱ تغییر می‌کند. در این آزمایش، سختی محیط با به تأخیر افتادن تنش از ابتدای فصل در هیبریدهای مورد آزمون افزایش یافت (شکل ۳)، به نحوی که تنش دوره رویشی کمترین و تنش دوره پر شدن دانه بیشترین شدت را داشت. در مورد لاین‌ها سخت‌ترین شرایط مربوط به تنش دوره گلدهی بود ولی همانند هیبریدها کمترین شدت تنش در زمان رشد رویشی واقع گردید. محاسبه SI بر اساس کل ژنوتیپ‌های آزمایش حاکی از اختلاف جزیی سختی محیط برای تنش دوره گلدهی و پر شدن دانه بود و برای دوره رویشی کمترین شدت تنش را نشان داد.

از میان هیبریدهای مورد آزمون، هیبرید SC704M نسبت به سایرین در هر سه زمان اعمال تنش تحمل نسبی بیشتری داشت (شکل ٤). در مورد هیبرید SC704، براساس محاسبه شاخص SSI همانند نتیجه شاخص TOL به عنوان حساس‌ترین هیبرید شناخته شد.



شکل ۳ـ شدت تنش (سختی محیط) برای ژنوتیپ‌های ذرت در زمان‌های مختلف اعمال تنش خشکی (متوسط دو ساله)

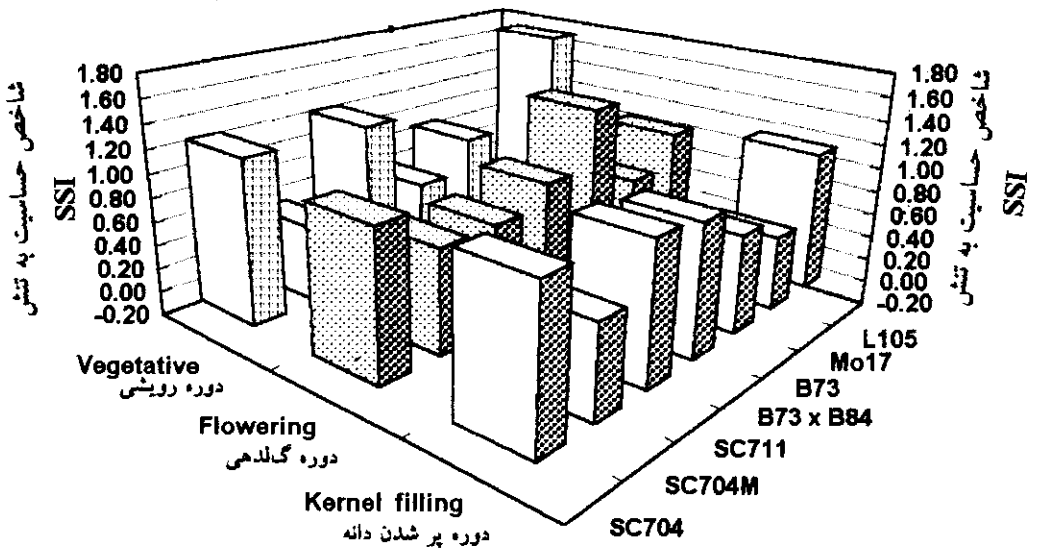
Fig. 3. Stress intensity (SI) for corn genotypes in different drought stress treatments (average of two years)

در اینجا نیز مانند شاخص TOL گزینش ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش دارای عملکرد خوبی بوده ولی در شرایط عادی ممکن است عملکرد خوبی نداشته باشند صورت می‌گیرد. همبستگی بالای میان شاخص SSI و شاخص TOL در تیمار تنش در دوره پر شدن دانه، که شدت تنش از زمان‌های دیگر بیشتر است ($r = 0.85^*$) شاهد این مدعاست.

www.SID.ir

Archive of SID

در مقایسه لاین‌های آزمایش با یکدیگر با استفاده از شاخص SSI، لاین MO17 در تمام زمان‌های اعمال تنش دارای تحمل نسبی به خشکی و لاین L105 دارای حساسیت نسبی بود. شاخص SSI علاوه بر میزان عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش به تغییرات عملکرد در اثر جابجایی شرایط عادی به تنش (و برعکس) نیز عکس‌العمل نشان می‌دهد. برای مثال اگر ژنوتیپی دارای تغییرات عملکردی زیاد از شرایط عادی به تنش بوده هر چند که صاحب عملکرد بالا در هر دو محیط باشد باز بر اساس شاخص SSI جزو ژنوتیپ‌های متحمل درجه‌بندی نمی‌شود. در آزمایش فعلی نیز والد B73 × B84 که در کلیه شرایط بیشترین عملکرد را احراز کرد ولی با توجه به تغییرات زیاد عملکرد نسبت به لاین MO17 (شکل ٦ –a,b,c)، از لحاظ رتبه‌بندی تحمل به تنش پس از لاین مذکور قرار گرفت. در مجموع می‌توان اظهار داشت که شاخص SSI نسبت به دو شاخص MP و TOL در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از موفقیت بیشتری برخوردار بود ولی هنوز در تفکیک ژنوتیپ‌های A از B و C کارآیی لازم را ندارد.



شکل ٤ـ مقایسه ژنوتیپ‌های آزمایش از نظر شاخص حساسیت به تنش (SSI) در زمان‌های مختلف اعمال تنش خشکی (متوسط دو ساله)

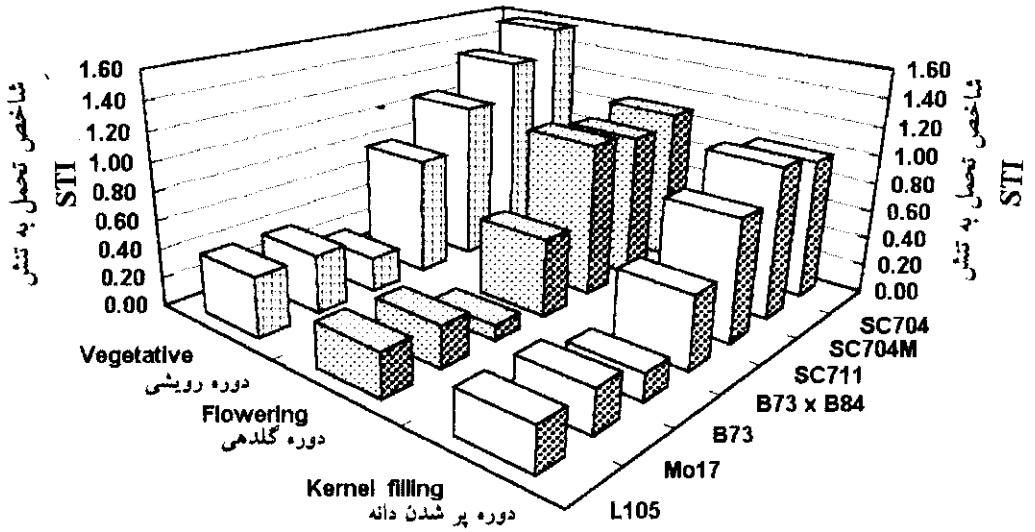
Fig. 4. Comparison of corn genotypes for stress susceptibility index (SSI) in different drought stress treatments (average of two years)

www.SID.ir

Archive of SID

د- شاخص تحمل به تنش STI

این شاخص برای اولین بار توسط فرناندز (Fernandez, 1992) معرفی شد و اساس آن بر میانگین هندسی استوار است (رجوع به قسمت مقدمه). مقدار بالای این شاخص حاکی از تحمل بیشتر ژنوتیپ به تنش است که در آزمایش فعلی متعلق به هیبرید SC704 برای میانگین هر سه زمان تنش بود و هیبریدهای SC704M و SC711 در مرتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۵). طبق این شاخص هنگامی که تنش در دوره پر شدن دانه اتفاق افتاد هیبرید SC704M تحمل بیشتری داشت ولی در تنش دوره رویشی هیبرید SC704 متحمل‌تر بود. هیبرید SC711 به طور مشترک با SC704 در تنش دوره گلدهی تحمل مناسبی داشتند (شکل ۵). از میان والدین آزمایش، بالاترین تحمل نسبی بر اساس شاخص STI مربوط به والد B84 × B73 در تمام زمان‌های اعمال تنش بود و لاین‌های L105، MO17 و B73 به ترتیب در مرتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه ژنوتیپ‌های ذرت از نظر شاخص تحمل به تنش (STI)
در زمان‌های مختلف اعمال تنش خشکی (متوسط دو ساله)

Fig. 5. Comparison of corn genotypes for stress tolerance index (STI) in different drought stress treatments (average of two years)

با استفاده از نمودار سه‌بعدی می‌توان ارتباط بین عملکرد در شرایط تنش (Y_S در محور X)، عملکرد در شرایط عادی (Y_P در محور Y) و شاخص تحمل به تنش (STI در محور Z) را نشان داد (شکل ٦). تقسیم صفحه XY نمودار به چهار قسمت A، B، C و D، برای تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش نشان داد که هیبرید SC704

www.SID.ir

Archive of SID

در تنش ابتدای فصل (دوره رویشی) نسبت به دو هیبرید دیگر از تحمل بیشتری برخوردار بود (شکل a–٦)، علاوه بر این که عملکرد آن در شرایط عادی نیز بیشتر از دو هیبرید دیگر بود. برخلاف شاخص SSI که هیبرید SC704 را به عنوان حساس‌ترین هیبرید تعیین می‌نماید، در اینجا به عنوان یک هیبرید متحمل شناخته شد. چون شاخص STI بر اساس عملیات ضربی (Y_{PX} Y_S) طراحی شده است به دلیل خاصیت ضرب اعداد ممکن است برای جفت‌هایی از اعداد که با یکدیگر تفاوت ماهوی دارند، مربع میانگین هندسی یکسان باشد (نادری و همکاران، ۱۳۷۸). بر پایه این استدلال، ممکن است شاخص STI بالا ناشی از عملکرد زیاد ژنوتیپ تحت شرایط بدون تنش باشد ولی عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش کاهش داشته باشد چنانکه در مورد هیبرید SC704 چنین بود. در مقایسه داخلی میان سه هیبرید مورد مطالعه در تنش ابتدایی که یک تنش سبک (بر مبنای SI) تلقی می‌شد، عملکرد در تنش هیبرید SC704 نزدیک به SC704M بود ولی با افزایش شدت تنش (با تغییر زمان اعمال تنش) عملکرد در تنش هیبرید SC704 افت زیادتری را نسبت به SC704M نشان داد (شکل a–٦).

در مقایسه هیبرید SC711 و والد B73 × B84 با این که هر دو در تنش دوره رویشی دارای عملکرد در تنش یکسانی بودند ولی به دلیل بالا بودن عملکرد SC711 در شرایط عادی (پتانسیل عملکرد) این هیبرید از شاخص STI بالاتری برخوردار بود (شکل a–٦). در مجموع می‌توان چنین نتیجه گرفت که شاخص STI زمانی قابل اعتماد است که با عملکرد بالا در شرایط تنش در نظر گرفته شود. از میان لاین‌های مورد مقایسه صرفنظر از والد هیبرید B84 × B73، نمودار سه بعدی مورد بحث (شکل a, b, c– ٦) حاکی از برتری لاین L105 از لحاظ شاخص STI بود ولی با در نظر گرفتن مطلب فوق می‌توان قضاوت کرد که لاین MO17 که عملکرد بیشتری نیز در شرایط تنش داشت، برتر بود. به طور کلی عکس‌العمل گیاهان زراعی و ارزیابی آن‌ها برای حداکثر عملکرد در شرایط محیطی متنوع وابسته به توانایی متفاوت آن‌ها در استفاده از شرایط محیطی است. این امر از طریق تنظیم اجزاء عملکرد و اثرات متقابل ژنوتیپ‌ها به هنگام بروز شرایط مطلوب و نامطلوب در هر مرحله از رشد و نمو گیاه امکان‌پذیر است (Entz and Flower, 1990). بر این اساس نادری و همکاران (۱۳۷۸) ضرورت تغییر شاخص‌های موجود را با حفظ دو ویژگی پایداری و میانگین عملکرد بالا متذکر شدند. آن‌ها در بررسی خود با توجه به احتمال بروز شرایط مطلوب و نامطلوب درسال‌های مختلف در هر منطقه ضریبی را برای تصحیح شاخص فرناندز پیشنهاد نمودند که به اعتقاد نگارندگان قادر به گزینش ژنوتیپ‌های سازگار با عملکرد

www.SID.ir

Archive of SID

بالا بـر حسـب احتمـال بـروز شـرایط مطلـوب و نامطلوب بود.

هـ همبسـتگی میـان هیبریدهـا و لاین‌هـای مـورد بررسی

بر اساس ضرایب همبستگی فنوتیپی محاسـبه شـده بـرای صفـات عملکـرد و شـاخص‌های ارزیابی مقاومت به تنش بین هیبریدها و والدیـن آن‌هـا (جـدول ۲) چنیـن اسـتنباط گردیـد کـه همبستگی میان لاین‌ها و نتاج آن‌ها ضعیف و در اکثر موارد منفی بود. ایـن همبسـتگی ضعیـف و منفی با اعمال تنش بـه همبسـتگی‌های قوی‌تـر و مثبت تبدیل شد. سایر محققیـن نـیز نشـان دادنـد که در شرایط تنش، بین لاین‌هـا و نتـاج مربوطـه همبستگی قوی‌تری نسبت به شرایط بدون تنـش ایجاد گردید، (El-Lakany and Russell, 1971; Beck *et al.*, 1996) در کلیـه زمان‌های اعمال تنش همبسـتگی میـان عملکـرد لاین‌های والدی و هیبریدها مثبت بود ولـی ایـن همبستگی مثبت فقط در تنش دوره پر شدن دانه از قوت بیشتری برخوردار بود.

نتایج این آزمایش نشان داد که هیـبرید SC704 بـه عنـوان مطلوبـترین هیبرید بـرای کشـت در شرایط بدون تنش و هیبرید SC704M به عنـوان بهترین هیبرید از میان ژنوتیپ‌های مورد آزمـون برای کشت در شرایط تنش قابل توصیـه بـود. از آنجا کـه هیبرید SC704M در حقیقـت یـک هیبرید سه طرفه یا تری وی کراس بـود(TWC)، بواسطه تنـوع ژنـی بیشـتر و در نتیجـه حساسـیت کمتر بـه شـرایط متنـوع بـه عنـوان یـک هیـبرید مطلوب در شرایط تنـش و عـدم تنـش بـا ثبات بیشتر و صرف تغییرپذیری کمتر مطرح گردیـد. همچنیـن قبـل از دسـتیابی بـه یـک هیـبرید سینگل‌کراس پر محصـول (بـا پتانسـیل عملکـرد زیاد) می‌توان مبادرت به تولید هیبریدهای تـری وی کراس نمود تا نتایج حاصله علاوه بر این که پتانسـیل عملکـرد بـالایی دارنـد خصوصیـات متحمل هیبریدهای تری وی کراس را نـیز را بـه ارث برده باشـند. از میـان والدیـن مـورد مطالعـه والد B84 × B73 در کلیه شرایط دارای بیشترین عملکرد بود که می‌توانست به این دلیل باشد که والـد مذکـور یـک هیـبرید خویشـاوند بـوده و قدری از خود هتروزیس نشان می‌دهد. صرفنظـر از لاین مذکور، لاین MO17 از تحمل بـه تنـش بیشتر و ثبات عملکـرد بـالاتری برخـوردار بـود. همبسـتگی میـان عملکـرد لاین‌هـای والـدی و هیبریدها در شرایط تنش مثبت بود ولی با توجـه به کامل نبودن این همبسـتگی و حـذف لاین‌هـا بدون توجه به میزان هتروزیس آن‌هـا در تلاقـی، باید دقت کافی در گزینش لاین‌هـا بـرای تولیـد هیبریدهای متحمل به تنش صرف گردد.

از آنجا که آزمایش فعلی بر پایه ژنوتیپ‌های محدودی طراحی شده بود پیشنهاد می‌شـود کـه لاین‌های بیشتری که اخیرا تولید شده‌اند مجـددا در یـک آزمـایش کـامل‌تر مـورد بررسـی قـرار گیرند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲ـ ضریب همبستگی فنوتیپی عملکرد و شاخص‌های مقاومت به خشکی بین هیبریدها و والدین مربوطه در تنش رویشی (Veg.)، تنش گلدهی (FL.) و تنش دوره پر شدن دانه (KF.)

Table 2. Phenotypic correlation coefficient of yield and stress tolerance susceptibility indices between hybrids and their parental lines under different stress treatments

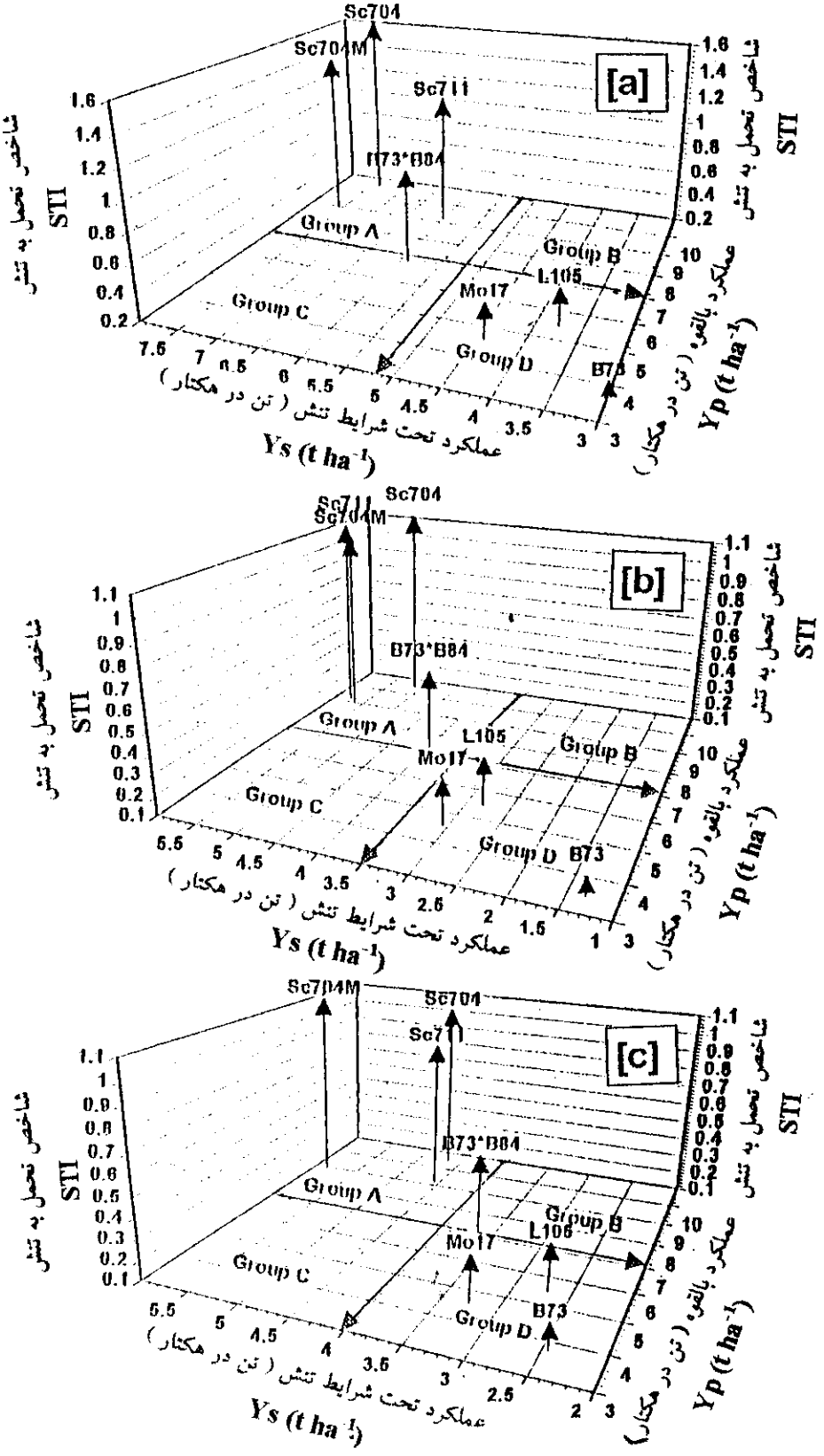
Hybrids ► / Parental lines ▼		Y_P	Y_S	STI	SSI	TOL	MP
Y_P	Veg.	-0.51	0.16	-0.16	-0.50	-0.56	-0.22
	FL.	-0.51	0.36	-0.57	-0.46	-0.47	-0.57
	KF.	-0.51	0.56	0.33	-0.60	-0.59	-0.04
Y_S		-0.39	0.54	0.18	-0.77+	-0.77+	0.09
		-0.39	0.20	-0.68	-0.31	-0.33	0.50
		-0.28	0.79+	0.77+	0.67	-0.57	0.47
MP		-0.47	0.35	0.003	-0.65	-0.69	-0.07
		-0.47	0.31	-0.64	-0.41	-0.43	-0.56
		-0.47	0.66	0.48	-0.66	-0.63	0.11
TOL		-0.31	-0.62	-0.61	0.38	0.25	-0.58
		-0.35	0.41	-0.02	-0.38	-0.37	-0.28
		-0.51	0.32	0.04	-0.43	-0.47	-0.28
SSI		-0.17	-0.73+	-0.61	0.58	0.46	-0.56
		0.11	0.07	0.51	0.04	0.06	0.24
		-0.44	0.04	-0.26	-0.20	-0.29	-0.48
STI		-0.45	0.40	0.05	-0.69	-0.71	-0.04
		-0.47	0.29	-0.68	-0.40	-0.42	-0.57
		-0.46	0.71	0.55	-0.69	-0.64	0.17

Y_P = Yield in potential
Y_S = Yield in stress
MP = Mean Productivity Index
TOL = Tolerance Index
SSI = Stress Susceptibility Index
STI = Stress Tolerance Index

+ Significant in 10%
Sample size = 6
Veg. = Vegetative, FL. = Flowering
KF. = Kernel Filling

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٦ـ نمودار سه بعدی میان شاخص تحمل به تنش (STI)، عملکرد بالقوه (Y_P) و عملکرد تحت شرایط تنش (Y_S) برحسب تن در هکتار برای سه وضعیت تنش دوره رویشی [a]، تنش گلدهی [b] و تنش پر شدن دانه [c] در ژنوتیپ‌های مورد آزمون (میانگین دو ساله)

Fig. 6. The 3-D plots among stress tolerance index (STI), yield potential (Y_P), and yield under stress (Y_S) for stress treatments at vegetative [a], anthesis [b], and kernel filling phase [c] of corn genotypes (average of two years)

www.SID.ir

Archive of SID

منابع مورد استفاده References

احمدزاده، ا. ۱۳۷٦. تعیین بهترین شاخص مقاومت به خشکی در لاین‌های برگزیده ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اصلاح نباتات. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران. ۲۳۸ صفحه.

پرویزی آلمانی، م.، صادقیان، س.ی.، فتح‌اله طالقانی، د.، و محمدیان، ر. ۱۳۷۷. بررسی شاخص‌های تحمل به خشکی برای صفات مهم چغندرقند. چکیده مقالات پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج. صفحه ۲۸۵.

سرمدنیا، غ. ۱۳۷۲. اهمیت تنش‌ها محیطی در زراعت. مقالات کلیدی اولین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشکده کشاورزی کرج.

سمیع‌زاده، ح.، طالعی، ع.، گرامی، ع.، و پوردوایی، ح. ۱۳۷۷. بررسی و تعیین مناسبترین شاخص حساسیت به خشکی در ارقام نخود. چکیده مقالات پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج. صفحه ۲٤۸.

سنجری، ا.ق. ۱۳۷۷. ارزیابی منابع تحمل به تنش خشکی و پایداری عملکرد ارقام و لاین‌های گندم در منطقه نیمه خشک کشور. چکیده مقالات پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج. صفحه ۲٤۳-۲٤٤.

قاجار سپانلو، م.، سیادت، ح.، میرلطیفی، م.، و میرنیا، س.خ. ۱۳۷۹. اثر قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و کارایی مصرف آب و مقایسه چند شاخص مقاومت به خشکی در چهار رقم گندم، خاک و آب ۱۲(۱۰): ۷۵-٦٤.

مظفری، ک.، عرشی، ی.، و زینالی خانقاه، ح. ۱۳۷۵. بررسی اثر تنش خشکی در برخی از صفات مورفوفیزیولوژیکی و اجزای عملکرد آفتابگردان. (*Helianthus annuus* L.) نهال و بذر. ۱۲(۳): ۳۳-۲٤.

مقدم، ع.، و هادی‌زاده، م.ح. ۱۳۷۹. بررسی استفاده از تنش تراکم در گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی در ذرت. مجله علوم زراعی ایران ۲(۳): ۳۸-۲۵.

نادری، ا.، مجیدی هروان، ا.، هاشمی دزفولی، ا.، رضایی، ع.، و نورمحمدی، ق. ۱۳۷۸. تحلیل کارایی شاخص‌های ارزیابی‌کننده تحمل گیاهان زراعی به تنش‌های محیطی و معرفی یک شاخص جدید. نهال و بذر ۱۵: ٤۰۲-۳۹۰.

نورمند مؤید، ف.، رستمی، م.ع.، و قنادها، م.ر. ۱۳۷۷. تعیین بهترین شاخص مقاومت به خشکی در گندم نان. چکیده مقالات پنجمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات ایران، کرج. صفحه ۲٤۳-۲٤۲.

www.SID.ir

Archive of SID

Beck, D., Betran, F.J., Banzinger, M., Willcox, M., and Edmeades, G.O. 1996. From landrace to hybrid: Strategies for the use of source populations and lines in the development to drought tolerance cultivars. pp. 369-382. In: Edmeades, G.O., and Banzinger, M. (eds). Proceedings of Symposium of Developing Drought and Low N-tolerant maize CIMMYT. Mexico.

Blum, A. 1979. Genetic improvement of drought resistance in crop plants: A case of sorghum. pp. 429-445. In: Mussell, H., and Staples, R.C. (eds). Stress Physiology in Crop Plants, Wiley Inter. Sci. New York.

Edmeades, G.O., Chapman, S.C. Bolanos, J., Banzinger, M., and Lafitte, H.R. 1994. Recent evaluation of progress in selection for drought tolerance in tropical maize. Fourth Eastern and Southern Regional Maize Confrenu Herare, Zimbabwe.

El-Lakany, M.A., and Russell, W. 1971. Relationship of maize characters with yield in testcrosses of inbreds at different plant densities. Crop Science 11: 698-701.

Entz, M.H., and Flower, D.B. 1990. Differential agronomic responses of winter wheat cultivars to preanthesis envirnomental stress. Crop Science 30: 1119-1123.

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

Fischer, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivar. I. Grain yield responses Australian Journal of Agricultural Research 29: 897-912.

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

آدرس نگارندگان:

علی مقدم- بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، صندوق پستی ٤١١٩، کرج ٣١٥٨٥.

محمد حسن هادی‌زاده- بخش تحقیقات علفهای هرز، مؤسسه تحقیقات آفات و بیماریهای گیاهی، صندوق پستی ١٤٥٤، تهران ١٩٣٩٥.

www.SID.ir