اثر کاربرد میکوریزا بر تحمل هیبریدهای ذرت به تنش خشکی

فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی
جلد ۱۵، شماره ۲، صفحات ۴۷ – ۳۷
(تابستان ۱۳۹۸)

خاطره توکلی اوجانی[۱]، ورهرام رشیدی[۱]✉، مهرداد یارنیا[۱]، علیرضا تاری نژاد[۲]، بهرام میرشکاری[۱]

۱ گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران rash270@yahoo.com ✉ **(مسؤول مکاتبات)**

۲ گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

چکیده این پژوهش با هدف بررسی واکنش هیبریدهای مختلف ذرت مواجه با کم‌آبی به کاربرد قارچ مایکوریزا به صورت آزمایش اسپلیت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی طی دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز انجام شد. عامل اصلی شامل کم‌آبی بر اساس تبخیر از تشتک کلاس A در دو سطح ۷۰ میلی‌متر به عنوان شاهد و ۱۴۰ میلی‌متر به عنوان تنش خشکی و عامل فرعی شامل ۱۴ ترکیب فاکتوریل کاربرد و عدم کاربرد قارچ مایکوریزا با هفت هیبرید ذرت شامل SC260، SC400، SC301، SC4015، SC703، SC704 و SC705 بودند. برای ارزیابی میزان تحمل و حساسیت هیبریدهای ذرت به تنش‌خشکی از شاخص تحمل به تنش، شاخص حساسیت به تنش، شاخص تحمل، میانگین حسابی محصول‌دهی و میانگین هندسی محصول‌دهی استفاده شد. تجزیه مرکب دو ساله نشان داد که برای اکثر صفات مورد مطالعه اثر متقابل سال در تنش در هیبرید ذرت معنی‌دار بود. عمکرد دانه در هر دو سال متوالی در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا در هیبرید SC301 عملکرد بهتری از سایرین داشت و نیز به عنوان متحمل‌ترین هیبرید ذرت به تنش خشکی شناخته شد. شاخص‌های شاخص تحمل به تنش و میانگین هندسی محصول‌دهی همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو سال داشتند. همچنین، کاربرد میکوریزا بر تخفیف اثرات تنش خشکی اثر متفاوتی داشت ولی در کل باعث افزایش عملکرد ذرت در شرایط تنش خشکی شد.

شناسه مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ پژوهش: ۱۳۹۵–۱۳۹۴

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۲۱

واژه‌های کلیدی

- تنش آبی
- حساسیت به تنش خشکی
- قارچ ریشه
- هیبرید سینگل‌کراس

این مقاله با دسترسی آزاد تحت شرایط و قوانین The Creative Commons of BY - NC - ND انتشار یافته است.

DOI: 10.22034/aej.2019.1872181.1100

مقدمه یکی از مهمترین عوامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک، تنش کمبود آب در مراحل رشد است.[۱۲] در حال حاضر خشکی خاک گسترده‌ترین عوامل تنش‌زای غیرزیستی در جهان است و ۴۵٪ زمین‌های زراعی جهان که ۳۸٪ جمعیت جهان در آن ساکن‌اند در معرض خشکی مستمر یا شدید قرار دارند.[۴]

ذرت[1] از مهمترین گیاهان زراعی بوده و بعد از گندم و برنج مقام سوم را در بین غلات دارد.[۱] عملکرد ذرت تحت تأثیر شرایط محیطی، پتانسیل ژنتیکی و برهم کنش آنها قرار می‌گیرد.[۲۱] از آنجایی که نیاز آبی گیاه ذرت بالا بوده و منابع آبی در کشور محدود است، لازم است تا هیبریدهای جدیدی که تحمل خشکی در آن ها مناسب بوده و عملکردشان در حد اقتصادی باشد، توسعه یابند.[۲۵] در حال حاضر تنش کم آبی مهم ترین عامل محدود کننده برای تولید موفق ذرت در ایران و جهان به شمار می‌رود.[۲۱] تنش رطوبتی در طول مراحل مختلف رشد ذرت، عملکرد آن را در درجات متفاوت کاهش می‌دهد که شدت کاهش عملکرد به شدت تنش و مرحله رشدی گیاه وابسته است.[۵] تنش کم آبی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه به ترتیب موجب کاهش ۲۹/۲ و ۱۸/۱٪ عملکرد دانه ذرت می‌شود.[۲۳]

استفاده بهتر و کارآمدتر از منابع گیاهی موجود و شناسایی گیاهان مقاوم به تنش کم آبی، از مهمترین راهکارهای کاهش مشکلات تولید کشاورزی در مناطق خشک هستند.[۱۹] در مطالعه اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه، بررسی شاخص‌های تحمل به تنش در انتخاب رقم تحمل کننده خشکی از اهمیت زیادی برخوردار است. در بررسی واکنش ارقام نسبت به تنش خشکی می‌بایست بیشترین توجه را به حساسیت عملکرد آنها نسبت به خشکی معطوف کرد.[۹] برخی معتقدند که با شاخص‌ها می‌توان واکنش ارقام نسبت به خشکی را تعیین و به تفکیک ارقام تحمل کننده و حساس نسبت به خشکی پرداخت. بنابراین، بهترین شاخص‌ها، شاخص‌هایی هستند که همبستگی بالایی با عملکرد در شرایط طبیعی و تنشی داشته باشند، زیرا این شاخص‌ها قادر به جداسازی و شناسایی هیبریدهایی با عملکرد بالا در هر دو محیط هستند.[۸]

پژوهش‌ها نشان داده که قارچ‌های میکوریزی می‌توانند اثرات نامطلوب تنش خشکی در گیاهان را تقلیل دهند.[۱۵] قارچ میکوریزا با ریشه اکثر گیاهان رابطه هم‌زیستی داشته و گیاه را در جذب عناصر معدنی خاک و مواد غذایی به ویژه عناصر کم تحرک از جمله کلسیم، روی، مس، آهن و غیره کمک می‌کند. این نوع قارچ‌ها علاوه بر افزایش جذب مواد غذایی ممکن است سبب تحرک مواد تنظیم‌کننده رشد، افزایش فتوسنتز، بهبود تنظیم فشار اسمزی در شرایط خشکی و افزایش مقاومت به تنش های محیطی نیز شوند.[۱۲]

کومار و همکاران (۲۰۱۵) اعلام نمودند که علت افزایش عملکرد در ذرت، تأثیر مثبت میکوریزا با افزایش ریشه‌ها از طریق نفوذ میسیلیوم قارچ در داخل خاک و همزیستی ریشه گیاه با قارچ و در نتیجه دسترسی بهتر گیاه زراعی به حجم بیشتر از خاک و انتقال آب و مواد غذایی به اندام‌های هوایی و بهبود رشد نمو گیاه است.[۱۴]

فرناندز (۱۹۹۲) ژنوتیپ‌ها را بر اساس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش به چهار گروه عملکرد بالا در هر دو محیط، گروه عملکرد خوب فقط در شرایط بدون تنش، گروه عملکرد خوب فقط در شرایط تنش و گروه عملکرد ضعیف در هر دو محیط تقسیم کرد. به نظر وی بهترین معیار آن است که بتواند گروه اول را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد. زیرا پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های مربوط به این گروه بیشتر است.[۸] *فیشر و مورر (۱۹۷۸)* شاخص حساسیت به تنش را به منظور اندازه‌گیری پایداری عملکرد دانه ارایه کردند که تغییرات عملکرد

[1] *Zea mays* L.

دانه بالقوه و عملکرد دانه واقعی را در محیط‌های متغیر دربرمی‌گیرد.[۱۰] *روزیل و هامبلین (۱۹۸۱)* شاخص تحمل را به عنوان معیار تعیین اختلاف عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و میانگین حسابی محصول‌دهی به عنوان تخمین عملکرد متوسط به کار بردند.[۲۰]

شاخص تحمل به تنش، به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های که در شرایط تنش همانند شرایط بدون تنش عملکرد دانه بالایی دارند و همچنین میانگین هندسی محصول‌دهی توسط *فرناندز (۱۹۹۲)* معرفی شد.[۸] پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد گزینش بر اساس شاخص تحمل به تنش و شاخص حساسیت به خشکی سبب هدایت برنامه اصلاح نباتات به سوی انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین می‌شود ولی انتخاب بر اساس میانگین عملکرد سبب گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا می‌شود.[۲۴] شاخص حساسیت به خشکی با قدرت تفکیک گروه اول از سایر گروه‌ها، گزینش را به طرف انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به خشکی سوق می‌دهد و هرچه مقدار آن زیادتر باشد نشان‌دهنده تحمل بیشتر ژنوتیپ نسبت به تنش خشکی و در نتیجه عملکرد بالاست. نتایج مشابه با نتایج فرناندز توسط *علی پور و همکاران (۲۰۱۴)* در گیاه ذرت گزارش شده است.[۳] *حاجی بابایی و عزیزی (۲۰۱۱)* به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های میانگین حسابی محصول‌دهی، میانگین هندسی محصول‌دهی، شاخص تحمل به تنش در شرایط تنش ملایم و شاخص‌های تحمل و حساسیت در تنش شدید به عنوان بهترین شاخص‌ها برای تعیین ارقام متحمل به تنش کم‌آبی در هیبریدهای ذرت می‌باشند.[۱۱]

هدف از انجام این پژوهش تعیین اثر کاربرد میکوریزا بر تحمل هیبریدهای ذرت به تنش کم‌آبی و تعیین بهترین شاخص‌های تحمل خشکی در هیبریدهای ذرت و شناسایی مناسب‌ترین هیبرید متحمل به این تنش بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات دانشکده کشاورزی آزاد اسلامی واحد تبریز واقع در اراضی کرکج در ۱۵ کیلومتری شرق تبریز با ۱۳۶۰ متر ارتفاع از سطح دریای آزاد در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه شمالی انجام شد.

در این پژوهش واکنش هفت هیبرید ذرت نسبت به تنش خشکی در مرحله شش‌برگی به بعد مورد بررسی قرار گرفت. هیبریدهای ذرت مورد بررسی شامل SC260، SC400، SC301، SC4015، SC703، SC704 و SC705 بودند که از سازمان کشاورزی و اصلاح نهال و بذر کرج تهیه شدند.

این آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سطوح آبیاری به عنوان (فاکتور اصلی) در دو سطح شامل شاهد (۷۰ میلی‌متر تبخیر) و تنش (۱۴۰ میلی‌متر تبخیر) از تشتک کلاس A و ترکیب فاکتوریل هفت هیبرید سینگل کراس ذرت و کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا به عنوان فاکتورهای فرعی بودند. فاصله تکرارها از یکدیگر ۲ متر و فاصلهٔ کرت‌های اصلی ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. هر واحد آزمایشی شامل سه ردیف کاشت با ابعاد ۴ × ۳ متر، فاصله ردیفی ۷۰ سانتیمتر و فاصله بوته روی ردیف ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شد عملیات کاشت در هر دو سال متوالی در اواخر اردیبهشت ماه صورت گرفت. همزمان با کاشت برای هر یک از ردیف‌ها ۸۰ گرم از قارچ مایکوریزا[1] در نظر گرفته شد که به ازای هر بذر ۱۰ گرم در قسمت پایین‌تر از بذر نزدیک به ناحیه ریشه‌ها ریخته شد. جمعیت قارچ مایکوریزا دارای حداقل ۸۰ واحد زنده قارچی به

[1] *Glomus mosae*

جدول ۱) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1) Physical and chemical properties of farm soil

Soil texture	clay (%)	loam (%)	sand (%)	available K (mg/kg)	absorbable P (mg/kg)	total N (%)	organic carbon (%)	Ca carbonate (%)	pH	EC (ds/m)
Sandy loam	15	20	65	485	11.6	0.089	0.69	10.1	7.92	1.89

ازای هرگرم بود. قارچ مایکوریزا از کلینیک گیاهپزشکی ارگانیک اسدآباد همدان تهیه شد و توسط آزمایشگاه خاکشناسی، تلقیح و کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا اطمینان حاصل گردید. همچنین هیچگونه کود شیمیایی از جمله پتاس و فسفر استفاده نشد و بنا به توصیه آزمایشگاه خاکشناسی فقط اوره در دو نوبت در زمان کاشت و ساقه دهی به عنوان آغازگر در دو سال آزمایش مصرف شد. نتایج آزمایش خاک عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک محل اجرای آزمایش مزرعه در جدول ۱ آورده شده است. اعمال تنش خشکی زمانی که گیاه به مرحله شش‌برگی رسید انجام گرفت کلیه عملیات کاشت و داشت برای تمامی واحدهای آزمایشی در تکرارها به غیر از ترکیبات تیماری یکسان انجام گردید. در عملیات داشت قبل از اینکه بوته به شش‌برگی برسد تنک‌کاری انجام شد و در همه مراحل مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه ذرت، پس از جدا کردن دانه‌ها از بلال‌های موجود و توزین دانه‌ها پس از میانگین‌گیری و بر اساس بوته در متر مربع انجام گرفت و عملکرد در متر مربع محاسبه گردید.

آزمون نرمال بودن داده‌ها و برقراری مفروضات تجزیه واریانس انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها به صورت اسپلیت فاکتوریل و آزمون F بر اساس امید ریاضی و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با نرم‌افزارهای SPSS ver. 18 و SAS ver. 9 انجام شد. پس از تعیین عملکرد دانه در مرحله تنش آبیاری، شاخص‌های مربوط به تحمل به خشکی محاسبه گردید. محاسبه شاخص‌ها از معادله‌های ۱ تا ۶ انجام شد.

شاخص تحمل به تنش: معادله (۱) $TOL = Y_P - Y_S$

میانگین حسابی محصول دهی: معادله (۲) $MP = Y_P + Y_S/2$

میانگین هندسی محصول دهی: معادله (۳) $GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s}$

شاخص تحمل به تنش: معادله (۴) $STI = (Y_P \times Y_S)/\overline{Y^2_P}$

شاخص حساسیت به تنش: معادله (۵) $SSI = 1 - (Y_S/Y_P)/SI$

شدت تنش: معادله (۶) $SI = 1 - (\overline{Y_S}/\overline{Y_P})$

محاسبه شد. در این معادلات Y_P عملکرد ذرت در شرایط عادی و Ys عملکرد در شرایط تنش و $\bar{Y}_P, \bar{Y}_S$ میانگین عملکرد هیبریدهای ذرت به ترتیب در شرایط تنش و آبیاری بود.[۱۳]

نتایج و بحث

تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثر متقابل سه جانبه سال × تنش خشکی × هیبرید ذرت در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود که نشان‌دهنده واکنش متفاوت هیبریدها به تنش خشکی در دو سال آزمایش بوده است. همچنین اثر تنش × رقم × مایکوریزا در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود که بیانگر واکنش متفاوت ارقام به کاربرد و عدم کاربرد مایکوریزا تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی از نظر عملکرد می‌باشد (جدول ۲). عملکرد در هیبرید SC301 در سال اول و در شرایط بدون تنش بهتر از سایر هیبریدها می‌باشد در حالی که عملکرد دانه در هیبرید SC4015، در شرایط تنش خشکی و سال دوم کمتر بود (جدول ۳). بیشترین میزان عملکرد دانه در سال اول بود که علت آن شرایط آب و هوایی از جمله میزان

بارندگی متفاوت در دو سال متوالی می‌توان مربوط دانست. همچنین، در شرایط بدون تنش و تنش خشکی هیبریدهای SC301 و SC400 با کاربرد مایکوریزا بهترین عملکرد را نشان دادند (جدول ۴). بنابراین، مایکوریزا در برخی از ارقام در شرایط تنش اثر مثبت بر عملکرد داشت. همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه ذرت، از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی موجب افزایش فتوسنتز شده و این امر سبب تولید فرآورده بیشتر و از جمله عملکرد دانه گردیده است.[۱۵] *علوی فاضل و همکاران (۲۰۱۳)* گزارش دادند که بیشترین عملکرد دانه در ذرت در تیمار آبیاری کامل و کمترین عملکرد در تیمار قطع آبیاری در مرحله گرده‌افشانی به دست آمد.[۲] *ربانی و امام (۲۰۱۱)* اظهار داشتند که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد دانه و شاخص برداشت می‌گردد.[۱۸] به نظر می‌رسد که همزیستی میکوریزا با ریشه ذرت از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی موجب افزایش فتوسنتز و در نتیجه عملکرد دانه شده است.

شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش

اثر متقابل سه جانبه هیبرید، تنش خشکی و سال معنی‌دار بود (جدول ۲)، بنابراین شاخص‌های تحمل به خشکی برای هر سال به طور جداگانه برآورد گردید. شاخص تحمل[1] نشان داد که در سال اول آزمایش SC704 در (جدول ۵) و سال دوم به رقم SC705 متحمل می‌باشد (جدول ۶). بنابراین در بین ارقام، به ترتیب در سال اول و دوم هیبریدهای SC704 و SC705 متحمل‌ترین ارقام از نظر شاخص فوق در تنش خشکی ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A در سال اول آزمایش شناخته می‌شوند. برآورد شاخص حساسیت به خشکی[2] در سال اول نشان داد که در تنش خشکی با ۱۴۰ میلی‌متر از تشتک تبخیر رقم SC704 در (جدول ۵) و در سال دوم رقم SC705 (جدول ۶) پایین‌ترین مقدار شاخص فوق را به خود اختصاص دادند. بنابراین از نظر شاخص حساسیت در سال اول و دوم ارقام فوق از تحمل بالاتری نسبت به سایر ارقام برخوردار بود. از نظر شاخص های تحمل و حساسیت به ترتیب در سال اول و دوم ارقام SC704 و SC705 متحمل‌ترین ارقام در دو سال شناخته می‌شوند، چرا که مقادیر پایین‌تر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش نشان‌دهنده تحمل بالای هیبریدها است. این هیبریدها در گروه‌های سوم و چهارم قرار گرفتند. بنابراین این دو شاخص گزینش را به سوی ارقام متحمل و کم‌بازدهی که دارای تغییرات عملکرد کمتر در هر دو محیط دارای تنش و بدون تنش خشکی است، سوق می‌دهد، بهتر است از این شاخص‌ها در حذف ارقام حساس و نه گزینش ارقام متحمل به تنش استفاده کرد که در این خصوص *شیرین زاده و همکاران (۲۰۰۹)* و *چوگان و همکاران (۲۰۰۶)* نتایج مشابهی را در ذرت ارایه کردند.[۶،۲۴] نتایج مطالعات *شیری (۲۰۱۳)* نیز حکایت از عملکرد بالای هیبرید SC704 و متحمل بودن آن به تنش‌های آبی داشت.[۲۲] از نظر شاخص تحمل به تنش خشکی[3] بیشترین مقدار این شاخص در هر دو سال مربوط به متحمل‌ترین رقم یعنی SC301 بوداین هیبرید دارای عملکرد دانه بالاتر از میانگین در هر دو شرایط مورد بررسی بود و در گروه اول آماری قرار گرفت. به طور کلی، شاخص‌های حساسیت و تحمل در تقسیم‌بندی ارقام به گروه‌های مختلف کاملاً ضعیف می‌باشند. این شاخص ژنوتیپ‌ها را فقط بر اساس تحمل و حساسیت آن‌ها گروه‌بندی می‌کند. در حالی که شاخص تحمل به تنش قدرت تفکیک بالایی داشته و ارقام مورد مطالعه را به چهار گروه متفاوت تفکیک کرد، بنابراین شاخص تحمل به تنش بر خلاف شاخص حساسیت به تنش و تحمل در گزینش هیبریدها

[1] TOL (Tolerance index)
[2] SSI (Stress Susceptibility Index)
[3] STI (Stress Tolerance Index)

جدول ۲) تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه در شرایط با و بدون تنش خشکی با و بدون کاربرد میکوریزا در هیبریدهای ذرت

Table 2) Combined analysis variance of maize grain yield under or with no drought stress with or without mycorrhizae application

Source of variation	df	grain yield mean of square
Year (Y)	1	100921**
Year/ Repeat	4	1967
Drought (D)	1	158457 ns
D × Y	1	50937**
The main error	4	2282
Hybrid (H)	6	39558**
Mycorrhiza (M)	1	109992 ns
H × M	6	4668 ns
H × D	6	9427 ns
D × M	1	3413
D × H × M	6	2991*
Y × H	6	2487 ns
Y × M	1	10916
Y × H × M	6	1919*
Y × D × H	6	9292**
Y × D × M	1	69.2 ns
Y × D × H × M	6	727 ns
Sub-error	104	1922
CV (%)		7.61

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪ و غیر معنی‌دار

*P < 0.05, **P < 0.01; ns, non-significant

متحمل به خشکی با عملکرد دانه موفق بوده است. مقدار بالای شاخص تحمل به تنش حاکی از تحمل بیشتر ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی است، چون شاخص تحمل به تنش حاصلضرب دو کمیت است و به دلیل خاصیت ضرب اعداد ممکن است برای جفت‌هایی از اعداد که با یکدیگر تفاوت ماهوی دارند مربع میانگین هندسی یکسان باشد.[۱۷]

به طور کلی، این شاخص زمانی قابل اعتماد است که ژنوتیپ عملکرد بالا در شرایط تنش داشته باشد. یک شاخص مناسب برای گزینش آن است که منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش گردد.[۳] شاخص میانگین حسابی محصول‌دهی[1] گزینش را به سوی این انتخاب سوق می‌دهد. در این بررسی نیز در سال اول هیبریدهای SC301 و SC703 به ترتیب متحمل‌ترین و حساس‌ترین هیبریدها به تنش خشکی بودند. مقادیر بالای شاخص‌های میانگین حسابی محصول‌دهی و میانگین هندسی محصول‌دهی[2] نشان‌دهنده تحمل بالای هیبریدها به تنش خشکی است و در هر دو سال، SC301 متحمل‌ترین هیبرید به تنش خشکی شناخته شد.

شیرین زاده و همکاران (۲۰۰۹) نیز با بررسی تحمل به خشکی هیبریدهای ذرت تحت شرایط مختلف تنش رطوبتی به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین هندسی محصول‌دهی و میانگین حسابی محصول‌دهی در گزینش ارقام نسبت به سایر شاخص‌ها موفق‌تر عمل نمودند و به عنوان شاخص‌های برتر معرفی شدند.[۲۴]

[1] MP (Mean Productivity)
[2] GMP (Geometric Mean Productivity)

جدول ۳) عملکرد دانه هیبریدهای مختلف ذرت تحت تنش و بدون تنش در دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

Table 3) Grain yield of maize hybrids with and without drought stress in 2014 and 2015

year	Drought stress	SC260	SC301	SC400	SC703	SC704	SC705	SC4015
2013	without	699 bcd	759 a	653 e	599 fg	703 bcd	667 de	674 cde
	with	568 fg	592 fg	505 hi	506 hi	438 jkl	559 g	471 ij
2014	without	691 b-e	720 b	673 cde	576 fg	679 cde	711 bc	606 f
	with	418 lm	514 h	435 jkl	392 m	403 lm	430 klm	461 jk

جدول ۴) عملکرد دانه هیبریدهای ذرت تحت و بدون تنش خشکی تحت تأثیر کاربرد و عدم کاربرد مایکوریزا

Table 4) Grain yield of maize hybrids with and without drought stress in with and without mycorrhizae application

Drought stress	Mycorrhiza	SC260	SC301	SC400	SC703	SC704	SC705	SC4015
Without	without	674 bcd	715 ab	641 cd	550 e	663bcd	693 bc	623 d
	with	716 ab	765 a	685 bc	625 d	720 ab	686 bc	657 cd
With	without	447 hij	481gh	462 ghi	421 ij	401 j	480 gh	445 hij
	with	539 ef	625 d	479 ghi	477 jhi	441 hij	509 efj	488 fjh

جدول ۵) مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش خشکی هیبریدهای ذرت با توجه به عملکرد دانه در سال ۱۳۹۵

Table 5) Drought stress tolerance indices of corn hybrids regarding grain yield in 2014

Maize hybrids	Ys	Yp	TOL	SSI	STI	MP	GMP
SC260	568	699	131	0.790	0.842	633	630
SC301	592	759	167	0.921	0.950	676	671
SC400	505	653	147	0.943	0.701	579	574
SC703	438	703	265	1.57	0.650	571	555
SC704	576	667	91	0.570	0.810	662	620
SC705	471	674	202	1.29	0.675	573	564
SC4015	506	649	143	0.921	0.690	578	573

جدول ۶) مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش خشکی هیبریدهای ذرت با توجه به عملکرد دانه در سال ۱۳۹۶

Table 6) Drought stress tolerance indices of corn hybrids regarding grain yield in 2015

Maize hybrids				Ys	Yp	TOL	SSI	STI	MP	GMP
SC260				418	691	272	1.16	0.671	555	546
SC301				513	720	207	0.850	0.830	617	608
SC400				468	673	205	0.904	0.715	805	562
SC703				403	679	275	1.20	0.611	541	523
SC704	430	711	280	1.16		0.692		756		553
SC705	461	606	145	0.711		0.631		764		529
SC4015	392	575	183	0.942		0.501		483		475

همبستگی

در سال اول همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش با شاخص تحمل به تنش خشکی، میانگین حسابی محصول دهی، میانگین هندسی محصول‌دهی در سطح احتمال ۱٪ مثبت و معنی‌دار بود در حالی که با شاخص تحمل و شاخص حساسیت به خشکی همبستگی منفی و معنی‌دار دارد. همبستگی بین شاخص تحمل با شاخص حساسیت به تنش مثبت و معنی‌دار و نیز همبستگی شاخص تحمل به تنش با میانگین حسابی محصول‌دهی و میانگین هندسی محصول‌دهی مثبت و معنی‌دار بود. همبستگی شاخص میانگین حسابی محصول‌دهی با میانگین هندسی محصول‌دهی نیز در سطح احتمال ۱٪ مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۷). با توجه به این که در سال اول هیچ‌یک از شاخص‌ها با عملکرد در شرایط بدون تنش همبستگی

جدول ۷) همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در هیبریدهای ذرت در سال ۱۳۹۵

Table 7) Correlation among drought stress indices in maize hybrids in 2014

Tolerance Indices	Yp	TOL	SSI	STI	MP	GMP
Ys	0.375	-0.771*	-0.863*	0.920**	0.923**	0.937**
Yp		0.293	0.141	0.690	0.584	0.680
TOL			0.981**	-0.478	-0.551	-0.493
SSI				-0.601	-0.671	-0.620
STI					0.950**	1**
MP						0.950**

جدول ۸) همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در هیبریدهای ذرت در سال ۱۳۹۶

Table 8) Correlation among drought stress indices in maize hybrids in 2015

Tolerance Indices	Yp	TOL	SSI	STI	MP	GMP
Ys	0.421	-0.370	-0.611	0.860*	0.501	0.850*
Yp		0.687	0.458	0.820*	0.229	0.800*
TOL			0.950**	0.147	-0.170	0.176
SSI				-0.132	-0.324	-0.122
STI					0.390	0.998**
MP						0.429

معنی‌دار و مثبت نشان نداد. بنابراین، در سال اول شاخص برتر که بتواند در هر دو شرایط تنش و بدون تنش ارقام متحمل را شناسایی کند احراز نگردید، اگر چه شاخص تحمل به تنش، میانگین حسابی محصول‌دهی و میانگین هندسی محصول‌دهی توانست ارقام متحمل به تنش در شرایط تنش خشکی را شناسایی نمایند. همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در سال دوم نشان داد که همبستگی تنش خشکی با شاخص تحمل به تنش و میانگین هندسی محصول‌دهی مثبت و معنی‌دار بود. همچنین همبستگی شرایط نرمال با شاخص تحمل به تنش و میانگین هندسی محصول‌دهی نیز مثبت و معنی‌دار بود. همبستگی بین شاخص تحمل به تنش با میانگین هندسی محصول‌دهی نیز مثبت و معنی‌دار بود. بنابراین دو شاخص تحمل به تنش و میانگین هندسی محصول‌دهی هم در شرایط تنش و هم در بدون تنش تغییرات هم جهتی نیز با عملکرد دارند و به عبارت دیگر می‌توانند ژنوتیپ‌های متحمل دارای عملکرد بالا را در هر دو شرایط از سایر ژنوتیپ‌ها متمایز نمایند. بنابراین به عنوان بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی در سال دوم آزمایش شناخته می‌شوند. همبستگی بین شاخص‌های تحمل و حساسیت مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۸).

نتیجه‌گیری کلی تنش کم‌آبی در مرحله شش‌برگی به بعد در ذرت، بر عملکرد دانه اثر متفاوتی بر هیبریدهای مختلف ذرت نشان داد و در کل باعث کاهش عملکرد دانه گردید. تأثیر کاربرد میکوریزا بر عملکرد دانه کاملاً مشهود بود و بنابراین در شرایط محدودیت منابع آب، می‌توان با مدیریت دقیق آبیاری و کاربرد میکوریزا در برخی هیبریدها، خسارت کم‌آبی بر عملکرد دانه ذرت را به میزان قابل توجهی کاهش داد. در هر دو سال، هیبرید SC301 به عنوان متحمل‌ترین هیبرید به تنش خشکی شناخته شد. همچنین شاخص‌های تحمل به تنش و میانگین هندسی محصول‌دهی در گزینش هیبریدهای با عملکرد بالا و متحمل به تنش شاخص‌های برتر بودند.

References

1. Ahmd Z, Waraich EA, Ahmad T, Ahmad R, Awan MI (2015) Yield response of maize as influenced by supplemental foliar applied phosphorus under drought stress. International Journal of Food and Allied Sciences 1: 45-55.
2. Alavi Fazel M, Lack Sh, Sheykhi Nasab M (2013) The effect of irrigation-off at some growth stages on remobilization of dry matter and yield of corn hybrids. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5(20): 2372 - 2378.
3. Alipour M, Ranjbar GA, Khourasani S, Babayan Jelodararan A (2014) Evaluation of drought tolerance in maize hybrids (*Zea mays* L.). Journal of Crop Breeding 6: 41-53. [in Persian with English abstract]
4. Ashraf M (2010) Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. Biotechnology Advances 28: 183-169.
5. Cheng LI, Sun BC, Tang HJ, Wang TY, Yu LI, Zhang DF, Xie XQ, Shi YS, Song YC, Yang XH, Li JS (2017) Simple nonlinear model for the relationship between maize yield and cumulative water amount. Journal of Integrative Agriculture 30(16): 858 - 866.
6. Choukan R, Taherkhani T, Ghannadha MR, Khodarahmi M (2006) Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. Iranian Journal of Crop Sciences 8: 79-89. [in Persian with English abstract]
7. Esmaeilpour B, Jalilvand P, Hadian J (2013) Effects of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphophysiological traits and yield of savory (*Satureja hortensis* L.). Agroecology Journal (5)2: 169 - 177. [in Persian with English abstract]
8. Fernandez GC (1992) Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceedings of the International Symposium of Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress, Taipei, Taiwan. 257-270.
9. Fereres E, Gimenz C, Brenngena J, Fernandez J, Domiguez J (1983) Genetic variability of sunflower cultivar in response to drought. Helia 6: 17-21.
10. Fischer AT, Maurer R (1978) Drought resistance in spring wheat cultivars. I: Grain yield responses. Australian Journal Agricultural Research 29: 897-912.
11. Hajibabaei M, Azizi F (2011) Evaluation of drought tolerance indices in some new hybrids of corn. Electronic Journal of Crop Production 3: 139-155.
12. Harrison MT, Tardieu F, Dong Z, Messina CD, Hammer GL (2014) Characterizing drought stress and trait influence on maize yield under current and future conditions. Global Change Biology 20: 867-878.
13. Khorshidi MB, Abdi M, Iranipur S, Akbari R (2008) Effect of end season water stress on yield of nine rice cultivars and promising lines based on drought evaluation indices. Journal of New Agricultural Sciences 11: 17-29. [In Persian with English abstract]
14. Kumar M, Kaur, Pachouri ACU, Singh J (2015) Growth promoting characteristics of Rhizobacteria and AM Fungi for biomass amelioration of *Zea mays*. Archives of Biological Sciences 67: 877-887.
15. Mesrzadeh-Azar A, Afkari A (2014) The role of arbuscular mycorrhizal fungi on growth parameters of maize. Proceedings of the Second National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources. Tehran, Iran. [in Persian]
16. Miransari M (2010) Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant growth under different types of soil stresses. Plant Biology 12: 563-569.
17. Naderi A, Hashemi Dezfuli A, Rezaee A, Noor Mohammadi GH (2000) Analysis of performance indicators to assess the tolerance of crops to environmental stresses and introduce a new index. Seed and Plant 15: 390-40.
18. Rabbani S, Imami Y (2011) Response of grain yield of maize hybrids to drought stress at different stages of growth. Seed Production and Processing of Crops and Gardens 1(2) 2: 65-78.
19. Ribaut JM, Betran J, Monneveux P, Setter T (2012) Drought Tolerance in Maize. In: Bennetzen JL, Hake SC (eds.), Handbook of Maize: Its Biology. Springer: New York 311–334.

20. Rosielle AA, Hamblin J (1981) Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science 21: 943 - 946.
21. Shiri M, Valizadeh E, Magjidi Sanjari A, Gharib-Eshghi A (2010) Evaluation of wheat tolerance indices to moisture stress condition. Electronic Journal of Crop Production 3: 153-171. [in Persian wih English abstract]
22. Shiri MR (2013) Grain yield stability analysis of maize (*Zea mays* L.) hybrids in different drought stress conditions using GGE biplot analysis. Crop Breeding Journal 3: 107-112.
23. Shiri MR, Bahrampour T (2015) Genotype × environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. Cereal Research 5(1): 83-94. [in Persian with English abstract]
24. Shirinzade E, Zarghami R, Shiri MR (2009) Evaluation of drought tolerance in late and medium maize hybrids- using stress tolerance indices. Iranian Journal of Crop Sciences 10: 416-427. [in Persian with English abstract]
25. Soltani MF, Chay Chi M (2011) Selection of the most suitable hybrid among 11 new hybrids in corn based on grain yield and forage yield under drought stress conditions. Proceedings of The First National Conference on Modern Agriculture, Saveh, Iran. [in Persian]

Effect of mycorrhiza application on corn hybrids tolerance to drought stress

Agroecology Journal

Vol. 15, No. 2 (37 - 47)
(summer, 2019)

Khatereh Tavakoli Oujani[1], Varahram Rashidi[1]✉, Mehrdad Yarnia[1], Alireza Tarinejad[2], Bahram Mirshekari[1]

1 Department of Agronomy and Plant Breeding, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
✉ rash270@yahoo.com **(corresponding author)**
2 Department of Agricultural Biotechnology, College of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

Received: 04 January 2018 **Accepted:** 12 August 2019

Abstract This study aimed to evaluate corn hybrids under drought stress reaction to application of mycorrhiza as split factorial experiment based on randomized complete block design during 2015 and 2016 at Research Station of Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Iran. The main factor included drought stress based on evaporation from class A pan at two levels of 70 millimeters as control and 140 millimeters as drought stress. The sub factor was 14 factorial combinations of mycorrhiza fungi application and non-application with seven corn hybrid including SC260, SC301, SC400, SC4015, SC703, SC704, and SC705. To evaluate tolerance and sensitivity of corn hybrids to drought stress, the stress tolerance index, stress sensitivity index, tolerance index, mean productivity and the geometric mean of the product were used. Two-year complex analysis showed that in most of the studied traits, the interaction of year and stress was significant in corn hybrids. Seed yield in two years was increased more with mycorrhiza application in hybrid SC301 than other hybrids considered as the most tolerant corn hybrid to drought stress. Indices of stress tolerance index and geometric mean productivity had positive and significant correlation with grain yield in both years. Also, mycorrhiza application had a different effect on mitigating of drought stress effects, but in general it increased maize yield under drought stress conditions.

Keywords

- mycorrhizal fungi
- sensitivity index
- single cross
- water stress

This open-access article is distributed under the terms of the Creative Commons-BY-NC-ND which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

DOI: 10.22034/aei.2019.1872181.1100