بررسی اثرات تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن‌گلایکول بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه هیبریدهای ذرت

محمد مرادی[1*]، احمد حسنکی فرد[2] و محمد معتمدی[1]

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران
۲- هنرآموز هنرستان کشاورزی شهید باهنر شوشتر، ایران
مسئول مکاتبات؛ پست الکترونیک: moradim_17@yahoo. com

(تاریخ دریافت: ۱ آذر ماه ۱۳۹۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۵ اسفند ماه ۱۳۹۶)

چکیده

کمبود آب یکی از مشکلات رو به تزاید کشاورزی ایران است و تهدیدی برای این صنعت و امنیت غذایی کشور محسوب می‌شود. جوانه‌زنی یکی از مراحل حساس در طول دوره رشد گیاهان است که اغلب تحت اثر تنش‌های محیطی بویژه خشکی قرار می‌گیرد. در این تحقیق، اثر چهار سطح پتانسیل آب (صفر، ۳-، ۶- و ۹- بار با استفاده از پلی‌اتیلن‌گلایکول) بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه هیبریدهای ذرت (سه هیبرید SC۵۰۰، SC۶۴۰ و SC۷۰۴) بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار سطوح مختلف تنش خشکی و نوع هیبرید و برهمکنش آنها بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی بود. نتایج نشان داد که با کاهش پتانسیل آب در تمام سطوح تنش خشکی صفات رشدی شامل سرعت و درصد جوانه‌زنی، طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و در نهایت ارتفاع گیاهچه کاهش یافت. به طور کلی هیبرید SC ۵۰۰ با داشتن بالاترین درصد جوانه‌زنی، طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و ارتفاع گیاهچه نسبت به سایر هیبریدهای مورد بررسی متحمل‌ترین هیبرید بود.

واژه‌های کلیدی: ذرت، سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه.

مقدمه

در میان گیاهان زراعی، ذرت (*Zea mays* L) با توجه به نقش مهمی که در تغذیه انسان و دام و ماده خام صنعتی دارد، به عنوان یکی از مهمترین غلات در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته از جایگاه ارزشمندی برخوردار است (۴). تنش رطوبتی ناشی از کمبود آب و اشکال مختلف آن به عنوان یکی از اصلی‌ترین و فراگیرترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است، بطوریکه تخمین زده شده که سالانه تقریباً حدود ۱۰ میلیارد دلار تولیدات جهانی بدلیل بارندگی نامناسب یا عدم بارندگی تلف می‌شود(۴). طبق گزارش فائو (۹) سالانه حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد عملکرد ذرت در جهان به دلیل تنش خشکی کاهش می‌یابد و چنین کاهشی حتی ممکن است در آینده بعلت تغییرات مداوم و شدیدتر آب و هوایی افزایش یابد.

جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه در تعیین تراکم نهایی بوته در واحد سطح دارای اهمیت ویژه‌ای است. گزارش‌های متعدد حاکی از آن است که بذرهایی که بتوانند در مرحله جوانه‌زنی واکنش مناسبی به تنش خشکی نشان دهند، در مرحله گیاهچه‌ای رشد بهتری داشته و سیستم ریشه‌ای قوی‌تری تولید می‌کنند (۲ و ۱۲). سرعت جوانه‌زنی و

استقرار گیاهچه در شرایط تنش، نقش مهمی را در رشد گیاه ایفا می‌کنند. سرعت جوانه‌زنی یکی از شاخص‌های ارزیابی تحمل به خشکی است، به طوری که ارقام دارای سرعت جوانه‌زنی بیشتر در شرایط تنش، از شانس بیشتری برای سبز شدن برخوردارند (۵ و ۲۴). گرچه ممکن است در فصل کاشت میزان بارندگی زیاد باشد اما در برخی شرایط به دلیل تبخیر و خشک شدن لایه سطحی خاک، جوانه‌زنی و سبز شدن گیاه با مشکل مواجه می‌گردد (۱۴). این موضوع در مناطق خشک که نوسانات بارندگی زیادی داشته و احتمال اینکه در ابتدای فصل کاشت مقدار بارندگی نازل شده در هر دفعه کم باشد و یا اینکه فاصله زمانی بین دو بارندگی طولانی گردد، از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد (۸). تنش رطوبتی عموماً باعث تأخیر در جوانه‌زنی، کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی و کاهش رشد گیاهچه می‌شود (۳). با کاهش پتانسیل آب، سرعت جذب آب بوسیله بذر تحت تأثیر قرار می‌گیرد ولی برای کاهش درصد جوانه‌زنی پتانسیل آب باید از حد معینی که برای هر گونه خاص متفاوت است، پایین‌تر رود (۱۳). به دلیل ناهمگون بودن خاک در مزرعه و عدم امکان کنترل عوامل محیطی در شرایط مزرعه از جمله تنش خشکی، انجام تحقیقات آزمایشگاهی در شرایط آزمایشگاه مورد توجه قرار گرفته است. از جمله این روش‌ها می‌توان به بررسی واکنش ژنوتیپ‌ها به محلول‌های ایجاد کننده پتانسیل اسمزی نظیر پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ اشاره داشت (۲۲). آزمایشات مختلفی که با استفاده از پلی‌اتیلن‌گلایکول روی گیاهان متفاوت انجام شده نشان داده است که با کاهش پتانسیل آب توسط پلی‌اتیلن‌گلایکول مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی افزایش می‌یابد (۹، ۱۵ و ۲۲). بررسی‌ها نشان داده‌اند که درصد جوانه‌زنی بذرها در محلول پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ با درصد جوانه‌زنی در خاک با همان پتانسیل تقریباً برابر بوده است (۱۳ و ۱۵). نتایج برخی از آزمایش‌ها حاکی از کاهش صفات از جمله سرعت و درصد جوانه‌زنی، طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و افزایش نسبی طول ریشه‌په در شرایط خشکی می‌گردد (۱۵، ۱۸، ۲۲ و ۲۳). مرحله جوانه زنی، دوام، استقرار و عملکرد نهائی گیاهان را تضمین می‌کند و سبزشدن به اندازه کافی از عوامل مهم در زراعت ذرت محسوب می‌شود، بدیهی است بذرهایی که بتوانند در شرایط تنش، از تحمل به خشکی بالایی برخوردار باشند در استقرار یکنواخت بوته‌ها در مزرعه و افزایش عملکرد نقش قابل توجهی خواهند داشت. بر این اساس، این آزمایش بمنظور بررسی اثرات تنش خشکی بر جوانه زنی و رشد گیاهچه هیبریدهای هیبرید ذرت با استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول جهت شناسایی تحمل هیبریدها نسبت به تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۰ در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین بصورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل سه ذرت هیبرید (۵۰۰ SC، SC۶۴۰ و SC۷۰۴) و پتانسیل‌های اسمزی (صفر، ۳-، ۶- و ۹- بار). مقادیر لازم از پلی‌اتیلن‌گلیکول با وزن مولکولی ۶۰۰۰ برای ایجاد هر یک از پتانسیل‌های اسمزی مورد نظر با استفاده از روش میچل و کافمن (۲۱) محاسبه گردید. در ابتدا بذور ذرت با محلول هیپوکلریت سدیم سه درصد به مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی و پس از آن با آب مقطر چند بار شستشو گردید و سپس با محلول قارچ کش بنومیل دو در هزار به مدت ۳۰ ثانیه مجدداً ضدعفونی و سپس سه مرتبه با آب مقطرآب کشی شدند. برای ایجاد پتانسیل آب صفر(شاهد) از آب مقطر استفاده گردید. تعداد بذور در هر ظرف ۲۵ عدد در نظرگرفته شد و به هر ظرف مقدار محلول PEG با پتانسیل مربوطه اضافه گردید، به طوری که بذور در تماس با محلول باشند. به منظور اجتناب از اثر منفی تبخیر آب، میزان آب تبخیر شده از طریق اضافه کردن آب مقطر جبران شد. ظروف به داخل انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند (۵). بذرها به طور روزانه بازبینی و تعداد بذرهای جوانه‌زده (دارای طول ریشه‌چه ۲-۱ میلی‌متر و یا بیشتر) ثبت شدند (۱۰). هنگام شمارش،

بذرهائی جوانه زده تلقی می‌شدند که طول ریشه‌چه آنها حداقل دو میلی‌متر بود. شمارش تا زمانی ادامه یافت که برای مدت سه روز متوالی تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر نمونه ثابت بماند. به منظور تعیین درصد مواد انتقال یافته از بذر به گیاهچه در ابتدا و انتهای آزمایش وزن خشک ۱۰ بذر جوانه‌زده اندازه‌گیری شد(۱). در روز آخر (پس از ۸ روز، زمانی‌که تعداد بذرهای جوانه‌زده ثابت شدند) نیز طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید. برای محاسبه‌ی درصد و سرعت جوانه‌زنی از معادله‌های زیر استفاده شد (۵):

معادله ۱ درصد جوانه‌زنی = تعداد بذرها جوانه‌زده تا روزi/تعداد کل بذرها ×۱۰۰

معادله ۲ سرعت جوانه‌زنی=$\sum_{1}^{8}$(تعداد بذرهای جوانه‌زده تا روزi / تعداد روز از شروع آزمایش)

صفات طول ریشه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه با استفاده از خط‌کش میلی‌متری تعیین شد. به منظور تعیین وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، اندام‌های فوق به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند و سپس با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شدند. تجزیه واریانس داده‌هایی که به صورت درصد بودند پس از تبدیل زاویه‌ای(Arcsin) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد استفاده شد و محاسبه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

اثر تنش خشکی، هیبرید و برهمکنش آنها بر درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). در پتانسیل صفر (شاهد) بیشترین سرعت جوانه‌زنی با میانگین ۷۵٪ مشاهده شد و میان پتانسیل‌های ۳-، ۶- و ۹- بار نیز از نظر درصد جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری وجود داشت به طوری‌که با افزایش پتانسیل از درصد جوانه‌زنی کاسته شد و کمترین درصد جوانه‌زنی با میانگین ۱۶٪ در پتانسیل ۹- بار بدست آمد (جدول ۲). بیشترین درصد جوانه‌زنی را هیبرید SC۵۰۰ با میانگین ۶۴/۵٪ به خود اختصاص داده است و کمترین درصد جوانه‌زنی را هیبرید SC۷۰۴ با میانگین ۳۹/۵٪ داشته است. پاسخ متفاوت هیبریدهای مختلف به تنش خشکی می‌تواند به دلیل عوامل مختلفی از اندازه بذرها و احتمالاً ویژگی‌های پوشش سطحی بذر مورد نظر باشد. کاهش ورود آب به بذر در اثر افزایش تنش خشکی باعث کاهش هدایت هیدرولیکی گردیده و در نتیجه فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی جوانه‌زنی تحت تأثیر قرار گرفته و میزان و یا سرعت انجام آن‌ها کاهش می‌یابد (۲). اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد و یا جذب به آرامی صورت گیرد فعالیت‌های فیزیولوژیکی و متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی انجام خواهند شد و در نتیجه مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش یافته و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (۱۳). بیشترین درصد جوانه‌زنی را ذرت هیبرید SC۶۴۰ در تیمار بدون تنش داشت، هرچند که در پتانسیل‌های ۶- و ۹- بار ذرت هیبرید SC۷۰۴ درصد جوانه‌زنی بیشتری نسبت به سایر هیبریدها داشت (جدول ۲). این موضوع نشان می‌دهد که برخی از ارقامی که در شرایط عدم تنش، جوانه‌زنی مطلوبی دارند ممکن است در شرایط تنش اینگونه نباشند، مشابه این نتیجه توسط برخی پژوهشگران گزارش شده است (۵). محققین دیگر گزارش نمودند که با افزایش سطوح خشکی درصد جوانه‌زنی بطور معنی‌داری کاهش می‌یابد هر چند که در بین ارقام تفاوت وجود دارد (۱۵ و ۱۸). برخی از محققان واکنش متفاوت ارقام نسبت به تنش خشکی را به عوامل مختلفی از جمله جذب کمتر آب در ارقام حساس مرتبط دانسته‌اند. کاهش جذب آب توسط بذر در اثر تنش خشکی باعث کاهش فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی بذر گردیده و لذا وفور مواد در دسترس برای ادامه حیات گیاه را با مشکل روبرو می‌سازد (۹ و ۲۲).

سرعت جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار تنش خشکی و هیبرید بر سرعت جوانه‌زنی بذر بود (جدول ۱). با افـزایش تنش خشکی سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (جدول ۲). بین پتانسیل صفر (شاهد) و سایر سـطوح تـنش خشـکی از نظر سرعت جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری وجود داشت اما بین سطوح تنش خشکی از نظر سرعت جوانـه‌زنـی اخـتلاف معنی‌داری مشاهده نشد. اما به طور کلی با افزایش سطوح تنش خشکی، سرعت جوانه‌زنی کـاهش یافـت (جـدول ۲). اثر برهمکنش هیبرید و تنش خشکی بر سرعت جوانه‌زنی معنی‌داری نبود (جدول ۱). یکـی از شـاخص‌هـای مهـم در ارزیابی تحمل به خشکی ارقام، سرعت جوانه‌زنی آنها می‌باشد، به گونه‌ای که ارقام با سرعت جوانه زنی بـالا در شـرایط تنش خشکی امکان سبز شدن سریع‌تری را نسبت به سایر ارقام دارند (۱۵). بـه نظـر مـی‌رسـد، عامـل بیشـتر بـودن سرعت جوانه زنی در بعضی از ژنوتیپ‌ها سرعت بیشتر جذب آب و آماس بذر آنها است (۱۹). اگـر جـذب آب توسـط بذر دچار اختلال گردد و یا جذب به کندی صورت گیرد فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی انجام خواهد شد، در نتیجه مدت زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش می‌یابد و لذا سرعت جوانه‌زنی کـاهش مـی‌یابـد (۲۱). نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان (۱۳، ۱۴، ۲۲ و ۲۳) گزارش شده اسـت. برخـی از محققـان معتقدنـد سـرعت جوانه‌زنی یکی از شاخص‌های ارزیابی تحمل به تنش خشکی است، بطوریکه ارقـام دارای سـرعت جوانـه‌زنـی بیشـتر، تحت شرایط تنش خشکی، از شانس بیشتری برای سبز شدن برخوردارند (۶، ۱۷ و ۲۱).

طول ریشه‌چه

تنش خشکی، هیبرید و برهمکنش این دو تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه‌چه داشت (جدول ۱). با کاهش پتانسـیل آب از صفر به ۹- بار، روند کاهشی در رشد و طول ریشه‌چه مشاهده شد. بیشترین طـول ریشـه‌چـه در شـرایط عـدم تنش و کمترین مقدار آن در سطح ۹- بار مشاهده گردید (جـدول ۲). بـا افـزایش تـنش، طـول ریشـه‌چـه از ۱۶/۲۳ سانتی‌متر به ۰/۳۳ سانتی‌متر در پتانسیل ۹- بار رسید. افت طول ریشه‌چه از پتانسیل ۳- بار به بعد از شدت بیشـتری برخوردار بود (جدول ۲). بیشترین طول ریشه‌چه با میانگین ۷/۵۳ سانتی‌متر در ذرت هیبریـد ۵۰۰ و کمتـرین طـول ریشه‌چه با میانگین ۶/۱۳۵ در ذرت هیبرید ۶۴۰ مشاهده گردید (جدول ۲). بیشـترین طـول ریشـه‌چـه بـا میـانگین ۱۷/۷۰ سانتی‌متر در هیبرید ۵۰۰ و شرایط عدم تنش بدست آمد (جدول ۲). یکی از دلایل افزایش طول ریشه‌چه در شرایط تنش جذب بیشتر آب جهت جوانه‌زنی است که این امر خود باعث افزایش فعالیت‌های متابولیکی در داخل بذر جهت جوانه‌زنی می‌شود(۲۳). از عوامل دیگر نوسانات طول ریشه‌چه می‌تـوان بـه تفـاوت در تجمـع مـاده خشـک در بافت‌های ذخیره‌ای ریشه‌چه ارقام متحمل در شرایط تنش اشاره کرد. آزمایشات مختلف نشـان دهنـده افـزایش طـول ریشه‌چه در تنش‌های ملایم است و همچنین اولین تغییرات جهت مقابله با تنش خشکی افزایش رشـد ریشـه‌چـه بـه منظور جذب حداکثر رطوبت گزارش شده است (۱۳). برخی محققین معتقدند در شرایط تنش تجمع ماده خشـک در بافت‌های ریشه‌چه و ساقه‌چه ارقام متحمل بیشتر از ارقام حساس است (۱۵، ۲۲ و ۲۳).

طول ساقه‌چه

تنش خشکی، هیبرید و برهمکنش این دو اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بـر طـول سـاقه‌چـه داشـت (جدول ۱). با افزایش تنش خشکی طول ساقه‌چه کاهش یافت و بیشترین طول ساقه‌چه با میانگین ۷/۰۲ سـانتی‌متـر در پتانسیل آب صفر (شاهد) و کمترین طول ساقه‌چه با میانگین ۰/۳۶ سانتی‌متر در پتانسیل ۹- بار مشـاهده گردیـد (جدول ۲). بیشترین طول ساقه‌چـه را ذرت هیبریـد SC۵۰۰ و کمتـرین طـول سـاقه‌چـه را هیبریـد ۶۴۰ بـه خـود اختصاص داد (جدول ۲). بیشترین طول ساقه‌چه ذرت با میانگین ۸/۵۸ سانتی‌متـر در هیبریـد سـینگل‌کـراس ۵۰۰ و

عدم تنش بدست آمد. آزمایشات مختلف بیانگر این مطلب است که در شرایط تنش، میزان تجمع ماده خشک در بافت ساقه‌چه گیاهچه‌های متحمل افزایش می‌یابد و ارقامی که بتوانند در شرایط تنش رطوبتی طول ساقه‌چه خود را بیشتر افزایش دهند یا افت طول ساقه‌چه در آنها با افزایش تنش خشکی کم باشد، گیاهچه‌های متحمل در برابر تنش خشکی به شمار می‌آیند (۵، ۱۱ و ۱۳). با توجه به نتایج فوق می‌توان اظهار داشت که هیبریدهای سینگل‌کراس ۵۰۰ و ۷۰۴ بدلیل کاهش کمتر طول ساقه‌چه نسبت به هیبرید ۶۴۰ هیبریدهای متحمل‌تری در شرایط تنش خشکی هستند (جدول ۲). در بین صفات مورد اندازه‌گیری، طول ساقه‌چه از حساسیت بالاتری نسبت به تنش خشکی برخوردار بود که این مطلب توسط محققان دیگری نیز گزارش گردیده است (۱۵، ۲۲ و ۲۳). از این رو به نظر می‌رسد که می‌توان این صفت را بعنوان یک شاخص ارزیابی جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های ذرت در شرایط تنش خشکی محسوب کرد.

جدول ۱- تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات مورد بررسی در هیبریدهای ذرت

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول گیاهچه
تنش خشکی	۳	۱۴/۶۶**	۳۴/۷۵*	۰/۱۵**	۰/۳۲**	۲۴/۹۸**	۵۸/۲۱**	۲۳/۳۵**
هیبرید	۲	۶۵/۳۳**	۱۰/۴۸۵*	۰/۱۹**	۰/۱۵**	۱۰/۳۹**	۱۷/۸۱**	۳۴/۷۱**
تنش خشکی× هیبرید	۶	۳۶/۲۶**	۲/۳۱۷^{ns}	۰/۱۶**	۰/۹۲**	۱۱/۷۲**	۱۳/۷۰**	۱۱/۷۴**
خطا	۳۶	۵/۱۲	۳/۵۶	۰/۰۲	۰/۰۶	۲/۵۸	۲/۳۸	۲/۵۶
ضریب تغییرات		۱۷/۴۸	۲۱/۸۰	۹/۶۵	۱۳/۵۳	۱۲/۳۸	۴/۹۷	۶/۰۲

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

طول گیاهچه

تنش خشکی، هیبرید و برهمکنش این دو اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر طول گیاهچه داشت (جدول ۱). بطوری که با افزایش سطوح تنش خشکی طول گیاهچه به طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین طول گیاهچه با میانگین ۲۳/۲۵ سانتی‌متر در پتانسیل عدم تنش و کمترین مقدار آن با میانگین ۶۹/ ۰ سانتی‌متر در پتانسیل ۹- بار مشاهده گردید (جدول ۲). هیبرید SC۵۰۰ با میانگین ۱۱/۷۱ سانتی‌متر بیشترین طول گیاهچه را به خود اختصاص داد و هیبرید ۷۰۴ و ۶۴۰ در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (جدول ۲). بیشترین طول گیاهچه با میانگین ۲۶/۲۸ سانتی متر در هیبرید SC۵۰۰ و بدون تنش خشکی بدست آمد. به طور کلی با افزایش تنش خشکی ذرت هیبرید SC۵۰۰ نسبت به سایر هیبریدها برتری بیشتری از خود نشان داد (جدول ۲). نتایج آزمایش‌های مختلف بیانگر این مطلب است که در اثر تنش خشکی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه هر دو کاهش می‌یابند، ولی نسبت کاهش طول ساقه‌چه بیشتر از طول ریشه‌چه می‌باشد و در نهایت باعث کاهش طول گیاهچه می‌شود. کاهش رشد گیاهچه در پاسخ به افزایش تنش خشکی به سبب کمبود آب و عدم جذب متوازن مواد غذایی لازم بوده که این حالت ممکن است همه جنبه‌های متابولیسم گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (۲، ۱۲ و ۲۱).

وزن خشک ریشه‌چه

اثر تنش خشکی، هیبرید و برهمکنش آنها بر وزن خشک ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش تنش خشکی وزن خشک ریشه‌چه به طور معنی‌داری کاهش یافت و در شرایط عدم تنش

خشکی بیشترین وزن خشک ریشه‌چه مشاهده گردید (جدول ۲). هیبرید سینگل‌کراس ۵۰۰ با میانگین ۰/۰۲ گرم بیشترین وزن خشک و هیبرید سینگل‌کراس ۶۴۰ با میانگین ۰/۰۱ گرم کمترین میزان وزن خشک ریشه‌چه را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). یکی از دلایل تفاوت در وزن خشک ریشه‌چه، می‌تواند محتوای متفاوت مواد غذایی در بذرهای مختلف باشد، به‌طوری‌که بذرهای بزرگتر مقادیر بیشتری از مواد غذایی را در اختیار ریشه‌چه قرار می‌دهند (۱۴). هیبریدها در سطوح تنش خشکی صفر و ۳- بار با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند، اما با افزایش تنش خشکی از پتانسیل ۳- بار به ۹- بار اختلاف معنی‌داری بین هیبریدها مشاهده گردید، به طوری‌که هیبریدهای ۵۰۰ و ۷۰۴ نسبت به سطوح مختلف تنش خشکی تحمل بیشتری را از خود نشان دادند (جدول ۲). تفاوت در وزن خشک ریشه‌چه، می‌تواند بدلیل تفاوت در محتوی مواد غذایی در بذور باشد، به گونه‌ای که بذور بزرگ‌تر مقدار بیشتری از مواد غذایی را در اختیار ریشه‌چه قرار می‌دهند (۲۱).

جدول ۲- مقایسه میانگین مؤلفه های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در سطوح مختلف تنش خشکی

تیمار	سطوح تیمار	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول گیاهچه
تنش خشکی	ST1	۵۷/۱۲^{a}	۷/۴۴^{a}	۰/۰۲۵^{a}	۰/۰۲۴^{a}	۸/۰۲^{a}	۱۶/۲۳^{a}	۲۳/۲۵^{a}
	ST2	۶۷/۳۳^{b}	۴/۱۶^{b}	۰/۰۲۱^{b}	۰/۰۰۸^{b}	۴/۸۵^{b}	۷/۶۸^{b}	۱۲/۵۳^{b}
	ST3	۵۴/۱۵^{c}	۴/۱۱^{b}	۰/۰۱۲^{c}	۰/۰۰۸^{b}	۰/۷۸^{c}	۳/۱۲^{c}	۳/۸۹^{c}
	ST4	۶۱/۲۱^{d}	۳/۸۷^{b}	۰/۰۰۳^{d}	۰/۰۰۱^{c}	۰/۳۶^{d}	۰/۳۳^{d}	۰/۶۹^{d}
هیبرید	V1	۶۴/۵۱^{a}	۴/۰۹^{a}	۰/۰۱۸^{a}	۰/۰۲^{a}	۴/۱۸^{a}	۷/۵۳^{a}	۱۱/۷۱^{a}
	V2	۴۸/۱۵^{b}	۴/۹۰^{a}	۰/۰۱۳^{b}	۰/۰۱۸^{c}	۷/۴۴^{b}	۶/۱۴^{d}	۸/۸۳^{c}
	V3	۳۹/۲۵^{c}	۵/۷۰^{a}	۰/۰۱۴^{b}	۰/۰۱۰^{b}	۷/۳۷^{b}	۶/۸۴^{b}	۹/۷۳^{b}
تنش‌خشکی×هیبرید	ST1×V1	۸۸/۸^{a}	۴/۳۵^{a}	۰/۰۲۴^{a}	۰/۰۲۹^{a}	۸/۵۸^{a}	۱۷/۷۰^{a}	۲۶/۲۸^{a}
	ST1×V2	۷۵/۳۷^{abc}	۰/۲۷^{bc}	۰/۰۲۵^{a}	۰/۰۲۴^{ab}	۷/۴۴^{b}	۱۵/۵۹^{b}	۲۳/۰۳^{b}
	ST1×V3	۴۵/۶۴^{cd}	۰/۲۰^{de}	۰/۰۲۵^{a}	۰/۰۱۲^{a}	۷/۳۷^{b}	۱۵/۳۹^{b}	۲۲/۷۶^{b}
	ST2×V1	۸۶/۳۸^{ab}	۰/۳۴^{ab}	۰/۰۲۴^{a}	۰/۰۱۱^{bcd}	۶/۶۶^{c}	۸/۲۱^{c}	۱۶/۸۸^{c}
	ST2×V2	۷۳/۴۲^{bc}	۰/۲۱^{cde}	۰/۰۲۴^{a}	۰/۰۱۱^{cd}	۲/۵۹^{e}	۶/۴۱^{d}	۸/۹۹^{e}
	ST2×V3	۴۱/۲۵^{f}	۰/۲۳^{cd}	۰/۰۱۴^{ab}	۰/۰۱۱^{cd}	۳/۳۷^{d}	۸/۳۳^{c}	۱۱/۷۰^{d}
	ST3×V1	۵۴/۳۵^{de}	۰/۲۴^{cd}	۰/۰۱۶^{ab}	۰/۰۱۱^{cd}	۰/۸۵^{f}	۳/۴۳^{e}	۴/۳۴^{f}
	ST3×V2	۴۰/۱۸^{f}	۰/۲۵^{cd}	۰/۰۰۴^{b}	۰/۰۰۳^{d}	۰/۷۴^{f}	۲/۴۹^{f}	۳/۲۴^{g}
	ST3×V3	۴۰/۱۰^{ef}	۰/۲۳^{cd}	۰/۰۱۵^{ab}	۰/۰۱۴^{abcd}	۰/۷۶^{f}	۳/۳۵^{e}	۴/۱۱^{f}
	ST4×V1	۳۰/۳۴^{f}	۰/۱۶^{ef}	۰/۰۰۷^{b}	۰/۰۰۱^{d}	۱/۰۲^{f}	۰/۶۵^{g}	۱/۶۶^{h}
	ST4×V2	۱۴/۱۹^{g}	۰/۱۶^{ef}	۰/۰۰۱^{b}	۰/۰۰۰^{d}	۰/۰۲^{g}	۰/۰۴^{h}	۰/۰۶^{i}
	ST4×V3	۱۲/۲۴^{g}	۰/۱۱^{f}	۰/۰۰۱^{b}	۰/۰۰۰^{d}	۰/۰۵^{g}	۰/۳۱^{gh}	۰/۳۶^{i}

میانگین‌های دارای حروف غیر مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم دارند.
ST4,ST3,ST2,ST1 به ترتیب سطوح تنش خشکی صفر، ۳- بار، ۶- بار و ۹- بار می‌باشند.
V3,V2,V1 به ترتیب هیبریدهای SC۵۰۰، ۶۴۰ و ۷۰۴ ذرت می‌باشند.

وزن خشک ساقه‌چه

تنش خشکی، هیبرید و برهمکنش این دو اثر معنی‌داری بر میزان وزن خشک ساقه‌چه داشت (جدول ۱). با افزایش تنش خشکی از صفر تا ۹- بار وزن خشک ساقه‌چه کاهش یافت. بین سطوح خشکی پتانسیل ۳- و ۶- از نظر

وزن خشک ساقه‌چه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ولی بین سطوح تنش خشکی صفر (عدم تنش) و سایر سطوح اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. بیشترین وزن خشک ساقه‌چه با میانگین ۰/۰۲ گرم در شرایط عدم تنش و کمترین میزان وزن خشک ساقه‌چه با میانگین ۰/۰۰۱ گرم در تنش خشکی ۹- بار مشاهده گردید (جدول۲). هیبریدها نیز از نظر وزن خشک ساقه‌چه با همدیگر اختلاف معنی‌داری را نشان دادند و از نظر وزن خشک ساقه‌چه هیبرید ذرت هیبرید SC۵۰۰ بر سایر هیبریدها برتری داشت، اما هیبریدهای ۶۴۰ و ۷۰۴ نسبت به این صفت اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۲). بالاترین وزن خشک ساقه‌چه با میانگین ۰/۰۳ گرم در هیبرید SC۵۰۰ و شرایط عدم تنش بدست آمد و کمترین میزان وزن خشک ساقه‌چه با میانگین ۰/۰۰۱ گرم در هیبرید ۷۰۴ و تنش ۹- بار حاصل شد (جدول ۲) یکی از دلایل عمده که می‌تواند کاهش وزن خشک ساقه‌چه را در پتانسیل‌های بالا توجیه کند تحرک مواد غذایی و انتقال آن‌ها از لپه‌ها به محور رویانی می‌باشد. قابل ذکر است عواملی که سرعت رشد محور جنینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، می‌توانند بر تحرک مواد غذایی و انتقال آنها از لپه‌ها به محور جنینی تأثیر بگذارند (۱۸). برخی محققان معتقدند که در شرایط تنش، تجمع ماده خشک در بافت‌های ریشه‌چه و ساقه‌چه ارقام متحمل بیشتر از ارقام حساس است (۱۸، ۲۰ و ۲۲).

نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش پتانسیل آب در تمام سطوح تنش خشکی صفات رشدی شامل سرعت و درصد جوانه‌زنی، طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و در نهایت طول گیاهچه کاهش یافت. به طور کلی هیبرید ۵۰۰ با داشتن بالاترین درصد جوانه‌زنی، طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه و طول گیاهچه نسبت به سایر هیبریدهای مورد بررسی تحمل بیشتری از خود نشان داد.

منابع

۱- **آل‌ابراهیم، م.، جان‌محمدی، ت. م.، شریف‌زاده، ف. و تکاسی، س. ۱۳۸۷.** بررسی اثرات تنش شوری و خشکی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه لاین‌های اینبرید ذرت. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۱ (۲): ۴۵-۳۶.

۲- **کیانی، م.، باقری، ع. و نظامی، ا. ۱۳۷۷.** عکس‌العمل ژنوتیپ‌های عدس به تنش خشکی حاصل از پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ در مرحله جوانه‌زنی. مجله علوم و صنایع کشاورزی. ۱۲(۱): ۵۵-۴۲.

3- **Allen, S. G., A. K. Dobrenz, A. K., Schon Horst M.H. and Stoner, J. E. 1985.** Heretability of NaCl tolerance in germination of alfalfa seed. Agronomy Journal.77:99-101.

4- **Andjelkovic, V., Ignjatovic-Micic, D., Mladenovic, S. and Vancetovic J. 2012.** Implementation of maize gentic resources in drought tolerance and grain quality improvement at maize research institute. “Zemun Polje”.Thiyrd International Scientific Smposium. 10.7251/AGSY1203429A. UDK 631. 147:633.15.

5- **Ashraf, C. M. and Shakra, S. A. 1978.** Wheat seed germination under low temperature and moisture stress. Agronomy Journal. 65:135-139

6- **Batool, N., Ilyasi N., Noor T, Saeed, M., Mazhar, R., Bibi, F. and Shahzad, A. 2014.** Evaluation of drought stress effects on germination and seedling growth of *Zea mays* L. International Journal of Biosciences (IJB). 5(4): 203-209.

7- **Burris, J. S., Wahab A. H. and Edje, O. T. 1971.** Effect of seed size on seedling performance in soybean. I: Seedling growth and respiration in the dark. Crop Science. 11:492-496.

8- **FAO. 2004.** FAO. Bulletin of statistics. www.FAOSTAT.org.

9- **FAO. 2010.** Statistical data, www. FAOSTAT. Org.

10- **Farsiani, A., Ghobadi, M. E. 2009.** Effects of PEG and NaCl stress on two cultivars of corn (*Zea mays* L.) at germination and early seedling stages. World Academic Science, Engineering and Technology. 57:382-385.

11- F**arooq, M., Wahid, A., Fujita, N. K. D. and Basra, S. M. A. 2009**. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29, 185-212.

12- **Gupta, A. K., Singh, J., Kaur, N. and Singh, R. 1993.** Effect of polyethylenglycol-induced water stress on uptake interconversion and transport of sugars in chickpea seedlings. Plant Physiology and Biochemistry. 31:743-747.

13- **Hadas, A. and Russo, D. 1974.** Water uptake by seeds as effected by water stress, cappillary conductivity,and seed soil water contact. I. Experimental Study. Agronomy Journal. 66:643-647.

14- **Hardgree, S. P. and Emmerich W. E. 1994.** Seed germination response to polyethylene glycole solution depth. Seed Science and Technology. 22:1-7.

15- **Khayatnezhad, M., Gholamin, R., Jamaati-e-Somarin, SH., Zabihi Mahmoodabad, R. 2010.** Effects of peg stress on corn cultivars (*Zea mays* L.) at germination stage. World Applied Science Journal. 11(5):504-506.

16- **Kramer, P. J. 1983.** Water relation of plants. Academic Press. Inc. 489pp.

17- **Leport, N. C., Turner, J., French, M. D. Barr, R., Duda, S. L, Dauies, D., Tennant, K. H. and Siddique, M. 1999.** Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean-type environment. European Journal of Agronomy. 11:279-291.

18- **Liu, M., Li, M., Liu, K. and Sui, N. 2015.** Effects of drought stress on seed germination and seedling growth of different maize varieties. Journal of Agricultural Science. 7(5): 231-240.

19- **Marchner, H. 1995**. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press.

20- **Meeks, M, Seth, C. M, Steve, H, Dirk, H.** 2013. Measuring maize seedling drought response in search of tolerant germplasm. Agronomy. 3: 135-147.

21- **Michel B. F., and Kaufmann M. R. 1973.** The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology. 57: 914-916.

22- **Mohammadkhani, N. and Heidari, R. 2008.** Water stress induced by polyethylene glycol 6000 and sodium chloride in two corn cultivars. Pakistan Journal of Biology Science. 11(1):92-97.

23- Mostafavi, K. H., Sadeghi Geive, H., Dadresan, M. and Zarabi, M. 2011. Effects of drought stress on germination indices of corn hybrids (*Zea mays* L.). International Journal of AgriScience. 1 (2):10-18.

24- Scott, S. J., Jones, R. A., Williams, W. A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Science. 24**:** 1192-1199.

Evaluation the effects of drought Stress Induced by Polyethylene glycol on germination and seedling growth of maize hybrids

M. Moradi[1]*, A. Hasnaki Fard[2] and M. Motamedi[1]

1- Assistant Prof., Dep. of Plant Breeding, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran
2- Master of Arts, Industrial School of Shahid Bahonar Agriculture. Shoushtar, Iran
Corresponding Author; Email: Moradim_17@yahoo.com.

(Received: 22 December 2017; Accepted: 6 March 2018)

Abstract

Water deficit is a common and major constrain for agricultural production in arid and semi-arid parts of the world like Iran, to the extent that it might threaten the nation's food security in years to come. Seed germination is a crucial growth stage that is often affected by environmental stresses, including drought. This study investigated the effects of four levels of water osmotic potential (i.e. 0, -3, -6 and -9 bar) on germination and seedling characteristics, of three maize hybrids (SC500, SC640 and SC704). According to the results, different levels of drought stress, type of cultivar and intraction beatween them had significant effect on measured characteristics. Results also showed that significant decrease was observed in the percentage and rate of germination, radicule and plumule of long and weight and seedling total dry matter. SC500 as a drought-tolerant hybrid, indicated the greatest germination percentage radicle and plumule length, radicle and plumule dry weight than the other cultivars. So, this hybrid was more tolerance to water stress.

Keywords: Germination, Seedling growth, PEG, Maize