بررسی نقش بهبود دهنده کلرید کلسیم بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه ذرت تحت تنش شوری ناشی از NaCl

یوسف قاضی خانلو ثانی[1*]، حمید باقری[2]، خلیل جمشیدی[3]

[1] کارشناس‌ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه زنجان

[2] کارشناس‌ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه زنجان

[3] دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۰۲

چکیده

به منظور بررسی امکان بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه ذرت رقم ماکسیما توسط کلسیم تحت تنش شوری ناشی از NaCl، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشگاه زنجان انجام شد. از محلول‌های کلرید سدیم (صفر، ۳، ٦ و ۹ دسی زیمنس بر متر به‌ترتیب با افزودن صفر، ۱/۹۲، ۳/۸٤ و ۵/۷٦ گرم نمک کلرید سدیم در هر لیتر آب) به عنوان سطوح شوری و از کلرید کلسیم به عنوان منبع کلسیم استفاده گردید که در آن سطوح صفر، ٤، ۸ و ۱۲ میلی‌مولار مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهچه‌ها با افزایش غلظت کلریدسدیم کاهش یافت و درصد جوانه‌زنی نهایی از ٦۵ درصد در شاهد به ٤۳/۳۳ درصد در تنش شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر رسید. کلرید کلسیم در سطح ٤ میلی‌مولار توانست اثر منفی شوری را تا غلظت ۹ دسی‌زیمنس بر متر کاهش دهد و از کاهش جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه جلوگیری کند. به طوریکه سطح ٤ میلی‌مولار کلرید کلسیم، درصد جوانه‌زنی را در سطوح ۳، ٦ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر مربع به‌ترتیب از ۵۵ به ۵۸/۳۳ درصد، از ۵۰ به ٦۰ درصد و از ٤۳/۳۳ به ۵۸/۳۳ درصد نسبت به شاهد همان سطوح افزایش داد. غلظت ۸ میلی‌مولار کلریدکلسیم توانست اثرات بهبودی را در غلظت‌های ۳ و ٦ دسی زیمنس به‌ترتیب به میزان ۱۸/۱۸ و ٤٦/٦٦ درصد از خود نشان دهد و غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلریدکلسیم نتوانست اثر تعدیلی بر صفات مورد مطالعه داشته باشد. همچنین، تحت شرایط بدون تنش، کلرید کلسیم در غلظت‌های ٤ و ۸ میلی‌مولار توانست شاخص بنیه، وزن خشک و وزن تر گیاهچه‌ها را افزایش دهد. بنابراین نتایج حاکی از امکان افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی بذور ذرت در شرایط بدون تنش، علاوه بر اثر تعدیل‌کنندگی آن بر تنش شوری بود.

واژگان کلیدی: استقرار گیاهچه، بهبود دهندگی کلسیم، تحمل به شوری، جوانه‌زنی، کلرید سدیم، کلسیم

*نویسنده مسئول: ghazi_y1363@yahoo.com

مقدمه

اراضی شور دنیا و ایران در اثر فعالیت‌های بی‌رویه کشاورزی پیوسته در حال گسترش هستند (Haghnia, 2004). در این بین، علاوه بر شوری خاک‌های زراعی، شوری آب آبیاری در نواحی خشک و نیمه خشک نیز سالانه تشدید می‌گردد (Rengel, 1992). گسترش و توسعه روزافزون وسعت زمین‌های شور و همچنین محدودیت‌های موجود برای منابع آب شیرین توجه محققان زیادی را به مبحث شوری معطوف کرده است (Niu et al., 1995). ایران با متوسط نزولات آسمانی ۲٤۰ میلی‌متر در زمره مناطق خشک جهان طبقه بندی می‌گردد. بالا بودن مقدار تبخیر و تعرق، محدودیت منابع آبی و سایر عوامل باعث توجه بیشتری به مطالعه در مورد اثرات تنش محیطی شده است (Banisadr and Tahir, 1991). شوری برای رشد گیاه یک عامل محدود کننده است، بدان سبب که باعث ایجاد محدودیت‌های تغذیه‌ای از طریق کاهش جذب فسفر، پتاسیم، نیترات و کلسیم، افزایش غلظت یونی درون سلولی و تنش اسمزی می‌گردد (Hekmatshoar, 1994).

ذرت (*Zea mays* L.) ازجمله گیاهانی است که مورد توجه خاص بوده است. خصوصاً پس از پیدایش ارقام هیبرید و سینگل کراس با عملکرد بالا و کیفیت مطلوب، بسیاری از مؤسسه‌های تحقیقاتی در سراسر دنیا روی این محصول با ارزش سرمایه‌گذاری و فعالیت‌های مؤثری انجام داده‌اند که به موفقیت‌های چشمگیری نیز دست یافته‌اند (Kazemi-Arbat, 2005). اما وقوع تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه ذرت می‌تواند مانع از جوانه‌زنی و سبز شدن یکنواخت این گیاه گردد (Alebrahim et al., 2008). تعداد بذرهای جوانه‌زده در تعیین تراکم بوته در واحد سطح اهمیت زیادی دارد و تراکم مطلوب زمانی حاصل می‌شود که بذرهای کاشته شده به طور کامل و با سرعت کافی سبز نمایند (Bagheri et al., 1988). یکنواختی در سبز شدن به درصد و سرعت جوانه‌زنی بستگی دارد که این دو تحت تاثیر عواملی مانند شوری، پتانسیل آب، عناصر غذایی، دمای محیط و اثرات متقابل این عوامل قرار می‌گیرند. عواملی مانند نمک‌های محلول، عدم توازن آن‌ها و مسمومیت‌های ناشی از این نمک‌ها سبب اختلال در جوانه‌زنی بذور، کاهش سبز کردن در مزرعه و در نهایت کاهش تولید می‌شوند (Frncois et al., 1984).

جوانه‌زنی در شرایط تنش به عنوان یک فرآیند مهم در زندگی گیاه مطرح است زیرا گزارش‌های متعدد حاکی از آن است که چنانچه مرحله جوانه‌زنی یک ژنوتیپ در شرایط تنش با موفقیت انجام شود، در مراحل بعدی رشد، گیاهچه‌هایی با بنیه بهتر و سیستم ریشه‌ای قوی‌تر تولید خواهند نمود (Bagheri et al., 1988). عدم جوانه‌زنی گیاهان در خاک‌های شور، اغلب در اثر تجمع زیاد نمک در ناحیه کاشت بذر، به دلیل حرکت رو به بالای محلول خاک و متعاقب آن، وقوع تجمع نمک در سطح خاک می‌باشد (Valadiani et al., 2006). آوالبایف و همکاران (Avalbaev et al., 2009) رشد گیاهچه‌های گندم را تحت شرایط شوری در گلخانه بررسی کردند و اظهار داشتند که با افزایش سطوح شوری رشد گیاهچه‌ها با کاهش معنی‌داری روبرو می‌شود. همچنین تنش شوری باعث کاهش سرعت تقسیم سلول‌های مریستم ریشه و کوتولگی گیاهچه‌ها شد. تحقیقات نسبتاً زیادی که بر روی جوانه‌زنی گیاهان زراعی مختلف انجام شده بیانگر این واقعیت است که با افزایش شوری طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و همچنین وزن خشک گیاهچه به طور معنی‌داری در مقایسه با شرایط بدون تنش کاهش می‌یابد (Kaya et al., 2006 و Okcu et al., 2005).

با توجه به اینکه جوانه‌زنی یک فرآیند کلیدی در سبز شدن گیاهچه می‌باشد (De Villiers et al., 1994). در این راستا راهکاری مورد نیاز است تا بتوان جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌های ذرت را تحت تنش تقویت نموده در نتیجه موجباب عدم کاهش عملکرد را فراهم آورد (Subedi and Ma, 2005). کاهش جوانه‌زنی در محیط‌های شور به‌دلیل

بلوکه شدن مسیر اکسیداتیو، فعال نمودن برخی هورمون‌ها و سیستم‌های آنزیمی غیر فعال و تغییر تراوایی غشاء (Bagheri et al., 1988) و همچنین به خاطر پتانسیل اسمزی پایین و ممانعت از جذب آب، سمیت یون‌های Na^+ و یا عدم تعادل عناصر غذایی باشد (Lynch and Lauchli, 1988). در این خصوص نقش کلسیم باتوجه به جایگاه آن در ساختار سلول و اهمیت آن به عنوان یک پیام‌رسان ثانویه مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. بررسی‌های متعدد انجام شده بر روی واکنش گیاه به یون کلسیم نشان می‌دهد این یون در رشد طولی سلول، پایداری ساختار سلول و در نفوذپذیری غشای سلولی نقش ایفا می‌کند (Stow, 1993 و Yuen, 1997). از طرف دیگر کلسیم در تعادل بین یون‌های آنیون و کاتیون یک نقش هماهنگ کننده و کنترلی دارد و قادر است بر فعالیت یک سری از آنزیم‌ها نیز تأثیر بگذارد (Akinci and Simsek, 2004). افزایش جذب این یون می‌تواند به افزایش رشد طولی ریشه کمک کند (Kent and Luahli, 1985 و Yeo et al., 1991) و از طرفی منجر به افزایش سطح مقاومت گیاه به تنش شوری گردد (Reid and Smith, 2000). مطالعات بسیار زیادی در مورد اثرات متقابل Na^+ و Ca^{2+} ارائه شده است. بررسی‌ها نشان داده است که مقادیر بالای کلرید سدیم، کمبود کلسیم را در گیاهان القا می‌نماید (Rengel, 1992 و Kaya et al., 2002)، بنابراین گیاهان تحت تنش شوری، دارای نسبت Ca^{2+}/Na^+ پایین‌تری هستند (Pe'rez-Alfocea et al., 1996). یون‌های سدیم برای مکان‌های اتصال کلسیم در غشاء رقابت می‌کند، که در نتیجه این رقابت، کلسیم موجود در دیواره سلولی خارج شده و استحکام دیواره سلولی کاهش می‌یابد (Yuen, 1997). بنابراین میزان Ca^{2+} بیشتر از حد موجود می‌تواند غشاء سلول را از اثرات نامطلوب شوری حفظ نماید (Bush, 1995). برای حفاظت غشا پلاسمایی در مقابل آسیب‌های ناشی از تنش‌های مختلف، حضور Ca^{2+} در محیط بیرونی، جایی که می‌تواند جذب یون‌ها تنظیم شود، ضروری است (Niu et al., 1995). مطالعات کاکور و همکاران (Cachoro et al., 1994) نشان داد که کلسیم در پروتوپلاست ریشه ذرت و ریشه‌های مویین تحت تنش شوری با سدیم موجود در غشای پلاسمایی جایگزین شد. به‌طورکلی گزارشات متعددی مبنی بر اثرات سودمند کلسیم در تخفیف اثرات سوء شوری ارائه شده است که در اکثر آن‌ها این اثرات به حفظ عمل غشاء پلاسمایی و نگهداری، سلامت و انسجام در ریشه و ساقه مرتبط دانسته شده است (Lauchli, 1990).

از آنجا که گیاه ذرت حساس به تنش شوری می‌باشد، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کلرید کلسیم در بهبود آسیب‌های ناشی از تنش شوری حاصل از کلرید سدیم بر صفات مربوط به جوانه‌زنی بذر ذرت و همچنین چگونگی نقش کلسیم در مراحل ابتدایی رشد ذرت انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به‌منظور بررسی امکان بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه ذرت رقم ماکسیما توسط کلسیم تحت تنش شوری ناشی از NaCl، در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشگاه زنجان انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار بود که در آن از محلول‌های کلرید سدیم (صفر، ۳، ٦ و ۹ دسی زیمنس بر متر) به‌عنوان سطوح شوری و از کلرید کلسیم به عنوان منبع کلسیم استفاده گردید که در آن سطوح صفر، ٤، ۸ و ۱۲ میلی‌مولار مورد مطالعه قرار گرفت. برای تیمار شاهد نیز از آب مقطر استفاده شد. جهت اطمینان از EC به دست آمده، با استفاده از EC متر هدایت الکتریکی تمامی محلول‌ها اندازه‌گیری گردید.

جهت انجام آزمایش، سی عدد بذر برای هر تیمار انتخاب شد. جهت ضدعفونی بذرها، ابتدا به مدت ۱ دقیقه در هیپوکلریت سدیم (وایتکس ۱۰ درصد) قرار داده شدند و بلافاصله بعد از آن با آب مقطر شسته شدند. سپس از

قارچکش بنومیل ۲ در هزار به مدت ۱ دقیقه استفاده شد و پس از شستشوی بذور با آب مقطر، در داخل پتری دیش شیشه‌ای سترون با قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متری روی کاغذ صافی سترون قرار داده شدند. پس از قرار دادن درب پتری دیش‌ها از پارافیلم به منظور جلوگیری از تبخیر آب استفاده شد. به هر پتری دیش ۷ میلی‌لیتر از محلول‌های مورد مطالعه (با غلظت مشخص کلرید سدیم و کلرید کلسیم) اضافه شد و کاغذ صافی دیگری با همان ابعاد روی بذرها قرار گرفت.تمامی پتری دیش‌های در ژرمیناتور با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد در روز و ۱۵ درجه در شب با فتوپریود ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی و رطوبت ۵۰٪ قرار گرفتند. شمارش بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه در یک ساعت معین انجام گرفت. هنگام شمارش، بذرهایی جوانه‌زده تلقی می‌شدند که طول ریشه‌چه آنها حداقل ۲ میلی‌متر بود. شمارش تا زمانی ادامه یافت که برای مدت سه روز متوالی تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر نمونه ثابت بماند. طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با خط‌کش میلی‌متری دیجیتال اندازه‌گیری و وزن تر و خشک گیاه‌چه (٤٨ ساعت در آون ۷۲ درجه سلسیوس) با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. درصد جوانه‌زنی از نسبت تعداد بذور جوانه‌زده پس از ١٤ روز به تعداد کل بذور به دست آمد. جهت محاسبه سرعت و میانگین زمان جوانه‌زنی به‌ترتیب از روابط زیر استفاده گردید (Salehzade et al., 2009):

$$Rs = \sum_{i=1}^{n} \frac{Si}{Di}$$

که در آن، RS سرعت جوانه‌زنی، Si تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر شمارش، Di تعداد روز تا شمارش nام و n دفعات شمارش می‌باشند.

$$MGT = \frac{\sum Dn}{\sum n}$$

MTG= میانگین زمان جوانه‌زنی، n= تعداد بذوری که در روز D جوانه زده‌اند و D= تعداد روزهای پس از شروع جوانه زنی می‌باشند.

ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG) که مشخصه سرعت و شتاب جوانه‌زنی بذرها است از رابطه زیر محاسبه شد:

$$CVG = \frac{G1 + G2 + \cdots + Gn}{(1 \times G1) + (2 \times G2) + \cdots + (n \times Gn)}$$

که در آن G1 تا Gn تعداد بذرهای جوانه‌زده از روز اول تا آخر آزمون است (Scotte et al., 1984).

متوسط جوانه‌زنی روزانه (MDG) که شاخصی از سرعت جوانه‌زنی روزانه است به صورت زیر تعیین شد:

$$MDG = \frac{FGP}{D}$$

FGP، درصد جوانه‌زنی نهایی[1] (Hamidi et al., 2009) و D، تعداد روز تا رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی نهایی (طول دوره اجرای آزمون) است (Hunter et al., 1984).

همچنین شاخص بنیه گیاهچه (SVI[2]) و بنیه بذر (VI[3]) به‌ترتیب با استفاده از روابط زیر تعیین شد (Hamidi et al., 2009; Abdul-Baki and Anderon, 1973):

1- Final Germination Percentage
2- Seedling Vigor Index
3- Vigor Index

قابلیت جوانه‌زنی× وزن خشک گیاهچه= شاخص بنیه گیاهچه

۱۰۰/(درصد جوانه‌زنی× میانگین طول ساقه‌چه)= بنیه بذر

برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد از نرم‌افزار MSTAT-C (ver 2.10, The Crop and Soil Sciences Department of Michigan State University, USA) و برای محاسبه همبستگی صفات از نرم‌افزار SPSS (ver. 17, SPSS Inc., USA) استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی: اثر متقابل کلرید کلسیم×شوری بر درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که درصد جوانه‌زنی بذور با افزایش غلظت کلرید سدیم بدون در نظر گرفتن سطوح کلرید کلسیم، کاهش یافت (جدول ۲). کاهش درصد جوانه‌زنی تحت شرایط تنش توسط قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2011) و آل‌ابراهیم و همکاران (Alebrahim et al., 2008) گزارش شده است. مطالعات نشان داده است که تنش شوری موجب افزایش غلظت هورمون ABA در بذر می‌شود و افزایش غلظت این هورمون، مانع از جوانه‌زنی بذر می‌شود. در بررسی‌های اریک و همکاران (Nilsen et al., 1996) مشاهده شد که بذرهایی تیمار شده با کلرید سدیم با کاهش اتیلن روبرو شده‌اند. این محققین بیان داشتند اتیلن برای جوانه‌زنی بذور ضروری است. افزایش کلرید کلسیم به میزان ٤ و ٨ میلی‌مولار بدون در نظر گرفتن سطوح شوری، درصد جوانه‌زنی را به ترتیب ۱۷/۹۲ و ۱۰/۲۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. که این افزایش در سطح ٤ میلی‌مولار کلرید سدیم نسبت به شاهد از لحاظ آماری نیز معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به جدول ۲، سطح ٤ میلی‌مولار کلرید کلسیم، درصد جوانه‌زنی را در سطوح ۳، ٦ و ۹ دسی زیمنس بر متر مربع به ترتیب از ۵۵ به ۵۸/۳۳ درصد، از ۵۰ به ٦۰ درصد و از ٤۳/۳۳ به ۵۸/۳۳ درصد نسبت به شاهد همان سطوح افزایش داده است. هر چند که درصد جوانه‌زنی به حد شاهد نرسیده است، ولی از لحاظ آماری اختلافی با تیمار شاهد نشان نداده‌اند. به عبارت دیگر، در شرایط وجود کلرید کلسیم، درصد جوانه‌زنی کاهش قابل ملاحظه‌ای نداشت. سطح ۸ میلی‌مولار کلرید کلسیم نیز در سطوح شوری ذکر شده موجب شد درصد جوانه‌زنی به‌ترتیب از ۵۵ به ٦۵ درصد، از ۵۰ به ۷۳/۳۳ و از ٤۳/۳۳ به ٤۳/۳۳ درصد تغییر یابد. با توجه به نتایج ملاحظه می‌شود سطح ۸ میلی‌مولار کلرید کلسیم توانسته در سطوح تنش شوری ۳ و ٦ دسی زیمنس بر متر را نقش بهبودی داشته باشد ولی نتوانسته موجب تعدیل اثر منفی شوری در سطح ۹ دسی زیمنس بر متر شود. یون کلسیم بعنوان یک عنصر ضروری در بسیاری از فرآیندهای گیاهی مطرح است. توانایی یون کلسیم در تشکیل اتصالات بین سلولی باعث شده است که این یون نقش مهم و کلیدی در حفظ تمامیت و ساختار غشاها و دیواره‌های سلولی داشته باشد. کلسیم به‌عنوان یک پیامبر ثانویه در مسیر انتقال سیگنال‌ها در سلول عمل می‌کند. وقایعی که توسط یون کلسیم فعال می‌شوند، برای حیات طبیعی سلول و برای پاسخ‌های سازگاری، حیاتی هستند (Sheen, 1996). موارد ذکر شده ممکن است دلایل احتمالی تاثیر مثبت کلسیم در بهبود فرایند جوانه‌زنی بذور ذرت در این آزمایش باشد. نتایج آزمایش نشان داد که سطح ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم نتوانست اثرات منفی تنش شوری را بهبود بخشد و حتی در سطوح ٦ و ۹ دسی‌زیمنس نیز موجب کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد همان سطوح نیز شد (جدول ۲). کرامر (Cramer, 2002) نشان داد که واکنش گیاهان به سطوح کلسیم به سطح شوری و همچنین ژنوتیپ گیاه بستگی کامل دارد.

جدول ۱- تجزیه واریانس شاخص‌های جوانه زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه ذرت تحت تأثیر کلرید کلسیم و تنش شوری

شاخص بنیه گیاهچه	سرعت جوانه‌زنی	ضریب سرعت جوانه‌زنی	متوسط جوانه‌زنی روزانه	متوسط زمان جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی	درجه آزادی	منابع تغییرات
۷۵۱.۷۳۶**	۴۵.۱۹۶**	۰.۰۰۴۵**	۰.۱۳۸**	۰.۷۲۱**	۴۹۶.۳۵۴**	۳	کلرید کلسیم
۴۹۲.۵۰۹**	۹۰.۴۵۰**	۰.۰۰۲۱**	۰.۲۷۸**	۲.۰۴۰**	۱۰۰۱.۹۱۰**	۳	تنش شوری
۲۷۱.۳۸۰**	۱۱.۴۱۷*	۰.۰۰۰۰۲۳^{ns}	۰.۰۲۸*	۰.۱۳۳^{ns}	۱۰۰.۰۵۸*	۹	C×S
۳۷.۷۷۸	۴.۰۸۰	۰.۰۰۰۰۲۱	۰.۰۱۰	۰.۱۱۵	۳۵.۹۳۸	۳۲	Error
۵.۴۳%	۲.۹۹%	۳.۷۳%	۷.۲۸%	۳.۷۲%	۱۰.۳۷%		CV

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ درصد و غیرمعنی‌دار .

ادامه جدول ۱-

وزن خشک گیاهچه	وزن تر گیاهچه	نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	بنیه بذر	درجه آزادی	منابع تغییرات
۳.۷۱۸**	۱۷.۰۲۴**	۱.۱۷۳^{ns}	۳۴.۶۱۷**	۴۳.۸۲۲**	۱۵.۹۸۲**	۳	کلرید کلسیم
۲.۴۰۰**	۲۱.۵۲۹**	۰.۵۵۹^{ns}	۳۶.۴۳۶**	۴۳.۰۷۳**	۱۶.۰۲۷**	۳	تنش شوری
۱.۴۶۹**	۲.۵۶۲*	۰.۶۰۳^{ns}	۶.۲۲۱*	۶.۹۷۲**	۲.۹۳۷*	۹	C×S
۰.۲۲۴	۱.۰۹۹	۰.۹۱۶	۲.۷۸۲	۱.۹۲۶	۱.۲۶۰	۳۲	Error
۱۲.۰۳%	۸.۵۹%	۷.۵۰%	۴.۵۴%	۶.۷۷%	۴.۱۲%		CV

*، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ درصد و غیرمعنی‌دار .

جدول ۲- مقایسه میانگین شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه ذرت تحت تأثیر کلرید کلسیم و تنش شوری

منابع تغییرات	درصد جوانه‌زنی	متوسط جوانه‌زنی روزانه	سرعت جوانه‌زنی	شاخص بنیه گیاهچه	بنیه بذر	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر)	وزن تر گیاهچه (گرم)	وزن خشک گیاهچه (گرم)
a_1b_1	۶۵.۰۲$^{a-d}$	۱.۰۸۳^{bc}	۱۰.۹۷$^{a-d}$	۲۴.۳۲۳^{b}	۴.۳۳۸^{abc}	۶.۲۴۵^{bc}	۶.۶۷۵^{ab}	۵.۳۰۳^{ab}	۱.۸۷۱^{b}
a_1b_2	۵۵.۰۱^{def}	۰.۹۱۶۷^{cde}	۷.۹۳۸^{def}	۱۱.۰۹۰$^{c-f}$	۱.۲۶۳^{ef}	۱.۷۷۵^{fg}	۲.۲۹۶^{def}	۲.۵۷۹$^{d-g}$	۱.۲۲۳^{bcd}
a_1b_3	۵۰.۰۰^{efg}	۰.۸۱۳۳^{def}	۶.۳۵۷^{efg}	۵.۷۵۰^{ef}	۰.۲۹۶^{f}	۰.۵۹۲^{g}	۰.۵۹۲^{f}	۱.۱۶۲^{fg}	۰.۵۷۵^{de}
a_1b_4	۴۳.۳۳^{fg}	۰.۷۲۲۲^{f}	۴.۶۵۳^{fg}	۲.۶۴۶^{f}	۰.۱۸۱^{f}	۰.۵۰۰^{g}	۰.۴۱۷^{f}	۰.۶۹۷^{g}	۰.۳۰۸^{e}
a_2b_1	۷۶.۶۷^{a}	۱.۲۷۸^{a}	۱۴.۲۸۰^{a}	۴۴.۴۸۳^{a}	۵.۷۷۸^{a}	۸.۹۷۳^{a}	۷.۵۳۷^{a}	۶.۴۶۶^{a}	۲.۹۰۱^{a}
a_2b_2	۵۸.۳۳^{de}	۰.۹۷۲۲^{cde}	۹.۰۴۳^{de}	۱۷.۳۸۰^{bcd}	۳.۸۹۰$^{a-d}$	۵.۹۳۳^{c}	۶.۶۷۵^{abc}	۵.۳۳۵^{ab}	۱.۴۹۰^{bc}
a_2b_3	۶۰.۰۰^{bcd}	۱.۰۰۰^{cd}	۱۰.۳۱^{bcd}	۱۹.۸۴۰^{bc}	۳.۲۰۵$^{b-e}$	۵.۷۷۵^{cd}	۵.۳۴۲$^{a-d}$	۴.۸۲۵^{abc}	۱.۶۰۸^{b}
a_2b_4	۵۸.۳۳$^{d-g}$	۰.۹۷۱۹^{cde}	۷.۸۱۷$^{d-g}$	۱۷.۹۱۰^{bcd}	۱.۷۸۸^{def}	۴.۴۴۰^{cde}	۳.۷۶۱$^{b-e}$	۳.۳۹۲$^{b-e}$	۱.۵۱۸^{bc}
a_3b_1	۷۱.۶۷^{abc}	۱.۱۹۴^{ab}	۱۲.۸۷۰^{abc}	۴۴.۴۳۰^{a}	۵.۳۹۵^{ab}	۸.۴۵۰^{ab}	۷.۵۲۷^{a}	۵.۲۷۱^{ab}	۲.۸۹۱^{a}
a_3b_2	۶۵.۰۰$^{a-d}$	۱.۰۸۳^{bc}	۱۱.۵۳۰$^{a-d}$	۲۴.۲۹۷^{b}	۲.۴۴۳^{cde}	۶.۲۴۳^{bc}	۳.۷۵۸$^{b-e}$	۴.۵۹۲^{abc}	۱.۸۶۹^{b}
a_3b_3	۷۳.۳۳^{ab}	۱.۲۲۲^{ab}	۱۳.۲۹۰^{ab}	۲۴.۰۲۰^{b}	۳.۶۷۱$^{a-d}$	۲.۵۷۳^{efg}	۵.۰۰۶$^{a-d}$	۴.۲۱۰^{bcd}	۱.۵۰۲^{bc}
a_3b_4	۴۳.۳۳^{fg}	۰.۷۲۱۹^{f}	۴.۴۲۷^{fg}	۵.۵۲۷^{ef}	۱.۲۵۰^{ef}	۳.۲۸۶^{def}	۲.۸۸۴$^{c-f}$	۱.۵۵۴^{efg}	۰.۶۵۱^{cde}
a_4b_1	۵۰.۰۰^{cde}	۰.۸۰۵۶^{ef}	۹.۳۶۳^{cde}	۱۲.۲۳۰$^{b-f}$	۱.۴۶۷^{def}	۴.۴۴۲^{cde}	۲.۹۳۳$^{c-f}$	۳.۳۹۰$^{b-e}$	۱.۲۲۳^{bcd}
a_4b_2	۴۸.۳۳^{efg}	۰.۷۲۱۴^{f}	۵.۶۵۰^{efg}	۷.۹۴۹^{def}	۱.۱۱۱^{ef}	۴.۰۳۹$^{c-f}$	۲.۲۹۸^{def}	۳.۰۸۶$^{c-f}$	۰.۵۷۷^{de}
a_4b_3	۳۱.۲۴^{g}	۰.۵۲۵۷^{g}	۴.۱۱۵^{g}	۴.۷۴۲^{ef}	۰.۱۷۲^{f}	۰.۴۵۱^{g}	۰.۴۱۷^{f}	۰.۷۰۰^{g}	۰.۵۷۵^{de}
a_4b_4	۳۰.۲۵^{g}	۰.۵۱۰۵^{g}	۴.۰۷۸^{g}	۲.۴۵۶^{f}	۰.۳۱۶^{f}	۰.۳۴۴^{g}	۰.۷۸۹^{ef}	۰.۶۹۷^{g}	۰.۳۰۷^{e}

میانگین‌ها با حروف یکسان در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند.

متوسط زمان جوانه‌زنی: نتایج نشان داد که بذور تحت تنش شوری به مدت زمان زیادی برای جوانه‌زنی نیاز دارند. به‌طوری که تمامی سطوح تنش از نظر این صفت با تیمار شاهد دارای اختلاف معنی‌دار بودند. سطوح ۳، ٦ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۳/۹۸، ۵/۳۲ و ۱۱/۰۵ درصد موجب افزایش متوسط زمان جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد (جدول ۳).

سطوح کلرید کلسیم از نظر صفت متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی، اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان داد. افزایش غلظت کلرید کلسیم تا ۸ میلی‌مولار موجب کاهش زمان لازم برای جوانه‌زنی نسبت به شاهد شد ولی سطح ۱۲ میلی‌مولار دارای متوسط زمان جوانه‌زنی با شاهد از لحاظ آماری بود (جدول ٤). بین درصد جوانه-زنی و متوسط زمان جوانه‌زنی همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده شد. چنین به نظر می‌رسد، بذرهایی که به زمان کمی برای جوانه‌زنی نیاز دارند دارای درصد جوانه‌زنی بالاتری نیز خواهند شد (جدول ۵).

جدول ۳- مقایسه میانگین متوسط زمان جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی ذرت تحت تأثیر سطوح مختلف تنش شوری

تنش شوری (دسی زیمنس بر متر)	متوسط زمان جوانه‌زنی	ضریب سرعت جوانه‌زنی
۰	۸.۷۳۵^{c}	۰.۱۱۴۷^{a}
۳	۹.۰۸۳^{b}	۰.۱۱۱۷^{b}
۶	۹.۲۰۰^{b}	۰.۱۱۰۴^{c}
۹	۹.۷۰۱^{a}	۰.۱۰۳۲^{d}

جدول ٤- مقایسه میانگین متوسط زمان جوانه‌زنی و ضریب سرعت جوانه‌زنی ذرت تحت تأثیر سطوح مختلف کلرید کلسیم

کلرید کلسیم (میلی‌مولار)	متوسط زمان جوانه‌زنی	ضریب سرعت جوانه‌زنی
۰	۹.۲۷۰^{a}	۰۱۰۸۲^{b}
۴	۸.۸۹۵^{b}	۰.۱۱۲۷^{a}
۸	۸.۹۳۴^{b}	۰.۱۱۲۳^{a}
۱۲	۹.۳۸۸^{a}	۰۱۰۶۸^{c}

میانگین‌ها با حروف یکسان در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند

متوسط جوانه‌زنی روزانه: متوسط جوانه‌زنی روزانه تحت تأثیر اثر متقابل کلسیم و تنش شوری قرار گرفت به طوری که از لحاظ آماری نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). سطوح ٤ و ۸ میلی‌مولار کلرید کلسیم در شرایط بدون تنش موجب افزایش متوسط جوانه‌زنی روزانه شدند به طوری که که به ترتیب ۱۸ و ۱۰/۲۵ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. در شرایط تنش و عدم حضور کلرید کلسیم، متوسط جوانه‌زنی روزانه نسبت شرایط بدون تنش (آب مقطر) کاهش نشان داد و این کاهش در سطح تنش ٦ و ۹ دسی زیمنس شدید بود اما در شرایط وجود سطوح ٤ و ۸ میلی‌مولار کلرید کلسیم این کاهش تعدیل یافت به طوری که متوسط زمان جوانه‌زنی در حد شاهد از لحاظ آماری رسید (جدول ۲). هر چند که ۸ میلی مولار کلرید کلسیم در سطح تنش ۹ دسی زیمنس و همچنین ۱۲ میلی‌مولارکلرید کلسیم در تمامی سطوح تنش موجب کاهش معنی‌دار متوسط جوانه‌زنی روزانه شدند (جدول ۲). به نظر می‌رسد با توجه به اینکه متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی در سطح ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم بیشتر بود (جدول ۲)، لذا متوسط جوانه‌زنی روزانه نیز کمتر بوده است. بررسی همبستگی صفات نشان داد که هر چه بذور دارای متوسط جوانه‌زنی روزانه بالاتری باشند، دارای درصد جوانه‌زنی بالاتری نیز خواهند بود (جدول ۵).

جدول ۵- همبستگی شاخص‌های مختلف جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه ذرت رقم ماکسیما تحت تأثیر کلرید کلسیم و تنش شوری

	درصد جوانه‌زنی	متوسط زمان جوانه‌زنی	متوسط جوانه‌زنی روزانه	ضریب سرعت جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	شاخص بنیه گیاهچه	بنیه بذر	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	وزن تر گیاهچه
متوسط زمان جوانه‌زنی	-۰.۸۰۴**									
متوسط جوانه‌زنی روزان	۰.۷۷۸**	-۰.۸۲۳**								
ضریب سرعت جوانه-زنی	۰.۷۱۵**	-۰.۷۹۴**	۰.۶۶۰**							
سرعت جوانه‌زنی	۰.۶۳۰**	-۰.۷۴۸**	۰.۷۰۱**	۰.۶۷۸**						
شاخص بنیه گیاهچه	۰.۷۹۴**	-۰.۶۷۳**	۰.۷۳۸**	۰.۷۲۴**	۰.۸۲۳**					
بنیه بذر	۰.۸۲۷**	-۰.۶۲۷**	۰.۶۳۸**	۰.۸۱۶**	۰.۶۴۲*	۰.۱۲۷				
طول ساقه‌چه	۰.۱۹۷	-۰.۲۸۴	۰.۱۸۱	۰.۲۳۹	۰.۲۵۵	۰.۳۹۵*	۰.۷۵۳**			
طول ریشه‌چه	۰.۲۱۹	-۰.۶۲۵**	۰.۱۷۹	۰.۶۵۸*	۰.۴۰۶*	۰.۲۴۷	۰.۴۲۴*	۰.۲۴۸		
وزن تر گیاهچه	۰.۱۶۷	-۰.۶۲۷**	۰.۴۰۶*	۰.۶۰۴**	۰.۷۱۹**	۰.۷۰۶**	۰.۵۰۳*	۰.۷۲۴**	۰.۶۷۴**	
وزن خشک گیاهچه	۰.۲۱۶	-۰.۷۰۴**	۰.۶۴۸**	۰.۵۷۹**	۰.۴۰۷*	۰.۸۲۷**	۰.۴۸۵*	۰.۶۸۱**	۰.۸۰۸**	۰.۶۵۲**

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ضریب سرعت جوانه‌زنی روزانه: ضریب سرعت جوانه‌زنی روزانه تحت تأثیر تنش شوری حاصل از کلرید سدیم قرار گرفت (جدول ۱). نتایج نشان داد که ضریب سرعت جوانه‌زنی روزانه حتی در شرایط تنش شوری ۳ دسی زیمنس هم نسبت به شاهد کاهش یافت که این کاهش از لحاظ آماری نیز معنی‌دار بود (جدول ۳).

بذور تحت سطوح کلرید کلسیم دارای ضریب سرعت جوانه‌زنی متفاوتی بودند (جدول ۱). به طوری که بذور در سطح ٤ و ۸ میلی‌مولار کلرید کلسیم، ضریب سرعت جوانه‌زنی بالاتری را نسبت به شاهد دارا شدند. افزایش سطح کلرید کلسیم تا ۱۲ میلی‌مولار موجب کاهش معنی‌دار ضریب سرعت جوانه‌زنی روزانه شد (جدول ٤). اثر زیان‌بخش کلرید سدیم را می‌توان به تجمع یون‌های سمی و یا کاهش جذب آب توسط بذور یا هر دو عامل فوق مربوط دانست. با توجه به اینکه بذور، آب را که لازمه جوانه‌زنی است می‌باشد جذب کرده و با اندخته غذایی خود با شتاب جوانه می‌زنند لذا در تحقیق حاضر نیز چنین به نظر می‌رسد، بذور در شرایط تنش شوری قادر به جذب آب کمی می‌باشند که این عامل موجب عدم جوانه‌زنی با شتاب و شدت مناسب می‌گردد.

سرعت جوانه‌زنی: بذور تیمار شده با کلرید کلسیم، سرعت جوانه‌زنی متفاوتی در سطوح مختلف تنش شوری از خود نشان دادند (جدول ۱). به طوری که در شرایط بدون اعمال کلرید کلسیم، سرعت جوانه‌زنی در اثر تنش شوری از ۱۰/۹۷ در شرایط بدون تنش به ٤/٦٥۳ در تنش شوری ۹ دسی زیمنس بر متر کاهش یافت. اعمال سطح ٤ و ۸ میلی-مولار کلرید کلسیم اثر این کاهش را تعدیل نمود به طوری که سرعت جوانه‌زنی در تمامی سطح شوری به حد تیمار شاهد از لحاظ آماری رسید (جدول ۲). هر چند که سطح ۸ میلی‌مولار کلرید کلسیم نتوانست اثر تعدیل کنندگی بر تنش شوری ۹ دسی زیمنس را از خود نشان دهد. همچنین چنین اثری در سطح ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم مشاهده شد. با این تفاوت که سطح مذکور در هیچ یک از سطوح تنش شوری نتوانست سرعت جوانه‌زنی را بهبود بخشد (جدول ۲). شوری با تغییر در تعادل عناصر غذایی باعث اختلال در فرآیند جوانه‌زنی و سرعت آن را کاهش می‌دهد ولی کلسیم با تنظیم انتقال و نفوذپذیری یون و کنترل تبادلات یونی نقش مهمی را در بهبود سرعت جوانه‌زنی ایفا می‌نماید (Niu et al., 1995 و Rengel, 1992). اسمول و همکاران (Smol et al., 1993) گزارش نمودند برای جوانه‌زنی، بایستی بذر به اندازه کافی آب جذب نماید، چنانچه جذب آب دچار اختلال گردد و یا به کندی صورت گیرد، مدت زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش و سرعت زنی بذر کاهش می‌یابد. بررسی‌ها نشان داده است که تاثیر کلسیم بر بهبود سرعت جوانه‌زنی بذر به دلیل اثر آن بر فعالیت α- آمیلاز است، چرا که وجود آنزیم α- آمیلاز برای تجزیه نشاسته دانه در فرآیند جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه ضروری است (Marschner, 1995). همبستگی منفی و بالایی بین سرعت جوانه‌زنی و متوسط زمان جوانه‌زنی مشاهده شد (جدول ۵). چنین به نظر می‌رسد افزایش متوسط زمان جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری به دلیل کاهش سرعت جوانه‌زنی بوده است که در نهایت موجبات کاهش درصد بذور جوانه‌زده را فراهم آورده است.

شاخص بنیه گیاهچه: اثر متقابل کلرید کلسیم و تنش شوری بر شاخص بنیه گیاهچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین اثر متقابل کلرید کلسیم و تنش شوری نشان داد که بذور تیمار شده توسط سطوح ٤ و ۸ میلی‌مولار کلرید کسیم توانسته‌اند تا غلظت ۹ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم را تحمل کنند و شاخص بنیه گیاهچه را در حد بالایی حفظ کنند. هر چند که سطح ۸ میلی‌مولار کلرید کلسیم نتوانست اثر مثبتی در غلظت ۹ دسی زیمنس بر متر در کاهش اثر منفی تنش شوری داشته باشد (جدول ۲). افزایش غلظت کلرید کلسیم به ۱۲ میلی‌مولار باعث افزایش شاخص بنیه گیاهچه در حضور کلرید سدیم نشد (جدول ۲). چنین به نظر می‌رسد علت افزایش

شاخص بنیه گیاهچه در تیمارهای ٤ و ٨ میلی‌مولار کلرید کلسیم به دلیل بیشتر بودن درصد جوانه‌زنی است که موجب افزایش تعداد کل بذرهای جوانه‌زده (گیاهچه‌های تولید شده) گردیده که نتیجه آن افزایش شاخص بنیه گیاهچه بوده است (جدول ٥).

بنیه بذر: نتایج تجزیه واریانس مشاهدات نشان داد که اثر متقابل کلرید کلسیم و شوری تأثیر معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۵) بر بنیه بذور ذرت دارد (جدول ۱). مقایسه میانگین بنیه بذور نشان داد که سطح ٤ و ٨ میلی‌مولار در شرایط بدون تنش، موجب افزایش بنیه بذور ذرت نسبت به شاهد (شرایط بدون کلرید کلسیم و بدون تنش) شد اما این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲). در شرایط تنش و بدون حضور کلرید کلسیم، بینه بذرهای ذرت به شدت کاهش یافت به طوری که کاهش ۹۵ درصدی بنیه بذر در غلظت ۹ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم نسبت به شاهد مشاهده شد. حضور سطوح ٤ و ٨ میلی‌مولار کلرید کلسیم در غلظت‌های ۳ و ٦ دسی زیمنس بر متر موجب بهبود بنیه بذور گردید به طوری که از لحاظ آماری به حد شاهد رسیدند (جدول ۲). در سایر تیمارها اثر تعدیل‌کنندگی کلرید کلسیم بر سطوح تنش شوری مورد مطالعه مشاهده نشد (جدول ۲). در مرحله جوانه‌زنی به دلیل این که شاخص بنیه بذر از میانگین طول ساقه‌چه ضرب در درصد جوانه‌زنی تقسیم بر ۱۰۰ حاصل می‌شود می‌توان غلظت‌هایی از کلرید کلسیم که از نظر این شاخص بالاتر هستند را به عنوان تیمار مناسب جهت تحمل شوری معرفی نمود. بارسا و همکاران (Basra et al., 2005) گزارش کرده‌اند که بنیه بذر با سبز شدن ساقه‌چه‌ها در ارتباط است. به طوری که بذور با بنیه بالاتر، موجب سریع‌تر سبز شدن ساقه‌چه می‌شود.

طول ریشه‌چه: نتایج تجزیه واریانس مربوط به طول ریشه‌چه نشان داد که اثر متقابل کلرید کلسیم و شوری بر طول ریشه‌چه معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) است. مقایسه میانگین اثر متقابل کلرید کلسیم و تنش شوری نشان داد که طول ریشه‌چه در شرایط تنش بدون حضور کلسیم، به طور معنی‌داری کاهش یافت. به طوری که از ٦/٢٤٥ سانتی‌متر در شاهد به ۲/٦۲۸ سانتی‌متر در غلظت ۳ دسی زیمنس بر متر کاهش یافت و این کاهش در غلظت‌های بیشتر کلرید سدیم شدیدتر بود (جدول ۲). سطوح ٤ و ٨ میلی‌مولار کلرید کلسیم طول ریشه‌چه ذرت را در شرایط بدون تنش به ترتیب ۲/۷۲۵ و ۲/۲۰۵ سانتی‌متر نسبت به شاهد (بدون تنش و بدون کلسیم) افزایش دادند که این افزایش فقط در سطح ٤ میلی‌مولار کلرید کلسیم معنی‌دار بود (جدول ۲). افزایش رشد طولی ریشه با افزایش جذب کلسیم گزارش شده است (Kent and Lauchli, 1985; Yeo et al., 1991). همچنین طول ریشه‌چه ذرت در حضور ٤ میلی‌مولار کلریدکلسیم توانست در تمامی غلظت کلرید سدیم از اثرات منفی آن در امان باشد و از لحاظ آماری به اندازه شاهد برسد. ولی سطوح ۸ و ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم تنها در غلظت ۳ دسی زیمنس بر متر اثر بهبودی از نظر طول ریشه‌چه را نشان دادند (جدول ۲). بهبودیان و همکاران (Behbodian et al., 2005) اعلام کرده‌اند که در محیط‌های شور، افزایش غلظت عناصر مضر در محیط ریشه، از طریق کاهش پتانسیل آب گیاه، سبب کاهش طول ریشه‌چه می‌شود. این پژوهشگران علت احتمالی کاهش طول ریشه‌چه را به مصرف بیشتر انرژی در ریشه‌ها برای جذب فعال عناصر غذایی مربوط دانستند که متعاقب آن انرژی تخصیص یافته برای رشد ریشه کاهش می‌یابد. به طور کلی، در شرایط بالا بودن املاح خاک، میزان جذب سدیم و تجمع آن در گیاه افزایش و درنتیجه جذب و تجمع کلسیم در بافت سلولی کاهش می‌یابد (Lazof and Bernstein, 1999). از طرف دیگر، افزایش یون کلسیم در محیط غذایی، جذب و تجمع سدیم را کاهش می‌دهد (Lazof and Lauchli, 1991). در مطالعه خوش خلق سیما و همکاران (Khoshkholgh Sima et al., 2006) نشان داده شده است که کلسیم می‌تواند در گیاهان علوفه‌ای

تحت آزمایش از کاهش رشد ریشه و اندام هوایی تحت شرایط تنش شوری جلوگیری کند. با توجه به پژوهش‌های آبا و لوواتو (Abba and Lovato, 1998) طول اجزای گیاهچه و به خصوص ریشه‌چه می‌تواند یک شاخص مهم جهت پیش‌بینی ظهور گیاهچه در مزرعه باشد. همچنین طول ریشه‌چه به عنوان شاخص اولیه رشد و نمو و بنیه گیاهچه محسوب می‌شود و تغییرات آن‌ها به عنوان شاخصی از بنیه گیاهچه مورد تجزیه تحلیل قرار می‌گیرد.

طول ساقه‌چه: نتایج تجزیه واریانس مشاهدات نشان داد که اثر متقابل کلسیم و شوری تأثیر معنی‌داری (P≤۰/۰۵) بر طول ساقه‌چه گیاهچه‌های ذرت دارد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین طول ساقه‌چه نشان داد که حتی تنش شوری ۳ دسی زیمنس بر متر بدون حضور کلرید کلسیم طول ساقه‌چه را تحت تأثیر قرار داده و طول ساقه‌چه را ٦۰/٦٥ درصد کاهش می‌دهد. اما در حضور کلرید کلسیم، اثر منفی شوری بر طول ساقه‌چه کاهش یافت. به طوری که سطح ٤ میلی‌مولار کلرید کلسیم در تمامی سطوح تنش شوری و سطح ۸ میلی‌مولار کلریدکلسیم تا غلظت ٦ دسی زیمنس بر متر توانستند این اثر بهبودی را در طول ساقه‌چه نشان دهند (جدول ۲). مطالعات نشان داده است که با افزایش شوری، جذب آب کاهش، ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها دچار اختلال می‌شوند که نتیجه نهایی آن کاهش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه خواهد بود (Bagheri et al., 1988). گزارش شده است که اثر کلسیم در بهبود این دو صفت به دلیل تنظیم انتقال و نفوذپذیری یون و کنترل تبادلات یونی در حضور کلسیم پیشنهاد شده است (Rengel ; Marschner, 1995 1992). همچنین کلسیم در تعادل بین یون‌های آنیون و کاتیون یک نقش هماهنگ کننده و کنترلی دارد و قادر است بر فعالیت یک سری از آنزیم‌ها نیز تأثیر بگذارد (Akinci and Simsek, 2004). چنین به نظر می‌رسد کاهش اثر منفی تنش شوری توسط سطوح ٤ و ۸ میلی‌مولار کلرید کلسیم به همین علت بوده باشد. مطالعه همبستگی صفات نشان داد که بین طول ساقه‌چه و متوسط زمان جوانه‌زنی رابطه منفی و بالایی وجود دارد (جدول ٥). چنین به نظر می‌رسد هر چه مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی افزایش می‌یابد، بذور ذخیره غذایی بیشتری را در شرایط تنش صرف جوانه‌زنی کرده و در نتیجه اندوخته کمتری برای افزایش طول ساقه‌چه داشته که نتیجه آن کاهش در طول ساقه‌چه خواهد بود.

وزن تر و خشک گیاهچه: سطوح کلرید کلسیم اثرات متفاوتی را بر وزن تر گیاهچه ذرت تحت تنش شوری نشان دادند (جدول ۱). در شرایط عدم حضور کلرید کلسیم، با افزایش تنش شوری، وزن تر گیاهچه کاهش نشان داد به طوری که وزن تر از ٥/۳۰۳ گرم در شاهد به ۲/٥۷۹، ۱/۱٦۲ و ۰/٦۹۷ گرم به ترتیب در غلظت‌های ۳، ٦ و ۹ دسی زیمنس کاهش یافت (جدول ۲). بررسی وزن تر گیاهچه ذرت در سطوح مختلف کلریدکلسیم و غلظت‌های مختلف کلریدسدیم نشان داد که با افزایش کلریدکلسیم به محیط رشد، تا حد زیادی کاهش وزن تر گیاهچه تعدیل شد. به طوری که وزن تر گیاهچه در تمامی غلظت‌های شوری و غلظت ٤ میلی‌مولار کلرید کلسیم دارای روندی تعدیلی بود که توانست وزن تر گیاهچه را از لحاظ آماری به حد شاهد برساند. این روند برای سطح ۸ میلی‌مولار کلرید کلسیم به جز غلظت ۹ دسی زیمنس بر متر مشابه بود اما سطح ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم از این نظر نتوانست اثرات تعدیل-کنندگی در محیط تنش شوری را نشان دهد (جدول ۲).

شبیه به وزن تر گیاهچه، با افزایش مقدار شوری در محیط‌های بدون کلسیم، وزن خشک گیاهچه به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت اما در محیط‌های واجد کلسیم (٤ و ۸ میلی‌مولار)، کاهش معنی‌داری از حیث صفت فوق مشاهده نشد. هر چند که سطح ۸ میلی‌مولار کلرید کلسیم در غلظت ۹ دسی زیمنس بر متر نتوانست موجب عدم کاهش معنی‌دار وزن خشک گیاهچه شود. سطوح ٤ و ۸ میلی‌مولار کلریدکلسیم هر دو نسبت به شاهد (محیط فاقد کلسیم و شوری) موجب افزایش معنی‌دار وزن تر گیاهچه شدند (جدول ۲). شارپ و لی‌نوبلی (Sharp and Lenoble,

2002) اظهار داشتند که ABA، تولید اتیلن را محدود می‌نماید. افزایش ABA در پتانسیل‌های پایین آب مانند تنش شوری، اثر متفاوتی بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی دارد. به طوری که رشد اندام‌های هوایی را متوقف می‌سازد (Babiano and Iglesias, 1996). اما کلسیم می‌تواند از کاهش اندام هوایی جلوگیری کرده و میزان رشد را افزایش دهد (Khoshkholgh Sima et al., 2006). ایشان دلیل این امر را کاهش جذب یون سدیم در ریشه و شاخساره به دلیل افزایش جذب کلسیم دانسته‌اند. همچنین در این آزمایش، کاهش جذب سدیم و نیز انتقال و تجمع آن در اندام‌های مختلف با افزایش جذب کلسیم و پتاسیم و تجمع در برخی اندام‌ها همراه بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که کلسیم می‌تواند انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی گیاهان تحت تنش شوری را محدود نماید. در این بین گزارشات متعددی حاکی از افزایش ماده خشک گیاهان در اثر افزایش کلسیم تا ۱۰ میلی‌مولار در محیط رشد بوده است (Khoshkholgh Sima et al., 2006). هر چند برخی گزارشات حاکی از کند شدن رشد گیاه در غلظت‌های بیش از ۱۰ میلی‌مولار کلسیم است (Cramer, 2002) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج آزمایش حاکی از کاهش صدمات ناشی از کلرید سدیم بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد اولیه ذرت توسط کلسیم بود. کلرید کلسیم در غلظت ٤ میلی‌مولار توانست اثرات منفی غلظت شوری را تا ۹ دسی زیمنس بر متر کاهش دهد، به طوری که اکثر صفات مورد بررسی را به حد شاهد از لحاظ آماری رساند. غلظت ۸ میلی‌مولار کلرید کلسیم توانست اثرات بهبودی را تا غلظت ٦ دسی زیمنس بر متر از خود نشان دهد و غلظت ۱۲ میلی‌مولار کلرید کلسیم نتوانست اثر تعدیلی بر صفات مورد مطالعه داشته باشد. بنابراین به منظور افزایش مقاومت ذرت در شرایط شوری کلرید سدیم در آب و خاک از کودهای کلسیمی و ترکیبات کلسیم‌دار به نسبت شوری موجود استفاده گردد تا در مراحل جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه‌ها در برابر غلظت زیاد کلرید سدیم پایداری بیشتری از خود نشان دهند.

References

Abba, E.J., and Lovato, F. 1998. Effect of seed storage temperature and relative humidity on maize seed viability and vigor. Seed Science and Technology 27: 101-114.

Abdul-Baki, A.A., Anderon, J.D. 1973. Vigor determination in soybean by multiple criteria. Crop Science 13: 630- 633.

Akinci, I.E., and Simsek, M. 2004. Amelorative effects of potassium and calcium on the salinity stress in emberyo culture of cucumber (*Cucummis sativus* L.). Biological Science 4 (3): 361-365.

Alebrahim, M.T., Janmohammadi, M., Sharifzade, F., and Tokasi, S. 2008. Evaluation of salinity and drought stress effects on germination and early growth of maize (*Zea mays* L.) Inbred Lines (short technical report). Electeronic Journal of Crop Production 1(2): 43-64. (In Persian)

Avalbaev, A.M., Bezhorkov, M.V., Kildibekova, A.R., and Fatkutdinova, R.A. 2009. Wheat Germ agglutinin Restores Cell Division and Growth of wheat seedlings under Salinity. Plant Physiology. Special Issue 257-263.

Babiano, M.J., and Iglesias, R. G. 1996. ABA levels in chick-pea seeds during the first the twenty-four hours of germination effect of the polyethylene-glycol. Phytochemistry 41:681-688.

Bagheri, A., Sarmadnia, Kh. and hajrasouliha, Sh. 1988. Response of sainfoin to drought and salinity stress. Science and industry of Agriculture 2: 41-45. (In Persian).

Banisadr, H., and Tahir, M. 1991. Heat and cold tolerance in *Triticum aestivum* and *T. turgidum* var. durum from Iran. 8th wheat symposium. Beijing. China 51-60.

Basra, S.M.A., Afzal, I., Rashid, R.A., Hameed, A. 2005. Inducing salt tolerance in soybean by seed vigor enhancement techniques. Biotechnology and Biochemical. 1: 173-179.

Behbodian, B., Lahouti, M. and Nezami, A. 2005. Effects evaluation of salt stress on germination of chickpea varieties. Agriculture 28(2): 127-137. (In Persian).

Bush, D. S. 1995. Calcium regulation in plant cells and his role in signalling, Annals Review of Plant Physiology 46: 95–122.

Cachoro, P., Ortiz, A., and Cerda, A. 1994. Implication of calcium nutrition on the response of Phaseolus vulgaris L. to salinity. Plant and Soil 159: 205-212.

Cramer, G. R. 2002. Sodium-Calcium interactions under salinity stress. Book, chapter 10: 205-227.

De Villiers, A.J., Van Rooym, M.W., Theron, G.K., and Van Deventer, H.A. 1994. Germination of three namaqual and pioeer species, as influenced by salinity, yempera ture and light. Seed Science and Technology 22:427- 433.

Frncois, L.E., Donovan, T.J., and Maas, E. 1984. Salinity effects on germination and mobilization of grain sorgum. Agronomy 76:741-744.

Haghnia, G.H. 2004. Plant tolerance to salinity. Jahad-e-Daneshgahi of Mashhad university publications. Mashhad, Iran. 32 pp. (In Persian).

Hamidi, A., Rudi, D., Asgari, V., and Hajilui, S. 2009. Study on applicability of controlled deterioration vigour test for evaluation of seed vigour and field performance relationship of three oil-seed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. Plant and Seed 24: 677-706. (In Persian).

Hekmatshoar, M.V. 1994. Plants physiology in hard condition. Niknam Publications. Tabriz, Iran. 378 pp. (In Persian).

Hunter, E.A., Glasbey, C.A., and Naylor, R.E.L. 1984. The analysis of data from germination tests. Agricultural Science, Cambridge 102: 207-213.

Kaya, C.B.E., Higgs, A.K.D. and Murillo-Amador, B. 2002. Influence of foliar applied calcium nitrate on strawberry plants grown under salt stress conditions, Australian Journal of Experimental Agriculture. 42 pp. 631–636.

Kaya, M.D., Okcu, G., Atak, M., Cikili, Y., and Kolsarici, O. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Europian Journal of Agronomy 24: 291-295.

Kazemi-Aebat, H. 2005. Morphology and Anatomy of cereals. Tabriz University Publisher. Tabriz, Iran. 464 pp. (In Persian).

Kent, L.M., and Luahli, A. 1985. Germination and seedling growth of cotton: Salinity- Calcium interactions. Plant Cell Environment 8:155-159.

Khoshkhogh Sima, N.A., Khalvati, M.A., Askari, H., and Hu, Y. 2006. Respond of forage grasses to various supplements of Ca levels in saline conditions. Plant Nutrition, (In press).

Lauchli, A. 1990. Clacium salinity and the plasma memberane. In: Eds. Leonard, R.T. and Hepler, P. K. Calcium in plant growth. Pp: 26-35. The American Society of Plant Physiologists. Rockville. M.D.

Lazof, D.B., and Bernstein, N. 1999. The NaCl inhibition of shoot growth: The case fordistrubed nutrition with special consideration of Calcium. Advances in Botanical Research 29: 113-189.

Lazof, D.B., and Läuchli, A. 1991. The nutritional status of the apical meristem of Lactuca sativa as affected by NaCl salinization: an electron-probe microanalytic study. Planta 184: 334-342.

Lynch, J., and Lauchli, A. 1988. Salinity affects intracellular calcium in corn root protoplasts. Plant Physiology 87: 351-356.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second edition. London: Academic Press. 889 pp.

Nilsen, E.T., and Orcutt, D.M. 1996. The Physiology of Plants under Stress: Abiotic Factors. John Wiley, sons. inc., New York, 689 pp.

Niu, X., Bressan, R.A., Hasegawa, P.M., and Pardo, J.M. 1995. Homeostatise in NaCl stress environment. Plant Physiology 109:735-742.

Okcu, G., Kaya, M.D., and Atak, M. 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum Sativum* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry 29:237-242.

Pe'rez-Alfocea, F., Balibrea, M.E., Santa Cruz, A., and Estana, M.T. 1996. Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in a commercial tomato hybrid. Plant and Soil 180: 251- 257.

Reid, R.J., and Smith, F.A. 2000. The limits of Sodium/Calcium interactions in plant growth. Australian Journal of Plant Physiology, 27: 709-715.

Rengel, Z. 1992. The role of calcium in salt toxicity. Plant Cell Environment 15: 625-632.

Salehzade, H., Izadkhah-Shishvan, M., and Chiyasi, M. 2009. Effect of seed priming on germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). Biological Sciences 4(5): 629-631.

Sharp, R.E., and Lenoble, M. E. 2002. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. Experimental Botany 53: 33-37.

Sheen, J. 1996. Ca^{2+}-dependent protein kinases and stress signal transduction in plants. Science 274: 1900–1902.

Smol, M.A., Chojnowoski, M., and Come, D. 1993. Effect of osmotic treatment on sunflower seed germination in relation with-temperature and oxygen. Basic and applied aspects of seed biology 3:1033-1038.

Stow, J. 1993. Effect of calcium ions on apple fruit softening during storage and ripening. Postharvest Biology and Technology 3: 1 -9.

Subedi, K.D., and Ma, B.L. 2005. Seed priming does not improven corn yield in a humid temperate environment. Agronomy 97:211-218.

Valdiani, A.R., Hassanzadeh, A., Tajbakhsh, M. 2006. Study on the effects of salt stress in germination and embryo growth stages of the four prolific and new cultivars of winter rapeseed (*Brassica napus* L.). Pajohesh and Sazandegi 66: 23-32. (In Persian).

Yeo, A.R., Lee, K.S., Izard, P., Boursier, P.J., and Flowers, T.J. 1991. Short and long term effects of salinity on leaf growth in rice (*Oryza sativa*). Experimental Botany 42: 881-889.

Yuen, C.M.C. 1997. Calcium and fruit storage potential in postharvest handeling of Tropical Fruits. Vol 50, Ed by Champ, B.R., Highly, E., and Johnson, G. I. ACIAR, Canberra, pp 218-227.