نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص. ۵۱۸-۵۰۷
شاپا: ۴۷۳۰-۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 32, No. 4, Winter 2019, p. 507-518
ISSN: 2008 - 4730

اثر محلول‌پاشی کلسیم و نانوکلسیم در کاهش اثرات تنش شوری گوجه‌فرنگی در مرحله رشد رویشی به روش آبکشت

مریم حقیقی[1*] - بهاره نقوی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۹

چکیده

برای بررسی اثر کلسیم و نانوکلسیم در گیاه گوجه‌فرنگی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و تیمارهای کلرید سدیم با غلظت ۰، ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار و کلسیم و نانوکلسیم با غلظت صفر، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. نتایج آزمایش حاضر نشان داد که وزن تر ریشه با افزایش تنش شوری به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت و کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم باعث جبران کاهش تنش شوری در تیمار ۵۰ میلی‌مولار شد. همچنین کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم باعث افزایش چشمگیر حجم ریشه در شرایط تنش شوری شدید نسبت به تیمار شاهد شد. کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکلسیم باعث بهبود معنی‌دار محتوای کلروفیل در تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم شد. در شرایط شوری شدید (۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) اعمال ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم به ترتیب باعث افزایش ۶۰، ۶۳، ۵۰ و ۷۰ درصدی وزن تر و خشک ریشه، وزن تر شاخساره و حجم ریشه نسبت به تیمار بدون کلسیم شد. در تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو کلسیم باعث جبران محتوای نسبی آب بافت (۵/۵۸ درصد) در شرایط تنش شد. کلسیم باعث کاهش اثرات تنش شوری شد اما مقایسه اثرکلسیم و نانوکلسیم نشان داد نانوکلسیم باعث ایجاد تغییرات معنی‌داری نسبت به کلسیم بر تعدیل تنش شوری در صفات رویشی نداشت.

واژه‌های کلیدی: حجم ریشه، شاخص پایداری غشاء سلولی، کلروفیل مقدار نسبی آب بافت

مقدمه

شور بودن خاک‌های زراعی و آب آبیاری را می‌توان جز یکی از عمده‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در اغلب نقاط جهان به ویژه ایران دانست (۱). این مسئله بویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک که از آب‌های شور برای آبیاری استفاده می‌شود، سالانه تشدید می‌گردد. تأثیر شوری بر گیاهان از یک طرف با غلظت کل نمک و نوع یون ویژه آن ارتباط داشته و از طرف دیگر به گونه یا رقم گیاه، مربوط می‌شود. بطور کلی اثرات سوء نمک بر گیاهان را می‌توان ناشی از تجمع نمک‌ها در محیط ریشه و در نتیجه کاهش پتانسیل اسمزی در محیط ریشه، اثرات سمیت ویژه یونی و تحت تأثیر قرار گرفتن فرایندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی گیاهان دانست (۲۲). در اثر شوری سرعت گسترش برگ کاهش یافته و تمامی فرآیندهای اصلی مانند فتوسنتز، ساخت پروتئین و متابولیسم چربی و انرژی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۲۶).

حسین و نونامی (۱۲) در بررسی تنش شوری حاصل از کلرید کلسیم بر پاسخ فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی رقم Momotaro در شرایط هیدروپونیک گزارش کردند که نرخ رشد میوه، پتانسیل اسمزی و نفوذپذیری غشاء در گیاهان تیمار شده نسبت به شاهد به طور معنی‌دار کمتر شده است. نتایج تحقیق بابو و همکاران (۲) حاکی از آن بود که سطح برگ و وزن خشک میوه گوجه‌فرنگی رقم PKM1 تحت تنش شوری کاهش یافت، در حالی‌که با افزایش غلظت شوری، میزان اسید آبسیزیک، اکسین و پرولین، غلظت سدیم بافت و نسبت پتاسیم به سدیم افزایش و میزان پتاسیم کاهش یافت. رشد گوجه‌فرنگی در شرایط شور باعث تغییر ترکیب و غلظت عناصر اندام هوایی گیاه شده و در این شرایط غلظت سدیم و کلر به‌شدت افزایش و غلظت پتاسیم، کلسیم، منیزیم و نیترات کاهش می‌یابد. در پژوهشی دیگر مشخص شد که درصد کاهش عملکرد گوجه‌فرنگی در ۲/۵، ۳/۵ و ۷/۶ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۰، ۱۰ و ۵۰ می‌باشد (۲۳). همچنین محققین بیان کردند که تنش شوری در گوجه‌فرنگی باعث

۱ و۲- استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: (Email: mhaghighi@cc.iut.ac.ir
DOI: 10.22067/jhorts4.v32i4.40107

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش رشد رویشی و کاهش عملکرد می‌گردد. همچنین طول ریشه گوجه‌فرنگی تحت تنش کاهش می‌یابد (۳۲).

کلسیم نقش اساسی در تکمیل ساختمان غشا سلولی، پایداری دیواره سلولی، تنظیم انتقال یون و جذب انتخابی غشا دارد (۷). یون کلسیم اثرات قابل توجهی در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان داشته و فاکتورهای مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان تحت تنش شوری را بهبود می‌بخشد. شوری به علل متعددی از جمله سمیت یونی و برهم زدن روابط تغذیه‌ای گیاه، بر روی شاخص‌های رشد گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد. یکی از اثرات منفی تنش شوری بر روی گیاهان، بر هم‌زدن تعادل عناصر غذایی مهمی از جمله پتاسیم، آهن و کلسیم بوده که غلظت این عناصر تحت تأثیر میزان سدیم و کلسیم خارج سلولی می‌باشد. یون‌های کلسیم و سدیم دارای اثرات رقابتی بوده و تنظیم مناسب این دو عنصر بر غلظت عناصر مذکور تأثیر بسزایی دارد (۲۴). برای افزایش مقاومت گیاهان به شوری با استفاده از برخی از مواد شیمیایی کاهش‌دهنده جذب و تجمع سدیم تلاش‌هایی صورت گرفته است. آزمایش‌ها نشان داده اضافه کردن کلسیم به محیط، سبب کم کردن خسارت شوری می‌شود (۷، ۱۹ و ۲۸). تأمین مقدار کافی کلسیم در محیط‌های شور عامل مهمی در کنترل شدت سمیت یون‌های ویژه نظیر سدیم و کلر در گیاهان حساس می‌باشد. وجود مقدار کافی کلسیم در محیط باعث تکامل غشای سلولی گیاه و حفظ ویژگی‌های انتخاب‌پذیری آن شده و سمیت کلر و سدیم را در گیاهان کاهش می‌دهد (۷). تأثیر کلسیم در کاهش اثرات زیان‌آور شوری حاصل از سدیم، بستگی به نوع گیاه، غلظت کلسیم و منبع سدیم دارد (۱۴). کلسیم از انتقال سدیم به اندام‌های هوایی جلوگیری کرده و از این راه تأثیر منفی شوری را کم می‌کند. مقدار کافی این عنصر تحت تنش شوری می‌تواند مقدار برداشت سدیم را کاهش دهد و با کاهش نسبت سدیم به پتاسیم شرایط رشد را برای گیاه مناسب تر سازد. یون‌های سدیم ممکن است برای مکان‌های اتصال کلسیم در غشا رقابت کنند بنابراین میزان بالای کلسیم می‌تواند غشاء سلول را از اثرات نامطلوب شوری حفظ نماید (۲۱). جذب انتخابی یون‌هایی مانند پتاسیم، آهن و روی در ریشه گیاه تحت شوری مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج نشان می‌دهد که در صورت وجود میزان مناسبی از کلسیم در محیط رشد ریشه جذب انتخابی ریشه بهبود یافته و در نتیجه عناصر مفیدی مانند پتاسیم بهتر جذب ریشه گیاه می‌شود (۲۰). اثر کلسیم به زمان نیز بستگی دارد، تنش شوری کمبود کلسیم در گیاه ایجاد می‌کند و اعمال کلسیم اثر تنش شوری را بهبود می‌بخشد. در بسیاری از بررسی‌ها افزایش کلسیم به محیط کشت همبستگی ضعیفی با تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی را نشان می‌دهد و پیشنهاد شده است که این عامل باید با شرایط اسمزی کنترل شود (۵). سروش زاده و امین پناه (۲۸) مشاهده کردند که آغشته کردن بذرهای برنج با نیترات کلسیم باعث کاهش اثرات شوری می‌گردد. نقش کلسیم تنظیم انتقال یون‌ها به سلول‌های گیاهی، تکامل ساختمان غشای پلاسمایی و کاهش نفوذپذیری غشا نسبت به یون‌های کلر، سدیم و اصلاح هدایت هیدرولیکی ریشه است (۷). اثر بهبوددهنده یون کلسیم ممکن است به علت حفظ انسجام سلولی و اعمال غشای پلاسمایی در ریشه و بخش هوایی باشد (۳۱). امروزه افزودن نانوذرات به گیاهان به عنوان کود به دلیل داشتن اثرات بی‌نظیر مانند نفوذ سریع‌تر و راحت‌تر به درون غشای سلولی، توجه محققین را به خود جلب کرده است. تحقیقات محدودی اثر نانو ذرات مختلف را بر رشد و فیزیولوژی گیاهان مورد بررسی قرار داده است. نانولوله‌های کربنی می‌تواند باعث ایجاد رخنه در بذر گوجه‌فرنگی و درنتیجه تسهیل ورود آب و اکسیژن به بذر شود، همچنین این احتمال وجود دارد که نانولوله‌های کربنی با تاثیر بر آکوآپورین‌ها (کانال‌های عبور آب در غشا) و تنظیم عمل آن‌ها بتواند به ورود آب به درون سلول‌ها کمک کند (۱۳). نانوتیتانیوم باعث افزایش قدرت، استحکام ریشه و افزایش توانایی ریشه در جذب آب، کود و افزایش فعالیت نیترات‌ردوکتاز شده و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مثل سوپراکسیددسموتاز و کاتالاز را افزایش داد (۱۷). تحقیق مظفریان و همکاران (۲۲) نشان داد که نانو سیلیسیم باعث افزایش طول شاخساره و ریشه‌چه نسبت به بذرهای گوجه‌فرنگی تیمار شده با سیلیکات پتاسیم شد (۲۲). زو و همکاران (۳۲) گزارش کردند کدو تنبل (*Cucurbita maxima*) که در بستر آبی حاوی نانوذرات منیزیم رشد یافته می‌تواند ذرات را در بافت گیاهی جذب، انتقال و ذخیره نماید، در حالی‌که لوبیای آمریکایی (*Phaseolus limensis*) قادر به جذب و انتقال این ذرات نیست. این نشان می‌دهد که گیاهان مختلف پاسخ‌های متفاوتی به چنین ذراتی نشان می‌دهند (۳۲). با در نظر گرفتن این نکته که ذرات نانو ریزتر از فرم معمولی کلسیم بوده و در رقابت با سایت‌های یونی ریشه در جذب نمی‌باشند پژوهشی به منظور بررسی اثر شوری و کلسیم تکمیلی به صورت محلول‌پاشی به دو فرم فلزی و نانوفلزی بر رشد رویشی گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط کشت آبکشت طراحی شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر کلسیم و نانوکلسیم بر خصوصیات رویشی گیاه گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای (*Lycopersicon escuhentum* var Falcato) تحت شرایط تنش شوری آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و ۱۵ تیمار شامل کلریدسدیم با غلظت‌های صفر به عنوان شاهد، ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار به محلول غذایی اضافه شد. تیمار کلسیم و نانوکلسیم به صورت کلسیم (نیترات کلسیم) غلظت‌های صفر به عنوان شاهد، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و نانوکلسیم با غلظت‌های صفر به عنوان شاهد ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه

www.SID.ir

Archive of SID

صنعتی در تابستان ۱۳۹۰ انجام شد. بذرهای گوجه فرنگی در سینی‌های نشا۷۰ خانه‌ای با حجم ۵۰ سی‌سی در بسترکشت کوکوپیت کشت شدند. نشاهای گوجه‌فرنگی پس از رسیدن به مرحله ۲-۳ برگی (بعد از گذشت یک ماه) به سیستم آبکشت (Raft) با سیستم هوادهی بوسیله پمپ‌های هوا حاوی محلول غذایی هوگلند (جدول ۱) در گلخانه‌ای با شرایط دمایی۲± ۲۵ درجه سانتی‌گراد و با طول دوره روشنایی به تاریکی ۱۴ به ۱۰ ساعت منتقل شد؛ سطح محلول غذایی در داخل ظروف به میزان ثابت نگه داشته شد.

جدول ۱- ترکیبات محلول غذایی هوگلند
Table 1- Hoagland nutritional solution compounds

ترکیب Compound	محلول پایه Base solution (g/L)	میلی‌لیتر محلول پایه در یک لیتر Base solution (ml/L)
نیترات پتاسیم KNO_3	202	2.5
نیترات کلسیم تترا هیدراته $Ca(NO_3)_2•4H_2O$	236	2.5
آهن Iron (Sprint 138 iron chelate)	15	1
سولفات منیزیم هپتا هیدراته $MgSO_4•7H_2O$	439	1
نیترات آمونیوم NH_4NO_3	80	1
بوریک اسید H_3BO_3	2.86	1
کلرید منگنز تترا هیدراته $MnCl_2•4H_2O$	1.81	1
سولفات روی هپتا هیدراته $ZnSO_4•7H_2O$	0.22	1
سولفات مس $CuSO_4$	0.051	1
 $H_3MoO_4•H_2O$	0.09	1
منوفسفات پتاسیم KH_2PO_4 (pH to 6.0)	136	0.5

به منظور جلوگیری از نفوذ نور و رشد نکردن جلبک‌ها درون ظروف محتوای محلول غذایی اطراف ظروف با پلاستیک مشکی ضخیم پوشانده و پس از استقرار گیاه در سیستم آبکشت تیمارهای مورد نظر اعمال شد. یک هفته پس از استقرار کامل گیاهان در شرایط نسبتا کنترل شده گلخانه، تیمارهای مورد نظر (۱۵ تیمار) شامل کلریدسدیم با غلظت‌های صفر به عنوان شاهد، ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار به محلول غذایی اضافه شد. تیمار کلسیم و نانوکلسیم به صورت کلسیم (نیترات کلسیم) غلظت‌های صفر به‌عنوان شاهد، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و نانو کلسیم با غلظت‌های صفر به‌عنوان شاهد ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به صورت محلول‌پاشی به فاصله زمانی ده روز به شکلی که از برگ‌ها ریزش کند، اعمال شدند. خصوصیات نانو کلسیم تهیه شده از پژوهشکده نانوتکنولوژی دانشگاه شیراز در جدول ۲ و شکل ۱ نشان داده شده است. به منظور جلوگیری از تنش شوری بر نشاهای گوجه‌فرنگی، تیمارهای شوری تا رسیدن به غلظت نهایی مورد مطالعه به تدریج اعمال شدند. در تمام مراحل رشد اسیدیته محلول غذایی با استفاده از اسیدسولفوریک یا هیدروکسید پتاسیم در محدوده ۵/۸ تا ۶/۲ و هدایت الکتریکی ۵ کنترل شد.

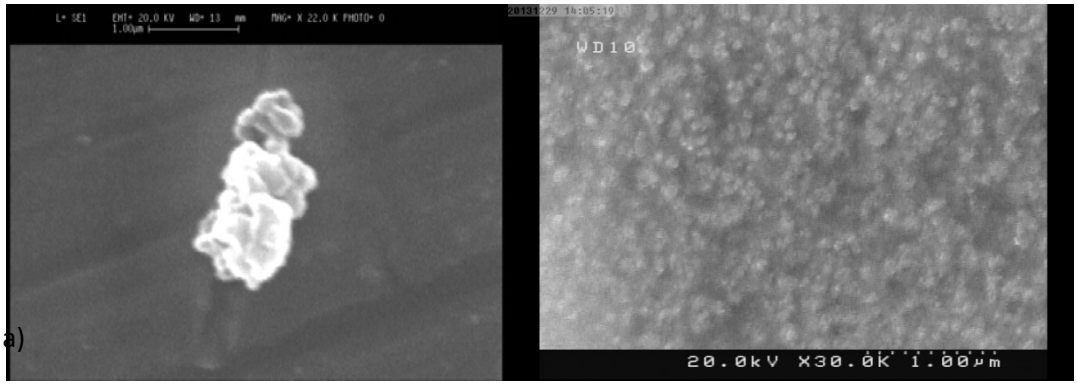
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- خصوصیات نانو کلسیم تهیه شده از پژوهشکده نانو دانشگاه شیراز

Table 2- Properties of nano-calcium prepared from the Nano Research Institute of Shiraz University

خصوصیات ساختاری Structural characteristics	
تجزیه و تحلیل ترموگرافی Thermogravimetric analysis (TGA)	5.0 ± 0. 2
اندازه Size (nm)	20-35
درصد خلوص Percentage purity (%)	98
سطح فعال Active level (m^2g^{-1})	461



شکل ۱- عکس TEM (a) و SEM (b) ذرات نانو کلسیم توسط دستگاه (Model: Stereo Scan S360, Oxford) Scanning electron microscopy

Figure 1- TEM (a) and SEM (b) pictures of calcium nanoparticles (Model: Stereo Scan S360, Oxford)

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ پس از گذشت یک ماه از اعمال تیمارها، با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (مدل SPAD-502) کلروفیل از هر برگ قرائت شد. سپس بخش‌های مختلف گیاه به‌طور جداگانه برداشت و حجم ریشه، به روش تغییر حجمی آب طبق قانون ارشمیدس بر حسب میلی‌متر برآورد گردید و طول ریشه و ساقه با خط‌کش اندازه‌گیری شد. جهت تعیین مقدار نسبی آب بافت (RWC) به طور تصادفی برگ‌های تازه گیاه انتخاب و به اندازه یک سانتی‌متر جدا و وزن شد (W_I). این قطعات برگ در آب مقطر در محل تاریک در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از ۲۴ ساعت دوباره وزن شد (W_f) و سپس وزن خشک این قطعات پس از قرار دادن در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد (۲۹) و از فرمول زیر جهت محاسبه مقدار نسبی آب بافت استفاده شد (۲۵).

$$RWC=\frac{wt-wd}{wf-wd}\times 100$$

برای اندازه‌گیری شاخص پایداری غشا سلول از برگ‌های کاملا گسترش یافته ۵ و ۶، دیسک یک سانتی‌متری تهیه و درون لوله آزمایش قرار داده شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و در نهایت و به وسیله EC متر، EC_1 اندازه گرفته شد. پس از آن به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و EC_2 اندازه‌گیری شد. از طریق معادله زیر میزان MSI(Membrane stability index) تعیین شد (۲۷).

$$MSI= 1- (\frac{EC1}{EC2}) \times 100$$

برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک، ابتدا ریشه از محل طوقه از قسمت شاخساره جدا و وزن تر ریشه و شاخساره به طور جداگانه با ترازوی دیجیتال دقیق (±۰/۰۱) توزین گردید، سپس نمونه‌های ریشه و شاخساره به طور جداگانه درون پاکت قرار گرفتند و در آزمایشگاه درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. از ترازوی دیجیتالی دقیق برای توزین وزن خشک نمونه‌ها استفاده شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statistix-8 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد سنجیده شد.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج

شوری باعث کاهش معنی‌دار وزن تر ریشه شد، به‌طوری‌که کمترین وزن تر ریشه در تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد ۲۵ درصد کاهش وزن داشت (جدول ۳). تیمارهای مختلف کلریدسدیم تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشت اما کاهش جزئی وزن خشک ریشه با اعمال کلریدسدیم مشاهده، به‌طوری‌که کمترین وزن خشک ریشه در تیمار ۲۵ میلی‌مولار کلریدسدیم بود. وزن تر و خشک شاخساره با اعمال شوری نسبت به تیمار شاهد به طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری‌که در تیمار ۲۵ میلی‌مولار کلریدسدیم نسبت به تیمار شاهد ۲۹ درصد کاهش داشت. حجم ریشه نیز طی تنش کاهش یافت و کمترین حجم ریشه در تیمار ۲۵ میلی‌مولار کلریدسدیم بود که نسبت به شاهد ۲۵ درصد کاهش داشت. با افزایش غلظت کلریدسدیم محتوای کلروفیل به طور معنی‌داری کاهش یافت و کمترین محتوای کلروفیل در تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم بود. بیشترین شاخص پایداری غشا سلول در تیمار ۲۵ میلی‌مولار کلریدسدیم مشاهده شد. طول ریشه طی تنش شوری افزایش یافت به‌طوری‌که در تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم بیشترین طول ریشه مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۳- اثرات اصلی غلظت‌های مختلف کلرید سدیم بر شاخص‌های رویشی گیاه گوجه فرنگی

Table 3- Main effects of different concentrations of NaCl on vegetative characteristics of tomato plants

کلرید سدیم NaCl	طول ریشه Root length (cm)	طول شاخساره shoot length (cm)	محتوای نسبی آب بافت RWC (%)	نشت الکترولیت Electrolyte Leakage (%)	محتوای کلروفیل Chlorophyll content (%)	حجم ریشه Root volume (cm^3)	وزن خشک شاخساره Dry weight shoot (g)	وزن تر شاخساره Fresh weight shoot (g)	وزن خشک ریشه Dry weight root (g)	وزن تر ریشه Fresh weight root (g)
شاهد Control	25.55 b	13.28 a	72.02 a	46.11 b	29 a	2.68 a	1.41 a	12.42 a	0.15 a	3.07 a
۲۵ میلی‌مولار 25 mM	26.28 b	12.60 a	69.68 a	56.54 a	26.22 b	2 b	1.04 b	8.79 b	0.12 a	3.07 a
۵۰ میلی‌مولار 50 mM	33.32 a	14.54 a	67.94 a	44.06 b	23.01 c	2.50 ab	1.11 b	10.29 b	0.14 a	2.28 b

میانگین‌هایی که در یک حرف در هر ستون متفاوت هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

The meanings that differ in a letter in each column have a significant difference of 1% probability level based on the LSD test.

نتایج آزمون مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین وزن تر ریشه در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد و تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکلسیم نداشت. اعمال تیمار کلسیم و نانوکلسیم باعث کاهش وزن خشک ریشه شد و کمترین وزن خشک در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکلسیم بود که نسبت به تیمار شاهد ۳۵ درصد کاهش داشت، علت این امر را می‌توان سمیت نانوکلسیم بر رشد ریشه دانست. تفاوت معنی‌داری بین تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم و نانوکلسیم با شاهد در وزن تر شاخساره نداشت. با اعمال تیمارهای ۲۰۰ میلی‌گرم در لیترکلسیم و نانوکلسیم وزن خشک شاخساره کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین وزن خشک شاخساره در تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین حجم ریشه در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم و کمترین حجم ریشه در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو کلسیم مشاهده شد. محتوای کلروفیل تحت تأثیر تیمار نانوکلسیم قرار گرفت به‌طوری‌که بیشترین محتوای کلروفیل در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکلسیم مشاهده شد. بیشترین شاخص پایداری غشا سلول در تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکلسیم مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم و نانوکلسیم، ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکلسیم و شاهد نداشت. محتوای نسبی آب بافت تحت تأثیر تیمار کلسیم و نانوکلسیم قرار گرفت به‌طوری‌که در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم و نانوکلسیم بیشترین مقدار مشاهده شد. بیشترین طول ریشه در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم و نانوکلسیم مشاهده شد که به‌ترتیب نسبت به تیمار شاهد ۱۰ و ۷ برابر افزایش داشت، با اعمال تیمارهای کلسیم و نانوکلسیم طول شاخساره کاهش یافت و به کمترین مقدار در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم رسید (جدول ۴).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- اثرات اصلی غلظت‌های مختلف کلسیم و نانو کلسیم بر شاخص‌های رویشی گیاه گوجه فرنگی

Table 4- Main effects of different concentrations of Ca and Nano- Ca on vegetative characteristics of tomato plants

کلسیم و نانو کلسیم Ca and Nano-Ca (mg/l)	طول ریشه Root length(cm)	طول شاخساره shoot length(cm)	محتوای نسبی آب بافت RWC (%)	نشت الکترولیت Electrolyte Leakage (%)	محتوای کلروفیل Chlorophyll content (%)	حجم ریشه Root volume (cm^3)	وزن خشک شاخساره Dry weight shoot	وزن تر شاخساره Fresh weight shoot	وزن خشک ریشه Dry weight root (g)	وزن تر ریشه Fresh weight root (g)
شاهد Control	30.17 a	17.17 a	67.62 ab	48.63 ab	25.98 b	2.83 ab	1.74 a	12.85 a	0.17 a	3.23 a
کلسیم – ۱۵۰ 150- Ca	33.66 a	11.62 b	74.64 a	37.20 b	25.47 b	3.33 a	1.55 a	12.99 a	0.12 b	3.58 a
کلسیم – ۲۰۰ 200- Ca	21.16 b	12.70 b	64.76 b	52.56 a	25.68 b	1.91 c	1.03 b	8.27 b	0.13 ab	2.16 b
کلسیم نانو – ۱۵۰ 150- Nano-Ca	32.45 a	14.33 ab	74.35 a	47.53 ab	28.52 a	2.33 bc	0.88 b	11.19 a	0.16 ab	2.92 a
کلسیم نانو – ۲۰۰ 200- Nano-Ca	24.46 b	11.55 b	68.01 ab	58.59 a	24.73 b	1.55 c	0.73 b	7.19 b	0.11 b	2.14 b

میانگین‌هایی که در یک حرف در هر ستون متفاوت هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

The meanings that differ in a letter in each column have a significant difference of 1% of probability level based on the LSD test.

در تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، اعمال تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار کلسیم باعث افزایش معنی‌دار وزن تر ریشه نسبت به تیمار تنش شوری بدون اعمال کلسیم (۶۰ درصد افزایش) شد، همچنین بیشترین وزن تر ریشه در این تیمار مشاهده شد. در تیمار ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم به ترتیب اعمال تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکلسیم باعث کاهش ۴۹ و ۴۰ درصدی وزن تر ریشه نسبت به تیمار شوری بدون اعمال کلسیم و نانوکلسیم شد. در تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، اعمال تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم کلسیم باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه نسبت به تیمار بدون اعمال کلسیم (۶۵ درصد افزایش) شد. بیشترین وزن تر شاخساره در تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم و ۱۵۰ میلی‌گرم کلسیم مشاهده شد که ۵۰ درصد نسبت به تیمار بدون اعمال کلسیم افزایش داشت (جدول ۵). در تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم، اعمال تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم باعث افزایش معنی‌دار حجم ریشه شد به‌طوری‌که نسبت به تیمار بدون اعمال کلسیم ۷۰ درصد افزایش داشت، همچنین بیشترین حجم ریشه در این تیمار مشاهده شد (جدول ۵).

در تیمار ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم، اعمال تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کلسیم باعث افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل نسبت به تیمار بدون اعمال کلسیم شد. در تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نیز تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوکلسیم باعث افزایش ۲۲ درصدی نسبت به شاهد شد (جدول ۵). اثرات سمیت نانوکلسیم ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در تیمار ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد به‌طوری‌که این تیمار باعث کاهش ۲۰ درصدی محتوای کلروفیل نسبت به تیمار شاهد شد. علت این مشکل را می‌توان نفوذ بهتر نانوذرات به بافت گیاه دانست. در تنش شوری ملایم (۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم)، اعمال ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم و نانوکلسیم به ترتیب باعث افزایش ۱۳ و ۱۴ درصدی محتوای نسبی آب بافت نسبت به تیمار بدون اعمال کلسیم شد. در تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم اعمال تیمارهای کلسیم و نانوکلسیم باعث افزایش محتوای نسبی آب بافت شد (جدول ۵).

در تیمار شوری ملایم (۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم)، اعمال تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم باعث افزایش ۱۰ درصدی و معنی‌دار طول ریشه نسبت به تیمار بدون اعمال کلسیم شد. در تیمارهای ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، اعمال کلسیم و نانوکلسیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش ۱۷ و ۸ درصدی طول ریشه نسبت به تیمار بدون اعمال کلسیم شد. در تیمار ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم اعمال ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکلسیم باعث افزایش ۱۲ درصدی طول شاخساره نسبت به تیمار بدون اعمال نانوکلسیم شد و در تیمار ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم اعمال ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم باعث افزایش معنی‌دار طول شاخساره نسبت به تیمار بدون اعمال کلسیم شد، همچنین بیشترین طول شاخساره در این تیمار مشاهده شد (جدول ۵).

www.SID.ir

Archive of SID

بحث

مکانیسم سازگاری گیاه با شرایط شوری بسیار پیچیده است، از دلایل کاهش رشد گیاه در شرایط شور تجمع یون‌های سمی، کلر و سدیم در بافت‌های گیاهی می‌باشد که سبب کاهش فعالیت آنزیمی و تغییر الگوی توزیع کربوهیدرات‌ها می‌شود. لی (۱۵) نشان داد که وزن تر و خشک، میزان مواد جامد محلول با افزایش غلظت کلریدسدیم در گیاه گوجه‌فرنگی (رقم Zhongsu5) کاهش می‌یابد. که با نتایج آزمایش حاضر در رقم Falcato همخوانی دارد. همچنین افزایش میزان پرولین و فعالیت آنزیم مالون‌دی‌آلدهید با افزایش غلظت کلرید سدیم گزارش شد. از سوی دیگر، کاهش وزن تر و خشک شاخساره و ریشه گوجه‌فرنگی در شرایط شور گزارش شده است (۸) که می‌توان کاهش رشد گیاه را به علت کاهش رشد سطح برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز و ساخت پروتئین‌ها مربوط دانست (۲۶). تأمین مقدار کافی کلسیم در محیط‌های شور عامل مهمی در کنترل شدت سمیت یون‌ها نظیر سدیم و کلر در گیاهان حساس می‌باشد. در آزمایش حاضر با اعمال تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم فلزی و نانوکلسیم اثرات تنش شوری کاهش یافت. از دلایل کاهش تنش شوری با استفاده از کلسیم می‌توان به کاهش جذب سدیم (۱۶ و ۱۸) و افزایش جذب پتاسیم (۹) اشاره کرد. لوپز و ساتیا (۱۶) اظهار داشتند که در صورت وجود غلظت مناسبی از کلسیم، مقاومت گیاهان به شوری بیشتر می‌شود زیرا وجود کلسیم در خاک از تجمع سدیم جلوگیری می‌کند. در آزمایشی توسط مظلومی و همکاران (۱۸) در بررسی کلسیم (۰، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار به صورت اضافه کردن به محلول غذایی و ۰/۵ و ۱ درصد به صورت محلول‌پاشی) در شرایط شوری (۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار) در گیاه توت‌فرنگی مشاهده شد که کاربرد کلسیم تکمیلی سبب افزایش غلظت کلسیم در بافت‌های گیاه می‌شود اما در کاهش اثرات منفی تنش شوری بر رشد رویشی توت‌فرنگی مؤثر نبوده است (۱۸).

جدول ۵- اثر متقابل NaCl × غلظت‌های مختلف کلسیم و نانو کلسیم بر شاخص‌های رویشی گیاه گوجه فرنگی

Table 5- Interaction of NaCl × Ca or Nano-Ca concentrations on vegetative characteristics of tomato plants

سطوح کلسیم و نانو کلسیم Ca and Nano- Ca levels (mg/l)	NaCl (mM)	محتوای کلروفیل Chlorophyll content (%)	حجم ریشه (Root volume (cm^3)	وزن خشک شاخساره Dry weight shoot (g)	وزن تر شاخساره Fresh weight shoot (g)	وزن خشک ریشه Dry weight root (g)	وزن تر ریشه Fresh weight root (g)
۰	0	26.95 cd	4.50 ab	2.62 a	17.14 ab	0.27 a	4.54 ab
150-Ca		27.80 bc	3.50 bc	1.46 cd	11.34 cd	0.07 f	3.47 bc
200mg/l Ca		25.85 c-f	2 de	1.21 d-f	6.56 e-g	0.14 b-f	2.01 de
150-Nano-Ca		35.75 a	2.5 cd	1.14 d-f	11.99 cd	0.18 bc	3.04 cd
200-Nano-Ca		28.67 bc	0.90 e	0.63 f	4.45 fg	0.11 b-f	2.31 c-e
شاهد Control	25	28.02 bc	2.50 cd	2.02 bc	11.84 cd	0.17 b-d	3.03 cd
150-Ca		30.60 b	1.50 de	0.90 d-f	8.44 d-f	0.10 c-f	1.68 e
200- Ca		26.57 c-e	1.50 de	0.61 f	4.01 g	0.08 ef	1.53 e
150-l Nano-Ca		23.62 e-h	2.25 c-e	0.73 ef	10.27 c-e	0.14 b-f	2.71 c-e
200-Nano-Ca		22.27 g-i	2.25 cde	0.96 d-f	9.37 de	0.13 b-f	2.45 c-e
شاهد Control	50	20.40 i	1.50 de	0.059 f	9.57 de	0.07 ef	2.14 de
150-Ca		20.60 hi	5 a	2.30 ab	19.21 a	0.19 ab	5.58 a
200-Ca		24.62 d-g	2.258 c-e	1.26 de	14.23 bc	0.18 bc	2.94 cd
150-Nano-Ca		26.20 c-f	2.25 c-e	0.78 ef	11.32 cd	0.15 b-e	3.03cd
200-Nano-Ca		23.25 f-i	1.50 de	0.61 f	7.75 d-g	0.10 d-f	1.68 e

میانگین‌هایی که در یک حرف در هر ستون متفاوت هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

The meanings that differ in a letter in each column have a significant difference of 1% of probability level based on the LSD test.

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول ۵- اثر متقابل شوری و غلظت‌های مختلف کلسیم و نانو کلسیم بر شاخص‌های رویشی گیاه گوجه فرنگی

Continue the table 5- Interaction effect of salinity and different concentrations of Ca and Nano-Ca on vegetative indices of tomato plants

سطوح کلسیم و نانو کلسیم Ca and Nano- Ca levels	شوری Salinity	طول شاخساره (سانتی‌متر) shoot length(cm)	طول ریشه (سانتی‌متر) Root length(cm)	محتوای نسبی آب بافت (٪) RWC (%)
۰	میلی‌مولار 0 mM	13 b-d	30.25 bc	80.02 ab
۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم 150mg/l Ca		14 b-d	30.25 bc	80.60 a
۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم 200mg/l Ca		10 cd	17 f	67.62 b-f
۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو کلسیم 150mg/l Nano-Ca		13.75 b-d	32 bc	61.27 ef
۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکلسیم 200mg/l Nano-Ca		15.69 bc	18.27 ef	68.60 b-f
۰	۲۵ میلی‌مولار 25 mM	14.02 b-d	26.27 c-e	64.66 c-f
۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم 150mg/l Ca		10.87 b-d	75.29 bc	74.73 a-d
۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم 200mg/l Ca		10.50 cd	20.50 d-f	62.59 d-f
۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو کلسیم 150mg/l Nano-Ca		16.75 bc	87.27 cd	75.34 a-c
۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکلسیم		10.87 b-d	27 cd	70.98 a-e
۰	۵۰ میلی‌مولار 50 mM	10 cd	34 a-c	58.20 f
۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم 150mg/l Ca		24.5 a	41 a	66.60 c-f
۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم 200mg/l Ca		17.62 ab	26 c-e	64.08 c-f
۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانو کلسیم 150mg/l Nano-Ca		12.5 b-d	37.5 ab	79.20 ab
۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکلسیم 200mg/l Nano-Ca		8.10 d	28.12 cd	71.79 a-e

میانگین‌هایی که در یک حرف در هر ستون متفاوت هستند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشند.

The meanings that differ in a letter in each column have a significant difference of 1% based on the LSD test.

گرجی و همکاران (۷) بیان کردند که کاهش وزن خشک در شرایط شور به دلیل کاهش نرخ فتوسنتز در واحد سطح برگ، کاهش جذب کربن و صدمه به بافت‌ها می‌باشد. آنها مشاهده کردند که اضافه کردن کلسیم باعث کاهش شرایط تنش می‌شود و کمترین کاهش وزن خشک را در تیماری که کلسیم اعمال کرده بودند مشاهده کردند (۷) که در این آزمایش نیز با اعمال ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلسیم در تیمار ۵۰ میلی مولار کلرید سدیم کمترین کاهش وزن خشک نسبت به تیمار بدون اعمال کلسیم مشاهده شد که دلیل این امر را می‌توان کاهش جذب و انتقال سدیم به اندام هوایی، افزایش جذب پتاسیم (۹) و در نتیجه افزایش نسبت پتاسیم به سدیم درگیاه، بهبود متابولیسم نیتروژن و فعالیت فتوسنتزی گیاه (۴) دانست. گرجی و همکاران (۷) گزارش کردند که افزایش غلظت کلسیم در محلول غذایی می‌تواند تا حدودی آثار مخرب شوری بر رشد گیاه گلرنگ در شرایط آبکشت تعدیل نماید. در آزمایش میرزایی و همکاران (۱۹) گزارش کردند که شوری تأثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب بافت ندارد و علت این امر را احتمالا به دلیل مقاومت بالای گیاه زنیان به شوری بیان کردند.

www.SID.ir

Archive of SID

صادقی لطف آبادی و همکاران (۲۶) در بررسی کلرید پتاسیم و کلرید کلسیم در شرایط شور بر گیاه سورگوم مشاهده کردند که مصرف کلسیم موجب افزایش محتوای نسبی آب بافت، میزان کلروفیل و وزن خشک در سه مرحله رشدی شده است. افزایش محتوای نسبی آب بافت با اعمال ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانوکلسیم در تیمارهای ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. نتایج آزمایشی در گیاه گندم نشان داد که افزایش غلظت کلسیم در محیط شور موجب افزایش ماده خشک، محتوای رطوبت، نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه از طریق افزایش محتوای پتاسیم و کاهش سدیم در گیاه شد (۱۰) که نتایج این آزمایش با آزمایش ما همخوانی داشت. در آزمایشی توسط جهانی و همکاران در بررسی اثر کلسیم در کاهش تنش شوری در گیاه جو مشاهده کردند که با افزایش تنش شوری میزان کلروفیل گیاه کاهش یافت، ولی با افزودن کلسیم به طور معنی‌داری میزان کلروفیل افزایش می‌یابد (۶).

تحقیقات اندکی در زمینه استفاده از نانوذرات در رشد گیاهان موجود است و استفاده از نانوکلسیم برای اولین بار در کاهش تنش شوری مورد استفاده قرار گرفته استاما اثرات مفید برخی از مواد نانو در گیاهان به اثبات رسیده است. نتایج تحقیقات طلاگر و همکاران (۲۹) نشان داد که با کاربرد نانوذرات روی در گیاه سیر با افزایش غلظت نانوروی از ۱۰ به ۵۰ میلی‌گرم در لیتر طول ریشه کاهش می یابد. هونگ و همکاران (۱۱) در بررسی نانو اکسید تیتانیوم در جلوگیری از پیری کلروپلاست اسفناج در شرایط نوری مشاهده کردند که نانوتیتانیوم باعث بهبود فتوسنتز و رشد گیاه اسفناج می‌شود، این محققین دلیل این امر را افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مثل سوپراکسیداز دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز و در نتیجه کاهش رادیکال‌های اکسیژن فعال بیان کردند (۱۱). نتایج تحقیقات یانگ و همکاران (۳۰) نشان داد که با کاربرد تیتانیوم و نانوتیتانیوم در اسفناج، نانوتیتانیوم باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه نسبت به کاربرد تیتانیوم می‌شود. پیوندی و همکاران (۲۳) در تحقیق خود در بررسی کود آهن نانو وغیرنانو در ریحان بیان کردند که کود آهن تهیه شده از فناوری نانو در غلظت‌های کمتر از آهن معمولی باعث افزایش رشد کمی و کیفی ریحان شود. افزایش عملکرد میوه، تعداد میوه، طول و عرض میوه بادمجان در اثر اعمال تیمار نانوذرات آهن توسط بزرگی (۳) نیز گزارش شده است. در این تحقیق نیز کاهش اثرات تنش شوری بوسیله کلسیم مشاهده شد اما نانوکلسیم اثرات کمتری نسبت به کلسیم داشت و احتمالا علت این امر را می‌توان غلظت‌های نانوکلسیم مورد استفاده دانست که استفاده از غلظت‌های کمتر در تحقیقات آینده جهت دست یافتن به غلظت‌های مناسب احتمالی پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری

استفاده از نانوکلسیم برای کاهش تنش شوری برای اولین بار در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفته شد، نتایج این آزمایش نشان داد که به‌طورکلی کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم برلیتر کلسیم بر بسیاری از صفات گوجه‌فرنگی نظیر وزن تر ریشه و شاخساره، طول ریشه و شاخساره و حجم ریشه تحت تنش شوری خصوصا شوری شدید (۵۰ میلی مولار کلرید سدیم) مؤثر بود. مقایسه اثرکلسیم ونانوکلسیم نشان داد کوچک‌ترشدن اندازه ذرات (شعاع اتمی کلسیم ۱۸۰ pm و شعاع یونی آن ۱۱۴pm در مقایسه با اندازه ۲۰ تا ۳۵ نانومتر، نانو کلسیم) اثر بارزی برتعدیل تنش شوری نسبت به کلسیم نداشت و شاید علت را غلظت‌های مورد استفاده نانوکلسیم دانست بنابراین در زمینه استفاده از نانوکلسیم و سایر مواد نانو و همچنین تعیین غلظت مناسب مواد نانو نیاز به تحقیقات بیشتری است.

منابع

1- Astaraei A., and Forouzan Ghohar M. 2000. Effect of calcium ion on germination and seeding growth of lentil (*Lens Culinaris* Medik) in different levels of salinity. Biaban, 5(2): 37-46. (In Persian)
2- Babu M.A., Singh D., and Gothandam M. 2012. The effect of salinity on growth, hormones and mineral elements in leaf and fruit of tomato cultivar PKM1. Journal of Applied Pharmaceutical Science, 22(1): 159-164.
3- Bozorgi H.R. 2012. Effects of foliar spraying with marine plant *Ascophyllum nodosum* extract and nano iron chelate fertilizer on fruit yield and several attributes of eggplant. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science, 7(5): 357-361.
4- Busch D.S. 1995. Calcium regulation in plant cell and its role in signaling. Annual Review of Plant Physiology Journal, 46: 95-102.
5- Fahimi H., and Haji Boland R. 1996. Responses of barley plants to effects of sodium-calcium in saline conditions. Journal of Science, University of Tehran, 22(1): 43-56. (In Persian)
6- Gahani S., Lahooti M., and Abbasi F. 2011. Effect of Na^{+}- Ca^{+2} interactions on changes in soluble sugars and chlorophyll meter in barley (*Hordeum vulgare* L. cv. Reyhan). First National Conference on Sustainable Agricultural Sustainability Strategies. Payame Noor University of Khuzestan Province. Khordad. 1390.
7- Goorgi M., Zahedi M., and Khoshgoftarmanesh A.H. 2010. Effect of potassium and calcium on safflower response to salinity due to sodium chloride in aquatic environment. Journal of Agricultural Science and Technology. Water

www.SID.ir

Archive of SID

and Soil Science, 14(53): 1-7. (In Persian)
8- Hajer A.S., Malibari A.A., Al-Zahrani H.S., and Almaghrabi O.A. 2006. Responses of three tomato cultivars to sea water salinity I. Effect of salinity on the seedling growth. African Journal of Biotechnology, 5: 855-861.
9- Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.M., and Bohnert H.J. 2000. Plant cellular and molecular responses to highsalinity. Annual Review of Plant Physiology, 51: 463-499.
10- Hawkins H.J., and Lewis O.A.M. 1993. Combination effect of sodium chloride salinity, nitrogen and calcium concentration on the growth: Ionic content and gaseous exchange properties of *Tritium aestivum*. L. C.V. Gamtoos. New Phytology, 124: 167-170.
11- Hong F.S., Yang F., Ma Z.N., Zhou J., Liu C., Wu C., and Yang P. 2005. Influences of nano-TiO_2 on the chloroplast ageing of spinach under light. Biology Trace Element Research, 104: 249–260.
12- Hossain M.M., and Nonami H. 2012. Effect of salt stress on physiological response of tomato fruit grown in hydroponic culture system. Horticulture Science, (Prague) 39(1): 26–32.
13- Khodakovskaya M., Dervishi E., Mahmood M., Xu Y., Li Z., Watanabe F., and Biris A.S. 2009. Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. ACS Nano, 3: 3221–3227.
14- Khoshgoftarmanesh A.H. 2010. Advanced concepts in plant nutrition. Isfahan University of technology press. 269..(In Persian)
15- Li Y. 2009. Physiological Responses of Tomato Seedlings (*Lycopersicon esculentum)* to Salt Stress. Modern Applied Science, 3(3): 171-176.
16- LopezaV., and Sattia S.M.E. 1996. Calcium and potassium-enhanced growth and yield of tomato under sodiumchloride stress. Plant Science, 114: 19–27.
17- Lu C.M., Zhang C.Y., Wen J.Q., Wu G.R., and Tao M.X. 2002. Research of the effect of nanometer materials on germination and growth enhancement of *Glycine max* and its mechanism. Soybean Science, 21: 168–172.
18- Mazloomi F., Ronaghi A., and Karimian1 N. 2011. Influence of salinity and supplementary calcium on vegetative growth, fruit yield and concentration of some nutrients in hydroponically-grown strawberry. Science and Technology of Greenhouse Crops, 2(2):51-63. (In Persian)
19- Mirzai S., Rahimi A., DashtiH., and Madah HosseiniSh. 2012. Ameliorating effect of using Calcium and Potassium in ammi. Iranian Journal of Agricultural Research, 10(1):189-197. (In Persian)
20- Mokhtari A., Abrisham Chi P., and Ganjali A. 2008. Effect of Calcium on improvement of salinity-induced damage on tomato seed germination (*Lycopersicon esculentom* L.). Journal of Agricultural Sciences and Technology. Special for Horticulture Sciences, 1(22): 189-199. (In Persian)
21- Mozafari M., and Kalantari Kh. 2005. The effect of Calcium ion on changes growth, accumulation of nutrient elements and electrophoretic pattern of polypeptides in *Descurainia sophia* under salt stress. Iran Biology Magazine, 18(1): 24-35. (In Persian)
22- Mozafarian M., Afifipor Z., and Haghighi M. 2011. Effect silicon and nano silicon on tomato seed priming. New Technology in Agriculture Congress. Zanjan University. 496-498. (In Persian)
23- peyvandi M., Parande H., and Mirza M. 2011. Comparison of Nano Fe chelate with Fe chelate effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *Ocimum basilicum*. New Cellular and Molecular Biotechnology Journal. NCMBJ, 1(4): 89-98. (In Persian)
24- Renault S. 2005. Response of red osier dogwood (*Cornus stolonifera*) seedlings to sodium sulphate salinity: effects of supplemental calcium. Physiological Plantarum, 123: 75–81.
25- Ritchie S.W., and Nguyen H.T. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science, 30: 105-111.
26- Sadeghi Lotfabadi S., Kafi M., and Khazai H.R. 2010. Effects of Calcium, Potassium and Method of Application on Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Morphological and Physiological Traits in the Presence of Salinity. Journal of Water and Soil, 24(2): 385-393. (In Persian)
27- Sairam R.K., and Srivastava G.C. 2001. Water stress tolerance of wheat *Triticum aestivum* L.: Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotype. Journal of Agron Crop Science, 186: 63-70.
28- Sorooshzadeh A., and Amin Panah H. 2005. The effect of Calcium Nitrate on Sodium and Potassium distribution in seedlings of rice under saline conditions. Iran Biology Magazine, 18(2): 92-100. (In Persian)
29- Talgar S., Jianxiu G., Changshan X., ZhikunY., Qing Z., Yuxue L., and Liu Y. 2011. Phytotoxic and genotoxic effects of ZnO nanoparticles on garlic (*Allium sativum* L.): A morphological study. Nanotoxicology, 1: 1–8.
30- Yang F., Hong F.S., You W.J., Liu C., Gao F., Wu Q., and Yang P. 2006. Influences of nano-anatase TiO_2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Journal of Biological and Environmental Sciences, 110: 179–190. (In Persian)
31- Yarnia M., Heidari Sharifabad H., and Rahimzadeh Khouei F. 2005. Effect of calcium carbonate on salinity resistance of alfalfa cultivars. Journal of Modern Agricultural Science, 1(2): 9-21.
32- Zhu H., Han J., Xiao Q., and Jin Y. 2008. Uptake, translocation and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. Journal Environment Monitoring, 10: 713–717.

www.SID.ir

Journal of Horticultural Science
Vol. 32, No. 4, Winter 2019, p. 507-518
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص. ۵۱۸-۵۰۷
شاپا: ۴۷۳۰-۲۰۰۸

Effect of Ca and Nano-Ca Spray on Reducing the Effects of Salinity Stress on Tomato at Vegetative Growth Stage in Hydro culture

M.Haghighi[1*]- B. Naghavi[2]

Received: 28-10-2016
Accepted: 10-11-2018

Introduction: Salinity has deleterious effect through ion toxicity and changes nutrient balance on plant growth parameter. For decreasing the hazardous effect of salinity stress, some effort has done to reduce uptake and accumulation of Na. Adding of Ca decreased these deleterious effect of salinity. Calcium ions have significant effects on the physiological processes of plants and improve the morphological and biochemical factors of plants under salinity stress. The effect of calcium on reducing the harmful impacts of salinity from sodium depends on the plant type, calcium concentration and sodium source. Recently, the addition of nanoparticles to plants as fertilizers has attracted the attention of researchers because of its unpredictable effects, such as faster and easier penetration into the membrane of the cell. A few studies have examined the effect of different nanoparticles on the growth and physiology of plants. So, a research was conducted to investigate the effects of salinity and supplemental calcium in the form of spraying into two metal and nano-metal forms on vegetative growth of tomato plants under crop cultivation conditions.

Materials and Methods: To study the effect of $CaCl_2$ and Nano-Ca on tomato (*Lycopersicon escuhentum* var. Falcato), a factorial experiment based on completely randomized design (CRD) with 4 replicates was designed with NaCl (0, 25 and 50 mM) and Ca and N-Ca (0, 150 and 200 mg/l) in Isfahan University of Technology greenhouse. Indicators include chlorophyll index, relative water content, ion leakage, leaf water potential, root and shoot dry weights, root and shoot length and root volume were measured. Finally, the analysis of the results was done by statistical statistic software and comparing the meanings by LSD test at 5% level.

Result and Discussion: Results showed that Ca and Nano-Ca was effective on decreasing hazardous effect of salinity on fresh and dry weight of shoot and root volume and Ca was more effective than Nano-Ca. In high salinity level (50mM NaCl), application of 150 mg/l Ca increased fresh and dry weight of root, fresh weigh of shoot and root volume by 60, 63, 50 and 70 % compare to control ,respectively. As well as, the highest root length and shoot was observed in this treatment. Application of 200 mg/l calcium and 150 mg/l of nano-calcium significantly improved chlorophyll content in 50 mM sodium chloride treatment. The plant's compatibility mechanism is very complex in the salinity conditions, from reasons for the growth of the plant under saline conditions are the accumulation of toxic ions, chlorine and sodium in plant tissues, which reduces enzyme activity and changes the pattern of carbohydrate distribution. Loss of the fresh and dry weight shoots and root of tomato has been reported in salinity conditions, which can be attributed to reduce plant growth due to the decrease in leaf area growth and thus the reduction of photosynthesis and the production of proteins. There is little research on the use of nanoparticles in plant growth and the use of nano-calcium has been used to reduce salinity stress for the first time, but the beneficial effects of some nano-materials on plants have been proven. With the use of titanium and nano-titanium in spinach, nano-titanium increases the fresh and dry weight of the plant relative to the use of titanium. In this study, the effects of calcium salinity stress were observed, but nano-calcium had less effects than calcium, and probably due to the fact that the concentrations of nano-calcium were used, using less concentrations in future research to achieve possible concentrations are suggested.

Conclusions: The use of nano-calcium to reduce salt stress was used for the first time in this experiment. The results of this experiment showed that the application of 150 mg calcium per liter on many tomato traits such as root and shoot fresh weight, root length shoots and root volume were effective under salinity stress, especially intense

1 and 2- Assistant Professor and Former B.SC Student, Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan
(*- Corresponding Author Email: mhaghighi@cc.iut.ac.ir)

www.SID.ir

Archive of SID

salinity (50 mM sodium chloride). The comparison of the effects of calcium and nano-calcium showed that the particle size reduction hadn’t shown a significant effect on calcium salt modification and may be due to the concentrations of nano-calcium. Therefore, nanotechnology needs more research in the application of nano-calcium and other nano-materials. Ca also alleviated the hazardous effects of salinity but comparing Ca and nano-Ca showed that nano-Ca has not significant alleviating effect on salinity stress.

Keywords: Chlorophyll content, Membrane stability index, Relative water content, Root volume

www.SID.ir