نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و یکم، شماره دوم، ۱۳۹۳
http://jopp.gau.ac.ir

بررسی تأثیر کلسیم در بهبود آسیب‌های ناشی از تنش شوری در گیاه گوجه فرنگی

جواد طباطبائیان*
استادیار گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اردستان
تاریخ دریافت: ۹۲/٤/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/٤

چکیده

کاهش رشد محصولات زراعی از مهم‌ترین تبعات شوری می‌باشد و در این شرایط یون‌های سدیم و کلر در اندام هوایی و ریشه‌ها افزایش یافته این در حالی است که یون‌های پتاسیم و کلسیم کاهش می‌یابد. یکی از سازوکارهای ایجاد سازگاری با تنش شوری حضور یون کلسیم بوده که موجب بهبود عوارض نامطلوب به‌دست آمده از شوری می‌شود. با حفظ مقدار مناسب یون کلسیم در خاک، شدت سمیت یون سدیم کنترل می‌شود. در این پژوهش تأثیر سه محلول غذایی مختلف شامل کلریدسدیم با غلظت ۰، ۳۰، ٦۰ و ۹۰ میلی‌مولار، کلرید کلسیم با غلظت ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌مولار و کلرید سدیم به‌علاوه کلرید کلسیم به‌ترتیب با همان غلظت‌ها بر دو رقم گوجه‌فرنگی به نام‌های ارلی فلات و مورال آمریکایی کشت شده به‌صورت هیدروپونیک در گلدان‌های شامل کوکوپیت بررسی شد. در مرحله رشد رویشی محتوای نسبی آب بافت، پایداری غشاء سیتوپلاسمی و غلظت کلروفیل برگ و پس از برداشت وزن خشک ریشه و شاخساره اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که افزایش شوری موجب کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب بافت، پایداری غشاء سیتوپلاسمی و غلظت کلروفیل برگ شد. عملکرد وزن خشک ریشه و شاخساره نیز با افزایش شوری کاهش یافت به‌طوری‌که همه صفات در غلظت ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم کم‌ترین مقدار بود. همچنین نتایج نشان داد شرایط رشد در محلول‌های کلرید کلسیم و کلرید کلسیم به‌علاوه کلرید سدیم بهتر شد چنان‌که کلرید کلسیم در غلظت ۱۰ میلی‌مولار تأثیر معنی‌داری بر بهبود آسیب‌های ناشی از تنش شوری دارد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، رشد، گوجه‌فرنگی، کلرید سدیم، کلرید کلسیم

---

* مسئول مکاتبه: taba805@gmail.com

مقدمه

شوری آب و خاک از موانع مهم گسترش کشاورزی در بیش‌تر نقاط جهان بوده به‌طوری‌که پس از خشکی، شوری مهم‌ترین و متداول‌ترین تنش محیطی در سطح جهان و از جمله ایران است. بر طبق آمار موجود، سطح کل خاک‌های شور در ایران حدود ٤٤ میلیون هکتار تخمین زده می‌شود که حدود ۳۰ درصد مساحت دشت‌ها و متجاوز از ۵۰ درصد اراضی تحت کشت آبی کشور است (کوشافر و همکاران، ۲۰۱۱). استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی، مدیریت نادرست کشت و کار و آبیاری نامناسب باعث تشدید روند گسترش مناطق شور شده است.

انتخاب گیاهان متحمل به شوری، اصلاح نژاد ارقام برای افزایش تحمل به شوری، مدیریت تغذیه‌ای مناسب در شرایط شور اقداماتی هستند که برای افزایش کارآیی فیزیولوژیک گیاه در شرایط تنش شوری گیاه مورد توجه می‌باشد (ایکوبال و همکاران، ۲۰۰٦). از سوی دیگر، مدیریت مناسب مراحل مختلف کاشت و داشت محصول شامل بسترسازی، وضعیت قرارگیری بذر در خاک، سیستم کاشت، مدیریت آبیاری و آبشویی و سایر جنبه‌های مدیریت زراعی نیز در کاهش اثرهای شوری بر تولید و به حداقل رساندن شدت تنش در گیاه برای دست‌یابی به عملکرد اقتصادی و تولید پایدار در شرایط شور ضروری است. شولی (۲۰۱۲) نشان دادند که در خاک‌های شور، مصرف مقادیر بالاتر Ca^{2+} موجب افزایش تحمل گیاه به شوری و افزایش عملکرد آن می‌شود. علیزاده (۲۰۰۵) تنش شوری را در تمام مراحل رشد گیاه مؤثر می‌داند. البته ممکن است حساسیت گیاه در یک مرحله از رشد با مرحله دیگر متفاوت باشد.

مطالعات مختلف نشان داده است که کاربرد کلسیم موجب کاهش اثرهای منفی شوری در گیاهان می‌شود. گراتان و گریو (۱۹۹٤) بیان کردند افزایش سطح کلسیم گیاهان را از سمیت کلرید سدیم محافظت می‌کند. گریجا و همکاران (۲۰۰۲) اشاره کردند که در محیط درون سلول، کلسیم به‌عنوان پیک ثانویه عمل کرده و با تأثیرگذاری بر روی پایداری و فعالیت آنزیم‌ها، شرایط تنش را تعدیل می‌کند. دست‌یابی به یک غلظت بهینه از یون کلسیم برای بالا بردن مقاومت گیاه دارای اهمیت است. کلسیم یکی از عناصری می‌باشد که دارای اثرات حفاظتی بر روی ریشه گیاهان بوده و باعث بقای گیاه در شرایط شوری بالا می‌شود. کوشافر و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند یکی از ایده‌های موجود برای استفاده از آب‌های شور، توزیع غیر یکنواخت شوری در محیط کشت گوجه‌فرنگی و اعمال شوری‌های موضعی و یک‌طرفه است. در سیستم‌های توزیع غیر یکنواخت نمک، افزودن پتاسیم و

کلسیم به محلول شور در نیمی از محیط ریشه می‌تواند از طریق بهبود نسبت کلسیم و پتاسیم به سدیم، به کاهش خسارت شوری کمک کند. مختاری و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که یکی از راهبردهای مناسب برای غلبه بر تنش شوری گیاهان گوجه‌فرنگی، بهره‌گیری از محافظت‌کننده‌های اسمزی اصلی از جمله پرولین و قندهای محلول، مقاومت به شوری را بالا برده و این ترکیبات در تعادل با یکدیگر نقش مهمی را در سازگاری گیاه با تنش شوری دارند. استفاده از نمک‌های کلسیم با اصلاح شرایط تغذیه‌ای (کاهش میزان سدیم و افزایش مقدار پتاسیم) و رشد گیاه، نیاز به مشارکت سایر سازوکارهای حفاظتی رایج در سلول، مانند سنتز اسمولیت‌ها را کاهش می‌دهد.

جلیل و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که 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. براساس مدل ماس و هافمن (۱۹۹۷) حد آستانه تحمل به شوری گوجه‌فرنگی بین ۲/۵–۲ دسی‌زیمنس بر متر بوده و کاهش عملکرد ۱۰–۹ درصد به‌ازای هر واحد افزایش شوری بالاتر از حد آستانه اتفاق می‌افتد. میرعبدلباقی و پیش‌بین (۲۰۱۲) بیان کردند میزان کاهش عملکرد محصولات زراعی در اثر شوری براساس گونه متغیر می‌باشد. این پژوهش‌گران همچنین نشان دادند که درصد کاهش عملکرد گوجه‌فرنگی در ۲/۵، ۳/۵ و ۷/٦ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۰، ۱۰ و ۵۰ می‌باشد. در این پژوهش تأثیر یون کلسیم در پایداری غشاء و دیواره سلولی گیاه گوجه‌فرنگی در برابر تنش شوری، بررسی اثرات مثبت و منفی کلرید کلسیم بر روی وزن خشک شاخساره، ریشه و شرایط رشد گیاه و تغییرات غلظت کلرید سدیم از طریق کاربرد کلرید کلسیم در جهت کاهش اثرات مخرب شوری ارزیابی گردید.

مواد و روش‌ها

بذور گوجه‌فرنگی ارقام ارلی‌فلات و مورال آمریکایی در اوایل شهریورماه ۱۳۹۰ در سینی نشاء با بستر پیت‌ماس (Peat mass) کاشته شد. نشاءهای به‌دست آمده در مرحله ۵–٤ برگی به بستر گلدان‌های اصلی نگهدارنده با حجم ۱۰ لیتر و شامل بستر کوکوپیت (Coco Peat) و پرلیت (Perlite) (با نسبت حجمی ۱ به ۱) منتقل شدند. این پژوهش در یک دوره ۷۰ روزه با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه محلول (کلرید سدیم، کلرید کلسیم و کلرید سدیم به‌علاوه کلرید کلسیم)، چهار غلظت (کلرید سدیم با غلظت ۰، ۳۰، ٦۰ و ۹۰

میلی‌مولار و کلرید کلسیم با غلظت ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌مولار)، در ۳ تکرار در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان اجرا شد. اعمال تیمارها ۲ هفته بعد از انتقال نشاء صورت پذیرفت و تا آن زمان همه تیمارها با محلول غذایی جانسون با هدایت الکتریکی ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری شدند (التز و همکاران، ۲۰۰۲). این آزمایش در دو بخش انجام گرفت. در بخش اول سه محلول شوری (کلرید سدیم، کلرید کلسیم و کلرید سدیم به‌علاوه کلرید کلسیم) با غلظت‌های مختلف (جدول ۱) در مرحله رشد رویشی گیاه استفاده شد و صفات وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره، محتوای نسبی آب بافت، پایداری غشاء و غلظت کلروفیل برگ پس از ۸ هفته اندازه‌گیری شد (کوشافر و همکاران، ۲۰۱۱). در بخش دوم برای اندازه‌گیری غلظت عناصر برگ‌ها گلدان‌هایی که از غلظت‌های ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار از محلول کلرید سدیم و از محلول‌های $NaCl_{30} + CaCl_{2,10}$ ، $NaCl_{60} + CaCl_{2,20}$ و $NaCl_{90} + CaCl_{2,30}$ تغذیه می‌شدند، نمونه‌برداری شد. ابتدا برگ‌های برداشت شده با استفاده از آب مقطر تمیز و خشک شده و سپس تا رسیدن به وزن ثابت در خشک‌کن هواکش‌دار در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. به‌منظور اندازه‌گیری غلظت عناصر ۱ گرم از نمونه خشک پودرشده به بوته‌چینی ۲۵ میلی‌لیتری منتقل شد. دمای کوره الکتریکی در ۵۵۰ درجه سلسیوس تنظیم شده و نمونه‌ها به‌مدت ٤ ساعت داخل کوره قرار داده شدند. بعد از خنک شدن نمونه، ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال به نمونه اضافه شد و روی گرمکن به آرامی حرارت داده شد تا زمانی که نیمی از اسید تبخیر شد. محلول تهیه شده از کاغذ صافی عبور داده شده و عصاره صاف شده در بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری جمع‌آوری شد. سپس با آب مقطر، حجم نهایی عصاره به ۵۰ میلی‌لیتر رسید (کوشافر و همکاران، ۲۰۱۱). مقدار عناصر معدنی کلر، سدیم و کلسیم موجود در نمونه‌ها از طریق دستگاه جذب اتمیک (مدل AA200 ساخت کشور مالزی تحت لیسانس شرکت Pekin Elmer آمریکا) اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- سطوح مختلف کلرید سدیم و کلسیم در محلول غذایی.

تیمار	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
غلظت نمک	$NaCl_{30}$	$CaCl_{2,10}$	$NaCl_{30} + CaCl_{2,10}$	$NaCl_{60} + CaCl_{2,10}$	$NaCl_{90} + CaCl_{2,10}$
	$NaCl_{60}$	$CaCl_{2,20}$	$NaCl_{30} + CaCl_{2,20}$	$NaCl_{60} + CaCl_{2,20}$	$NaCl_{90} + CaCl_{2,20}$
	$NaCl_{90}$	$CaCl_{2,30}$	$NaCl_{30} + CaCl_{2,30}$	$NaCl_{60} + CaCl_{2,30}$	$NaCl_{90} + CaCl_{2,30}$

S_1: نماین‌گر کلرید سدیم، S_2: نماین‌گر کلرید کلسیم و S_3: نماین‌گر کلرید سدیم + کلرید کلسیم.

اندیس هر یک از محلول‌ها نماین‌گر مقدار میلی‌مولار شوری می‌باشد. در تیمارهای مختلف سطوح مختلف کلرید سدیم و کلسیم به محلول غذایی پایه (جانسون استاندارد) افزوده شد.

تعیین محتوای نسبی آب بافت: به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب از رابطه زیر استفاده شد. در این رابطه W_f: وزن بافت تر برگچه‌های انتهایی هر بوته (گرم)، W_t: وزن بافت متورم شده برگچه‌ها (گرم) پس از ۲۰ ساعت قرار گرفتن در آب مقطر و دمای ۵ درجه سانتی‌گراد یخچال و W_d: وزن بافت خشک شده گیاه (گرم) پس از ٢٤ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون می‌باشد (امان و ریاد، ۲۰۱۳).

$$RWC(\%) = [(W_f - W_d)/(W_t - W_d)] \times ۱۰۰$$

تعیین پایداری غشاء سیتوپلاسم: برای اندازه‌گیری پایداری غشاء سیتوپلاسمی تعداد ۱۰ عدد دیسک به قطر ۷ میلی‌متر به شکل دایره از برگ‌های وسط بوته‌ها که هم‌اندازه و یکسان بودند، نمونه تهیه شده و در داخل شیشه‌های درپوش‌دار شامل ۱۰ سی‌سی آب مقطر به‌مدت ۲۰ ساعت در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. در نهایت میزان پایداری غشاء سیتوپلاسمی به‌وسیله دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی اندازه‌گیری شد (امان و ریاد، ۲۰۱۳).

تعیین غلظت کلروفیل کل: برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل کل برگ بافت از دستگاه کلرفیل‌سنج دستی SPAD استفاده شد.

تجزیه آماری: داده‌ها ابتدا توسط نرم‌افزار MSTAT-C تجزیه واریانس شدند و سپس میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال خطای ۱ درصد مقایسه شدند. شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

عملکرد وزن خشک شاخساره: وزن خشک شاخساره در محلول کلرید سدیم در مقایسه با محلول‌های کلرید کلسیم و کلرید کلسیم به‌علاوه کلرید سدیم کم‌تر بود. به‌طوری‌که وزن خشک شاخساره در غلظت ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌میزان ۳۰ گرم و کم‌ترین مقدار بود (جدول ۲). کارترو و فرناندز (۱۹۹۹) نیز کاهش رشد ساقه و برگ ارقام مختلف گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری را گزارش کردند. البته میزان کاهش رشد ساقه نسبت به برگ کم‌تر بود. با افزایش غلظت نمک در هر سه محلول وزن خشک شاخساره کاهش معنی‌داری نشان داد. در این شرایط وزن خشک شاخساره در رقم ارلی فلات در غلظت‌های بالای شوری بیش‌تر بود (جدول ۲). بنابراین ملاحظه می‌شود رقم ارلی فلات با داشتن وزن خشک بیش‌تر از رقم مورال سازگاری بیش‌تری به تنش شوری داشت. همچنین

نتایج نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک شاخساره (۸۵ گرم) در غلظت ۱۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم مشاهده شد بنابراین این نتیجه نشان می‌دهد که وجود کلسیم در محلول غذایی توانست شدت تنش شوری را کاهش دهد. گراتان و همکاران (۱۹۹٤) بیان کردند افزایش سطح کلسیم گیاهان را از سمیت کلرید سدیم محافظت می‌کند.

عملکرد وزن خشک ریشه: عملکرد وزن خشک ریشه در ارقام مختلف متفاوت بود به‌طوری‌که وزن خشک ریشه در رقم ارلی فلات در مقایسه با مورال در غلظت‌های مختلف کلرید سدیم و کلرید کلسیم بیش‌تر بود (جدول ۲). غلظت‌های مختلف کلرید سدیم نسبت به کلرید کلسیم و کلرید کلسیم به‌علاوه کلرید سدیم، وزن خشک ریشه را بیش‌تر تحت‌تأثیر قرار داده و کاهش بیش‌تری را نشان داد. حد بالای تحمل به شوری از نظر کاهش زیست‌توده ریشه، بین ٦-٤ دسی‌زیمنس بر متر بر آورد شده است (یانگ و همکاران، ۲۰۰۳). در این آزمایش غلظت ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم دارای شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بود. وزن خشک ریشه در همه سطوح کلرید سدیم که با غلظت ۱۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم مخلوط شده بود در مقایسه با غلظت‌های دیگر بیش‌تر بوده و کلرید کلسیم باعث تعدیل شوری کلرید سدیم شد. کلسیم یکی از عناصری می‌باشد که در صورت غلظت مناسب دارای اثرات حفاظتی روی ریشه و ساقه گیاهان بوده و باعث بقای گیاه در شرایط شور می‌شود (کاینس و شنان، ۱۹۹۹).

محتوای نسبی آب: محتوای نسبی آب بافت در رقم ارلی فلات در تمام غلظت‌های محلول‌های شامل کلرید کلسیم در مقایسه با محلول‌های دیگر بیش‌تر بود در حالی‌که محتوای نسبی آب بافت در رقم مورال آمریکایی در محلول‌های شامل سدیم کلرید کم‌ترین بودند (جدول ۲). رقم ارلی فلات با داشتن بیش‌ترین محتوای نسبی آب سازگاری بیش‌تری به تنش شوری نشان داد. کم‌ترین محتوای نسبی آب بافت در محلول‌های غذایی شامل کلرید سدیم و بیش‌ترین آن در محلول‌های غذایی شامل کلرید کلسیم مشاهده شد. افزایش غلظت نمک در سلول‌های گیاهی منجر به کاهش پتانسیل آب برگ و محتوای نسبی آب بافت می‌شود و بین کاهش محتوای نسبی آب بافت و افزایش غلظت کربوهیدرات ارتباط وجود دارد (کاینس و شنان، ۱۹۹۹).

با افزایش غلظت محلول کلرید کلسیم میزان محتوای نسبی آب بافت افزایش یافت. به‌طوری‌که در محلول صفر میلی‌مولار کلرید سدیم و کلرید کلسیم (شاهد) میزان محتوای نسبی آب بافت کم‌ترین (۸۵ درصد) و در محلول صفر میلی‌مولار کلرید سدیم و ۳۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم میزان محتوای آب بافت در ارقام ارلی فلات و مورال به‌ترتیب ۹۱ و ۹۲ درصد بود (جدول ۲). اگرچه با افزایش کلرید کلسیم به محلول غذایی شامل کلرید سدیم نیز در غلظت‌های مختلف، تأثیر منفی سدیم بر

محتوای نسبی آب بافت تا حدودی تعدیل شد. به‌طوری‌که در غلظت ۱۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم محتوای نسبی آب بافت در تمام سطوح کلرید سدیم بیش‌تر بود (جدول ۲). بنابراین ملاحظه می‌شود که کلسیم در محلول‌های غذایی می‌تواند باعث افزایش محتوای نسبی آب بافت شود.

جدول ۲- تأثیر غلظت‌های مختلف شوری بر وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره، محتوای نسبی آب، پایداری غشاء و کلروفیل برگ در ارقام مختلف گوجه‌فرنگی.

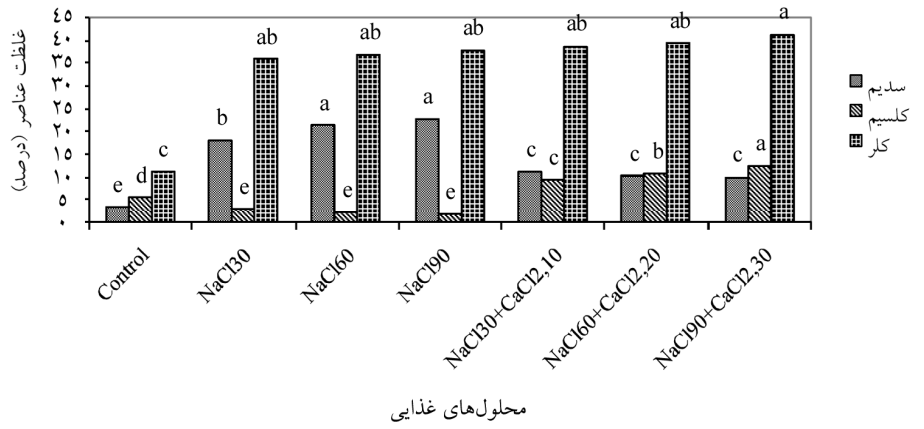
ویژگی	غلظت کلرید سدیم (میلی‌مولار)	رقم مورال آمریکایی				رقم ارلی فلات			
		غلظت کلرید کلسیم (میلی‌مولار)				غلظت کلرید کلسیم (میلی‌مولار)			
		۰	۱۰	۲۰	۳۰	۰	۱۰	۲۰	۳۰
وزن خشک ریشه (گرم)	۰	۳۰^{b}	۴۰^{a}	۲۵^{bc}	۱۰^{d}	۳۰^{bc}	۴۵^{a}	۲۸^{bc}	۱۲^{de}
	۳۰	۱۸^{c}	۳۰^{b}	۲۲^{bc}	۱۲^{d}	۳۰^{bc}	۴۰^{ab}	۲۵^{c}	۱۷^{d}
	۶۰	۱۳^{d}	۲۰^{c}	۱۵^{cd}	۱۰^{d}	۱۷^{d}	۳۵^{b}	۱۵^{d}	۱۰^{de}
	۹۰	۴^{e}	۱۵^{cd}	۱۰^{d}	۱۳^{d}	۱۰^{de}	۱۹^{cd}	۱۳^{d}	۱۰^{de}
وزن خشک شاخساره (گرم)	۰	۷۰^{bc}	۸۵^{a}	۵۰^{de}	۴۲^{ef}	۶۵^{b}	۸۰^{a}	۴۲^{e}	۳۶^{ef}
	۳۰	۶۶^{b}	۸۲^{a}	۴۱^{ef}	۳۵^{f}	۶۲^{b}	۷۵^{ab}	۳۵^{ef}	۲۰^{g}
	۶۰	۴۳^{ef}	۴۵^{e}	۲۵^{g}	۲۰^{gh}	۳۰^{f}	۴۰^{e}	۳۶^{ef}	۳۰^{f}
	۹۰	۲۵^{g}	۳۰^{fg}	۲۲^{gh}	۲۰^{gh}	۲۷^{fg}	۳۵^{ef}	۳۰^{f}	۲۹^{f}
محتوای نسبی آب (درصد)	۰	۸۵^{ab}	۸۵^{ab}	۸۸^{a}	۹۱^{a}	۸۵^{ab}	۸۶^{ab}	۹۱^{a}	۹۲^{a}
	۳۰	۷۸^{b}	۸۰^{b}	۷۵^{bc}	۷۰^{c}	۸۲^{b}	۸۳^{b}	۸۰^{b}	۷۷^{bc}
	۶۰	۷۵^{bc}	۷۶^{bc}	۷۶^{bc}	۶۹^{c}	۸۱^{b}	۸۴^{ab}	۷۷^{bc}	۸۰^{b}
	۹۰	۶۷^{cd}	۷۰^{c}	۷۲^{c}	۷۳^{c}	۶۸^{c}	۷۵^{bc}	۷۳^{c}	۷۴^{bc}
پایداری غشاء (میکروموس بر سانتی‌متر)	۰	۴۵۰^{e}	۳۶۶^{g}	۴۱۶^{f}	۴۸۶^{d}	۴۵۰^{g}	۴۸۶^{f}	۶۸۳^{bc}	۶۲۷^{cd}
	۳۰	۴۹۵^{d}	۳۷۱^{fg}	۴۰۰^{f}	۴۹۵^{d}	۵۶۴^{e}	۵۰۵^{f}	۵۸۵^{d}	۶۳۰^{cd}
	۶۰	۶۰۹^{b}	۵۰۰^{d}	۴۰۴^{f}	۵۲۰^{cd}	۶۵۴^{c}	۶۳۰^{cd}	۶۲۰^{cd}	۶۷۰^{bc}
	۹۰	۶۵۲^{a}	۵۵۰^{c}	۵۸۰^{bc}	۵۸۵^{bc}	۷۴۴^{a}	۶۵۰^{c}	۶۷۰^{bc}	۶۸۰^{bc}
کلروفیل برگ (درصد)	۰	۵۵^{a}	۵۵^{a}	۴۸^{b}	۴۳^{c}	۵۰^{a}	۵۲^{a}	۴۷^{b}	۳۸^{c}
	۳۰	۴۵^{c}	۴۷^{c}	۴۲^{d}	۴۰^{d}	۴۶^{b}	۴۸^{ab}	۴۵^{b}	۴۰^{c}
	۶۰	۴۰^{d}	۴۲^{d}	۴۴^{c}	۳۹^{d}	۴۰^{c}	۴۲^{c}	۴۴^{b}	۳۹^{c}
	۹۰	۳۰^{f}	۳۵^{e}	۳۸^{d}	۴۲^{d}	۳۶^{d}	۴۰^{c}	۴۲^{c}	۳۰^{e}

پایداری غشا سیتوپلاسمی: مقایسه میانگین پایداری غشا سیتوپلاسمی ارقام مختلف، نشان داد که در همه محلول‌های غذایی پایداری غشا در رقم مورال در مقایسه با رقم ارلی فلات بیش‌تر بود. بنابراین مقاومت رقم مورال به افزایش پتانسیل اسمزی بیش‌تر بوده چون تراوش‌های سلولی در ارلی فلات بیش‌تر از مورال بود. همچنین بیش‌ترین تراوش‌های سلولی در محلول غذایی شامل کلرید سدیم با غلظت ۹۰ میلی‌مولار به مقدار ۷٤٤ میکروموس بر سانتی‌متر در رقم ارلی فلات مشاهده شد (جدول ۲). بنابراین افزایش غلظت نمک در سلول‌های گیاهی منجر به افزایش تراوش‌های سلولی و کاهش پایداری غشاء بافت می‌شود. نتایج نشان داد که کم‌ترین مقدار تراوش‌های بافت سلولی (۳٦٦ میکروموس بر سانتی‌متر) مربوط به محلول غذایی کلرید کلسیم با غلظت ۱۰ میلی‌مولار در رقم مورال بود. بنابراین تراوش‌های سلولی در محلول غذایی شامل کلرید کلسیم به‌طور معنی‌داری کم‌تر از محلول‌های دیگر بود. ملاحظه می‌شود که کلسیم به‌عنوان پیک ثانویه عمل می‌کند و با تأثیرگذاری بر پایداری غشاء و فعالیت آنزیم‌ها موجب حفاظت سلول‌ها در شرایط تنش می‌شود. بنابراین کلسیم سهم به‌سزایی در پایداری غشاء تحت تنش شوری دارد (گریجا و همکاران، ۲۰۰۲).

کلروفیل کل برگ: غلظت کلروفیل برگ بین غلظت‌های مختلف محلول‌های غذایی تفاوت معنی‌داری نشان داد. بیش‌ترین مقدار کلروفیل برگ (۵۵ واحد) مربوط به محلول غذایی شاهد و کم‌ترین مقدار کلروفیل برگ (۳۰ واحد) در محلول غذایی ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و صفر میلی‌مولار کلرید کلسیم در رقم مورال بود (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهد که محلول‌های غذایی شامل نمک به‌خصوص کلرید سدیم می‌تواند باعث کاهش غلظت کلروفیل برگ شود. یانگ و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که تنش شوری باعث کاهش غلظت کلروفیل برگ و کاهش فتوسنتز گیاه می‌شود. نتایج نشان داد که کاربرد ۱۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم در مقایسه با محلول‌های غذایی شامل کلرید سدیم باعث افزایش میزان کلروفیل برگ در هر دو رقم مورد مطالعه شد (جدول ۲). بنابراین کاربرد کلرید کلسیم در غلظت‌های کم باعث بهبود کلروفیل برگ در مقایسه با محلول‌های شامل کلرید سدیم شد. این نتیجه بیان‌گر آن است که وجود کلسیم در محلول غذایی در تشکیل بهتر رنگیزه‌های کلروفیل در سلول‌های گیاهی در جهت افزایش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی برای

رشد بهتر گیاه مؤثر است. مصرف محلول غذایی شامل کلسیم به‌دلیل بالا بردن سطح برگ بر افـزایش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی و سرعت رشد محصول تأثیر دارد (میرزائی و همکاران، ۲۰۱۳).

عناصر معدنی در برگ‌های گیاهی: مقایسه میانگین درصد عناصر سدیم، کلسیم و کلر در بـرگ‌هـای گیاهی نشان داد که با افزایش غلظت محلول‌های غذایی، غلظت عناصر معدنی برگ‌های نیـز افـزایش یافت. به‌طوری‌که غلظت سدیم و کلر در برگ‌های گیاهان در محلـول غـذایی شـامل ۹۰ میلـی‌مـولار کلرید سدیم به‌ترتیب ۲۳ و ۳۸ درصد بود. در حالی‌کـه در بـرگ‌هـای گیاهـان رشـدیافته در محلـول غذایی شاهد میزان سدیم و کلر بـه‌ترتیـب ۳/۵ و ۱۱/٤ درصـد انـدازه‌گیـری شـد (شـکل ۱). امـا در محلول‌های غذایی شامل کلرید کلسیم + کلرید سدیم در سایر سـطوح غلظـت سـدیم در بـرگ‌هـای گیاهی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، رابطه آنتاگونیسم بین سدیم و کلسیم نشان داد کـه بـا افـزایش سطوح شوری میزان جذب سدیم افزایش یافت، در حالی‌که محتوای کلسیم کاهش یافـت. بـه همـین دلیل نـسبت سـدیم بـه کلـسیم بـا محتـوای سـدیم همبـستگی مثبـت و معنـی‌داری داشـت. اثـرات آنتاگونیستی این دو ترکیب بر وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخـساره، کلروفیـل بـرگ و پایـداری غشاء برگ‌های گیاهی مؤثر بود (سـلطانی‌حـویزه و همکـاران، ۲۰۰۹). در محلـول غـذایی شـامل ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم همراه با ۳۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم ($NaCl_{۹۰} + CaCl_{۲,۳۰}$)، غلظـت سـدیم و کلسیم برگ‌های گیاهی به‌ترتیب ۱۰/۲ و ۱۲/۷ درصد بود که در مقایـسه بـا مقـدار سـدیم محلـول غذایی شامل ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (۲۳ درصد)، بیش از ۵۰ درصد غلظت سدیم کـاهش یافـت (شکل ۱). در این شرایط با افزایش غلظت کلسیم، مقدار کلسیم بیش از حد نیاز گیاه نبوده کـه باعـث مشکلاتی در گیاه شود. درصد کلر برگ‌های گیـاهی در محلـول‌هـای غـذایی شـامل کلریـد سـدیم و کلرید کلسیم به‌علاوه کلریدسدیم در غلظت‌های مختلف تفاوت معنی‌داری را نـشان نـداد (شـکل ۱). بنابراین با استفاده از کلرید کلسیم برای کاهش اثرات مخرب سدیم، تأثیر چنـدانی در افـزایش کلـر و خطرات احتمالی ناشی از غلظت بالای آن مشاهده نشد. غلظت کلر برگ، دامنه‌ای از غلظـت سـطوح پایین ۰/۰۲ درصد وزن خشک تا غلظت ۰/۱۵ درصد دارد. سطوح بالاتر از ۱ درصـد بـرای بـیش‌تـر گیاهان سمی خواهد بود (ارزانی، ۲۰۰۷).



شکل ۱- مقایسه غلظت سدیم، کلسیم و کلر در برگ‌های گیاه گوجه‌فرنگی.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان بیان نمود که صفات اندازه‌گیری با مصرف کلرید سدیم در غلظت ۱۰ میلی‌مولار در محلول غذایی در تمام سطوح کلرید سدیم افزایش معنی‌داری داشت. بنابراین به‌نظر می‌رسد که گیاهان گوجه‌فرنگی با بهره‌گیری از نمک‌های کلسیم با اصلاح شرایط تغذیه‌ای (کاهش میزان سدیم) نقش مهمی را در سازگاری گیاه با تنش شوری دارند. همچنین نتایج نشان داد که با مصرف کلرید کلسیم، غلظت سدیم برگ‌های گیاه در محلول‌های غذایی شامل ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، ۵۰ درصد کاهش یافت.

سپاسگزاری

از دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان به‌خاطر همکاری در انجام این پژوهش و اندازه‌گیری بعضی از شاخص‌ها در محل آزمایشگاه سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

1.Alizade, A. 2005. Plant Soil and Water Relations. Imam Reza University Press, 280p. (In Persian)

2.Arzani, A. 2007. Commercial and Home Hydroponic Cultivation. Esfahan Industrial University Press, 220p. (In Persian)

3.Caines, A.M., and Shennan, C. 1999. Interactive effects of Ca^{2+} and NaCl salinity on the growth of two tomato genotypes differing in Ca^{2+} use efficiency. Plant Physiol. Biochem. 37: 569-576.

4.Cuartero, J., and Fernandez-Munoz, R. 1999. Tomato and salinity. Sci. Hort. 78: 83-125.

5.Eltez, R.Z., Tuzel, Y., Tuzel, I.H., and Duyar, H. 2002. Effect of different EC levels of nutrient solution on greenhouse tomato growing. Acat Hort. 573: 443-448.

6.Eman, I., and Ryad, I.M. 2013. Evaluation of some bread wheat cultivars productivity as affected by sowing dates and water stress in semi-arid region. Asia. J. Crop Sci. 5: 167-178.

7.Girija, C., Smit, B.N., and Swamy, P. 2002. Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycinebetaine in peanut (*Arachis Hypogaea* L.). Environ. Exp. Bot. 47: 1-10.

8.Grattan, S.R., and Grieve, C.M. 1994. Mineral Nutrient Acquisition and Response of Plants Grown in Saline Environments. In: Pessarakli, M. (Ed.). Hand Book of Plant and Crop Stress, Marcel Dekker Inc. New York, USA, Pp: 203-226.

9.Iqbal, N., Asraf, M.Y., Javed, F., Martinez, V., and Ahmad, K. 2006. Nitrate reduction and nutrient accumulation in wheat grown in soil salinized with four different salts. J. Plant Nutr. 29: 409-421.

10.Jaleel, A.C., Gopi, R., Sankar, B., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sridharan, R., and Panneerselvam, R. 2007. Studies on germination, seedling vigour, lipid per oxidation and proline metabolism in Catharanthus roseus seedlings under salt stress, South. Afr. J. Bot. 73: 190-195.

11.Koushafar, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., Moezzi, A.A., and Mobli, M. 2011. Effect of dynamic unequal distribution of salts in the root environment on performance and crop per drop (CPD) of hydroponic-grown tomato. Sci. Hort. 131: 1-5.

12.Maas, E.V., and Hoffman, G.J. 1977. Crop salt tolerance current assessment. J. Irrig. Drain. 103: 115-134.

13.Mirabdulbaghi, M., and Pishbeen, M. 2012. Effect of different forms and levels of nitrogen on vegetative growth and leaf nutrient status of nursery seedling rootstocks of peach. Amer. J. Plant Fert. Technol. 2: 2. 32-44. (In Persian)

14. Mirzai, S., Rahimi, A., Dashti, H., and Maddah Hosseini, S. 2013. Ameliorating effect of calcium and potassium on proline content, chlorophyll, protein content and growth of ammi (*Carum copticum* L.) under salinity stress. Iran. J. Med. Arom. Plants. 29: 2. 247-260. (In Persian)
15. Mokhtary, I., Abrishamchi, P., and Ganjali, A. 2010. Ameliorative effects of $CaCl_2$ and $CaSO_4$ on growth, content of solouble proteins, solouble sugars, proline and some mineral nutrients (Na^+, K^+) in leaves of *Lycopersicon esculentom* var Mobile under salt stress. J. Iran Biol. 23: 62-72. (In Persian)
16. Sholi, N.J.Y. 2012. Effect of salt stress on seed germination, plant growth, photosynthesis and ion accumulation of four tomato cultivars. Amer. J. Plant Physiol. 7: 269-275.
17. Soltani Hovize, M., Mirmohamadi Meibodi, S., and Arzani, A. 2009. Correlation study of commercial and promising sugarcane cultivars morphophysiologic with dry matter yield under salt stress at early vegetative stage. J. Special Crop Physiol. 2: 2. 26-33. (In Persian)
18. Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Liu, L., and Zhu, Q. 2003. Post anthesis water deficits enhance grain filling in two line hybrid rice. Crop Sci. 43: 2099-2108.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. Plant Prod Res. Vol. 21 (2), 2014
http://jopp.gau.ac.ir

The effects of calcium on improvement of salt stress damages in tomato

***J. Tabatabaeian**
Assistant Prof., Dept. Agronomy, Islamic Azad University, Ardestan Branch
Received: 07/06/2013; Accepted: 07/26/2014

Abstract

The decrease of the agricultural crops growth is one of the important effects of salinity that in these conditions sodium and chloride ions in shoots and roots have been increased however potassium and calcium ions have been decreased. One of the mechanisms to work with salinity presence of calcium ion that improved the adverse effects of salinity. Maintaining the proper amount of calcium ion in the soil, the toxic effect of sodium ions is controlled. In this study, the effects of three different nutrient solutions, including the sodium chloride concentration with 0, 30, 60 and 90 mM, calcium chloride concentrations with 0, 10, 20, 30 mM and sodium chloride + calcium chloride respectively to the same concentration were reviewed and investigated on two cultivated tomato varieties in a hydroponic form and pots containing Coco peat. In the vegetative growth stage, relative water content of tissue and cytoplasmic membrane stability and leaf chlorophyll concentration after removal of the root and shoot dry weight were measured. Results showed that increase of salinity caused a significant reduction in relative water content of tissues, cytoplasmic membrane stability and chlorophyll concentration in leaves. Dry weight yield of roots and shoots also decreased with increasing the salinity so that all the characters were lowest in 90 mM of sodium chloride concentration. The results showed that the growth terms of calcium chloride and chloride + calcium chloride solutions were better, as the 10 mM concentration of calcium chloride has a significant impact on improving the damage caused by the salinity.

Keywords: Calcium chloride, Salinity stress, Sodium chloride, Tomato

* Corresponding Author; Email: taba805@gmail.com