اثر شوری و کلسیم تکمیلی بر رشد رویشی، عملکرد میوه و غلظت برخی عناصر در توت فرنگی در کشت بدون خاک

فرهاد مظلومی*، عبدالمجید رونقی و نجفعلی کریمیان[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۵/۸)

چکیده

غلظت بهینه کلسیم در خاک‌های شور عامل مهمی در کنترل شدت سمیت برخی یون‌ها است، مخصوصاً در گیاهانی که به آسیب کلر و سدیم حساس هستند. به منظور بررسی اثر شوری و کلسیم تکمیلی بر رشد رویشی، عملکرد میوه و غلظت برخی عناصر غذایی در ریشه، شاخساره و میوه توت فرنگی (*Fragaria ananaassa* Duch) رقم سلوا، تحقیقی گلخانه‌ای در محیط کشت بدون خاک، به‌صورت فاکتوریل ۵×۳ در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح شوری (صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار از منبع کلرید سدیم) و پنج سطح کلسیم تکمیلی (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار از طریق افزودن به محلول غذایی، ۰/۵ و ۱ درصد به صورت محلول پاشی از منبع کلرید کلسیم) بود. نتایج نشان داد که افزودن کلرید سدیم به محلول غذایی بر وزن خشک ریشه، شاخساره و وزن تازه میوه تأثیر منفی گذاشت و کاهش وزن خشک شاخساره و میوه بیشتر از ریشه بود. کاربرد کلسیم تکمیلی نه تنها سبب بهبود رشد رویشی و عملکرد میوه نگردید، بلکه سبب کاهش آنها نیز شد. تیمار کلرید سدیم (شوری) سبب افزایش غلظت سدیم ریشه، شاخساره و میوه گردید و کاربرد سطوح ۵ و ۱۰ میلی‌مولار کلسیم تکمیلی غلظت سدیم ریشه را کاهش داد. با افزودن شوری به محلول غذایی، غلظت کلسیم شاخساره در برخی تیمارها کاهش پیدا کرد، اما غلظت کلسیم ریشه و میوه تحت تأثیر قرار نگرفت. کاربرد کلسیم تکمیلی سبب افزایش غلظت کلسیم در همه اندام‌های توت فرنگی گردید. با کاربرد کلرید سدیم، غلظت پتاسیم در ریشه کاهش، اما در میوه افزایش یافت و در شاخساره تحت تأثیر قرار نگرفت. غلظت پتاسیم ریشه در حضور کلسیم تکمیلی تغییر نکرد. غلظت پتاسیم شاخساره فقط در کاربرد تنهای کلسیم تکمیلی کاهش پیدا کرد و غلظت پتاسیم میوه با کاربرد کلسیم تکمیلی افزایش نشان داد. با کاربرد شوری و کلسیم تکمیلی غلظت منیزیم ریشه در تمام تیمارهای آزمایش و غلظت منیزیم شاخساره در برخی تیمارها در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد. به طور کلی، کاربرد کلسیم تکمیلی با وجود این‌که سبب افزایش غلظت کلسیم در اندام‌های مختلف گیاه شد اما در کاهش اثرات منفی شوری بر رشد رویشی و عملکرد میوه توت فرنگی مؤثر نبود.

واژه‌های کلیدی: توت فرنگی، کشت بدون خاک، کلرید سدیم، عناصر پر مصرف

مقدمه

تنش شوری از عوامل مهم محدود کننده رشد رویشی و زایشی اکثر محصولات کشاورزی است (۲۳). شوری عاملی است که بر متابولیسم، آناتومی و مورفولوژی گیاه تأثیر می‌گذارد (۱۸). گراتان و گریو (۱۱) بیان کردند که عملکرد محصولات در شرایط شور کاهش می‌یابد و سه دلیل برای آن بیان کردند: ۱- شوری بر فراهمی عناصر غذایی اثر می‌گذارد، ۲- شوری سبب ایجاد جذب رقابتی می‌شود و ۳- شوری بر انتقال یا بخش‌بندی

۱. به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و اساتید علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fmazloomi@gmail.com

عنصر غذایی در گیاه تأثیرگذار است. کاربرد عناصر غذایی می‌تواند به عنوان یک راهکار برای کاهش اثرات سمیت یونی و ناهنجاری‌های تغذیه‌ای گیاهان در خاک‌های شور مورد توجه قرار گیرد (۱). کلسیم نقش مهم و ضروری در فرایندهای حفظ ساختمان دیواره سلولی و تمامیت غشای سیتوپلاسمی گیاه دارد. پایداری ساختمان غشای سلولی، انتقال و انتخاب پذیری یون را تنظیم می‌کند و رفتار تبادل یونی را به همان خوبی فعالیت‌های آنزیمی کنترل می‌کند (۲۱). حفظ غلظت کلسیم به میزان کافی در محلول خاک‌های شور عامل مهمی در کنترل شدت سمیت یون‌های ویژه است، مخصوصاً در محصولاتی که حساس به آسیب کلر و سدیم هستند (۱۱). نشانه‌های کمبود کلسیم زمانی مطرح است که نسبت سدیم به کلسیم در محلول خاک زیاد باشد. به نظر می‌رسد کلسیم به آسانی در مکان‌های پیوندی غشا جایگزین سایر کاتیون‌ها می‌شود. این نقش ممکن است با کاهش فراهمی کلسیم به طور جدی آسیب ببیند. افزایش غلظت کلسیم سبب جلوگیری از این جانشینی می‌شود (۱۹). از آنجایی که پتاسیم و کلسیم نقش‌های مهمی در فرایندهای فیزیولوژیک بازی می‌کنند و سدیم به عنوان یک عنصر غذایی نمی‌تواند نقش آنها را ایفا کند، جانشینی سدیم به جای پتاسیم و کاهش غلظت کلسیم ممکن است منجر به عدم تعادل غذایی شود (۱۷). کلسیم نقش مؤثری در تعدیل آثار سوء شوری و انتقال یون سدیم و سایر یون‌های معدنی توسط غشا سلولی دارد. به عنوان مثال، در برخی پژوهش‌ها مشاهده شده است که با افزایش غلظت سولفات کلسیم در محیط رشد لوبیا، غلظت یون سدیم در ریشه‌ها کم و حتی میزان سدیم ساقه کاهش می‌یابد (۱۳). در پژوهشی دیگر گزارش شده که کاربرد کلسیم تکمیلی، غلظت پتاسیم و کلسیم را در گیاه پنبه تحت شرایط شوری متعادل ساخت. به نظر می‌رسد انتقال انتخابی یون‌ها توسط ریشه تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد (۸). میوه‌هایی که میزان کلسیم در آنها کم باشد به بسیاری از ناهنجاری‌های بیماریزا و فیزیولوژیک حساس هستند و چنین میوه‌هایی معمولاً عمر ماندگاری کمی دارند. بنابراین کلسیم قبل و بعد از برداشت برای جلوگیری از ناهنجاری‌های فیزیولوژیک به‌کار می‌رود. افزودن کلسیم، رسیدن میوه را به تأخیر می‌اندازد و کیفیت میوه‌های مختلف از جمله توت فرنگی را بهبود می‌بخشد. افزایش کاربرد نسبی کلسیم سبب می‌شود این عنصر به آسانی در اختیار گیاه قرار گیرد، به بخش‌های مختلف انتقال یابد، در فرایندهای مختلف حیاتی به‌کار رود و روی بسیاری از ناهنجاری‌های فیزیولوژیک و پاتولوژیک تأثیر بگذارد (۱۶).

با توجه به کمبود آب‌های با کیفیت مناسب برای استفاده در کشاورزی، کشاورزان به اجبار به طرف استفاده از آب‌های با کیفیت پایین و شور پیش می‌روند. علاوه بر این، استفاده از کشت هیدروپونیک در سال‌های اخیر در کشور ایران در حال گسترش است. توت فرنگی یک میوه تجاری مهم است که سطح زیر کشت و مصرف آن در جهان رو به افزایش است. اما این گیاه به شوری کلرید سدیم بسیار حساس است (۱۵). اطلاعات کمی در مورد تغییر غلظت عناصر در گیاه توت فرنگی تحت تنش شوری کلرید سدیم و مؤثر بودن کاربرد محلول‌پاشی کلسیم در بهبود رشد، عملکرد و ترکیب شیمیایی توت فرنگی تاکنون منتشر شده است (۱۵ و ۲۵). لذا پژوهش حاضر در محیط کشت بدون خاک به منظور بررسی اثر شوری و کلسیم تکمیلی و برهمکنش آنها بر رشد، عملکرد و غلظت برخی عناصر در توت فرنگی صورت گرفت.

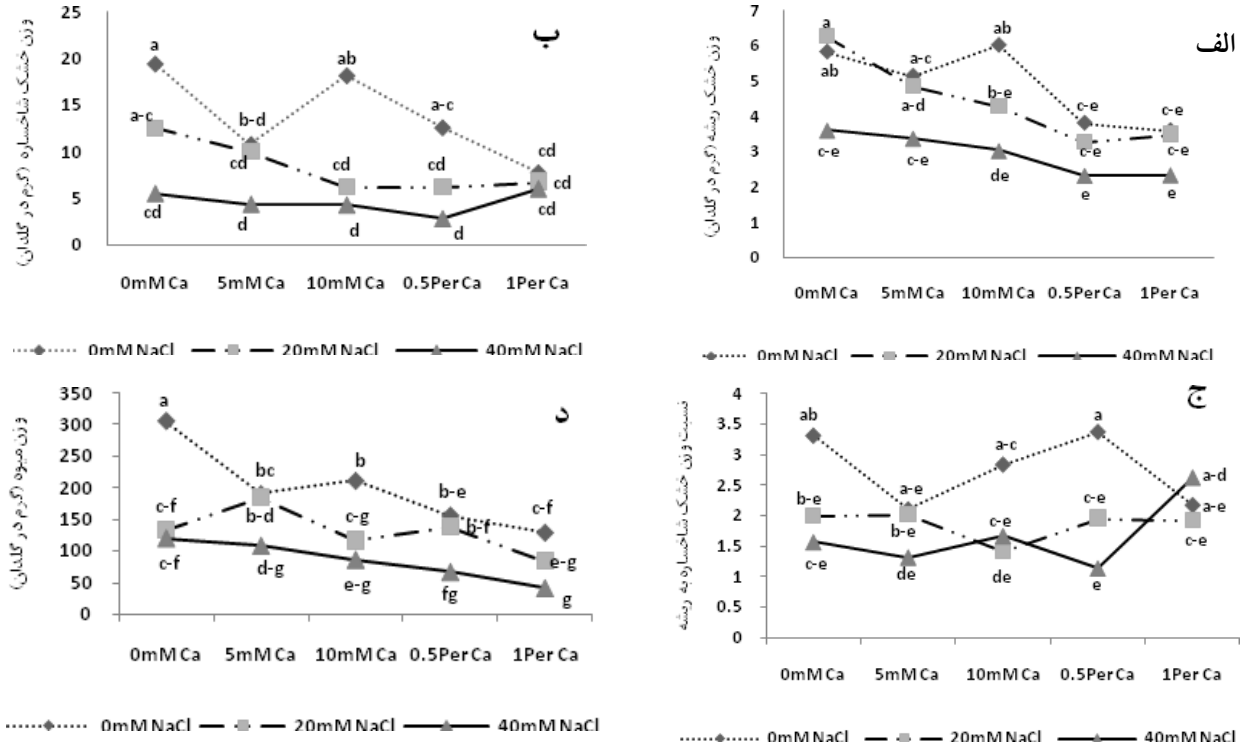
مواد و روش‌ها

این تحقیق در مجتمع گلخانه‌های صدرا واقع در شهرک صدرای شیراز انجام گرفت. مدت تحقیق ۴ ماه بود و از تاریخ ۱ دی ماه ۱۳۸۷ تا ۱ اردیبهشت ۱۳۸۸ به طول انجامید. طرح آزمایشی کامل تصادفی با سه تکرار و هر واحد آزمایشی شامل سه گلدان بود. تیمارها شامل سه سطح شوری (صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار از منبع کلرید سدیم) و پنج سطح کلسیم (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار از طریق افزودن به محلول غذایی یا ۰/۵ و ۱ درصد به صورت محلول‌پاشی از منبع کلرید کلسیم) بود. رقم

جدول ۱. فرمول محلول غذایی یک سوم قدرت هوگلند (۲۸)

ترکیب شیمیایی	گرم در ۱۰۰۰ لیتر
$NH_4H_2PO_4$	۳۸/۳۲
KNO_3	۲۰۲
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	۳۹۳/۲
$MgSO_4.7H_2O$	۱۶۴
Fe-EDTA	۱۱/۶۵
H_3BO_3	۰/۹۵
$ZnSO_4.7H_2O$	۰/۱۱
$(NH_4)_6MoO_7$	۰/۰۰۹۵
$MnSO_4.H_2O$	۰/۷۷
$CuSO_4.5H_2O$	۰/۰۴

توت‌فرنگی روز- خنثی سلوا از مجتمع گلخانه‌های صدرای شیراز تهیه شد. بوته‌های توت فرنگی ۴-۲ برگی در گلدان‌های ۴ لیتری به عمق ۲۰ و قطر ۱۸ سانتی‌متر در محیط کشت کوکوپیت و پرلیت به ترتیب به نسبت ۲ به ۱ کاشته شد. محلول یک سوم قدرت هوگلند (۲۸) برای رشد گیاهان به‌کار رفت (جدول۱). محلول غذایی به صورت آبیاری قطره‌ای به گلدان‌ها و روزانه ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌لیتر به هر گلدان افزوده می‌شد. پ- هاش محلول غذایی بین ۵/۸-۵/۶ بود. تیمار شوری به صورت تدریجی به این صورت که در دو هفته اول بوته‌ها تنها توسط محلول غذایی یک سوم قدرت هوگلند تغذیه شدند و از هفته سوم تیمارهای شوری کلرید سدیم به میزان ۱۰ میلی‌مولار به محلول غذایی تمام تیمارها به جز شاهد افزوده شد. در هفته چهارم، کلرید سدیم به میزان ۲۰ میلی‌مولار به محلول غذایی تمام تیمارها به جز شاهد افزوده شد. در هفته پنجم، سطح ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌کار برده شد و از هفته پنجم تا پایان کشت تیمارهای شوری کلرید سدیم (۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار) به صورت کامل به کار برده شدند. تیمارهای کلسیم تکمیلی از هفته پنجم و با رسیدن به سطوح شوری مورد نظر اعمال شد. سطوح کلسیم تکمیلی ۵ و ۱۰ میلی‌مولار از طریق افزودن به محلول غذایی در ابتدای هر هفته اعمال شد. تیمارهای محلول‌پاشی کلسیم تکمیلی به صورت هفتگی و توسط اسپری دستی اعمال گردید. در طول مدت آزمایش، میوه‌های رسیده به طور منظم برداشت و وزن تازه آنها یادداشت گردید. میوه‌های تازه در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شده تا زمانی که وزن خشک آنها ثابت شود. پس از چهار ماه گیاهان از بسترهای کشت خارج و به اندام هوایی و ریشه تقسیم شدند. سپس با استفاده از آب مقطر شستشو و تا زمانی که وزن خشک آنها ثابت شود در آون قرار داده شدند. اندام هوایی، ریشه‌ها و میوه‌های خشک شده آسیاب و برای اندازه‌گیری غلظت عناصر تجزیه گردیدند. یک گرم از نمونه‌های پودر شده در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس در کوره الکتریکی خاکستر و سپس در ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال حل و محلول توسط کاغذ صافی و پس از شستشوی مواد باقی مانده بر سطح کاغذ صافی با آب مقطر، به حجم نهایی ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. کلسیم و منیزیم توسط دستگاه جذب اتمی و سدیم و پتاسیم توسط روش شعله‌سنجی اندازه‌گیری شدند. پاسخ‌های گیاهی شامل وزن خشک ریشه، شاخساره، وزن تازه میوه و غلظت عناصر اندازه‌گیری شده با استفاده از روش‌های آماری و نرم‌افزار MSTATC با استفاده از آزمون F مورد تجزیه واریانس قرار گرفته و میانگین‌های مربوط به اثر اصلی هر یک از عامل‌ها و



شکل ۱. اثر شوری و کلسیم تکمیلی بر وزن خشک ریشه (الف)، شاخساره (ب)، نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه (ج) و وزن میوه (د) توت فرنگی

برهمکنش آنها استخراج و با آزمون دانکن مقایسه گردیدند.

نتایج و بحث

وزن خشک ریشه و شاخساره، نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه و وزن تازه میوه

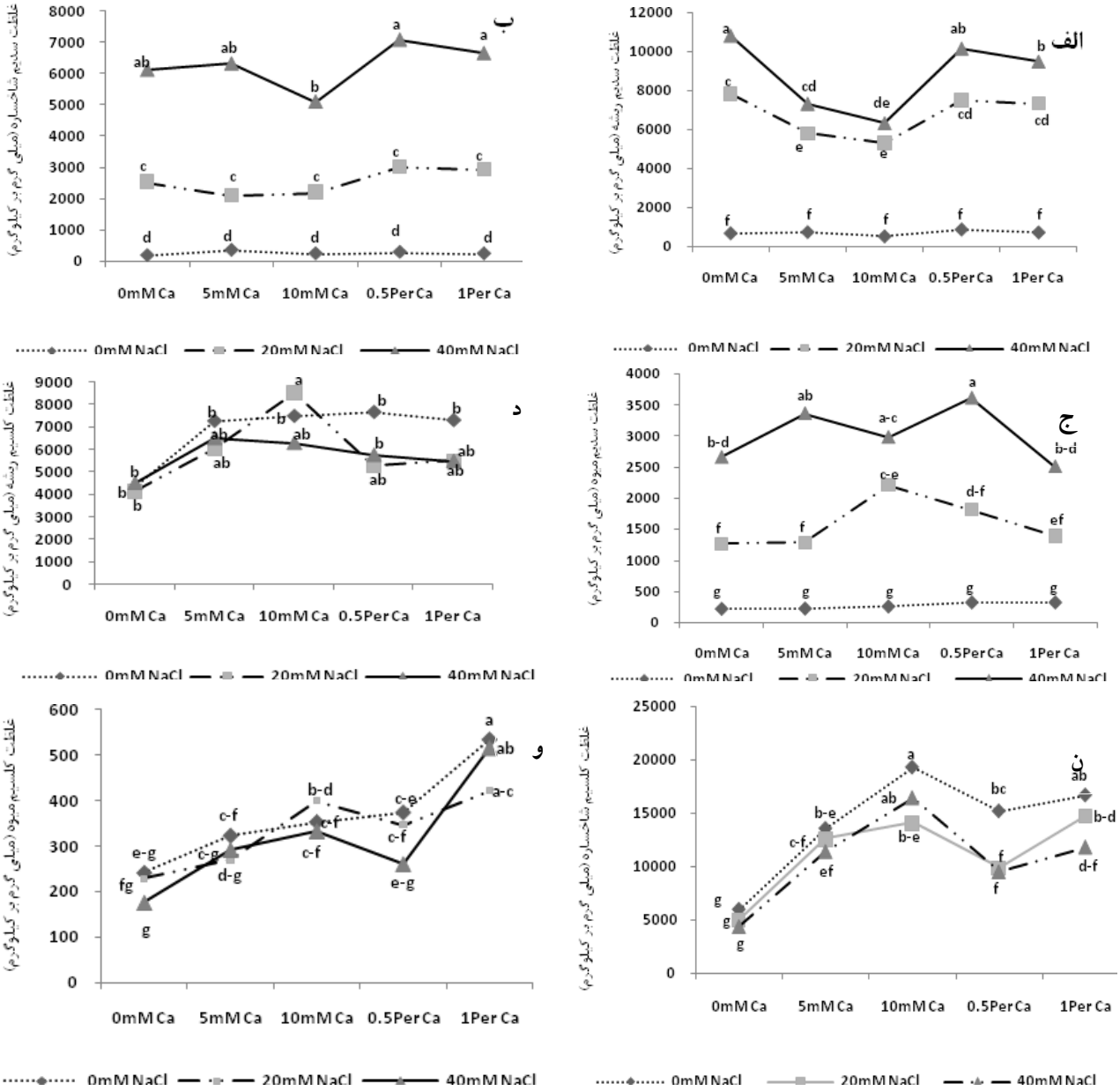
همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است وزن خشک ریشه، شاخساره، نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه و وزن تازه میوه در اکثر تیمارهای کاربرد توأم سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (شوری) و کلسیم تکمیلی در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌دار نشان داده است ($p<0/05$). کاربرد کلسیم تکمیلی در کاهش آثار منفی شوری بر توت فرنگی مؤثر نبود و حتی در کاربرد هم‌زمان شوری و کلسیم تکمیلی در برخی تیمارها، کلسیم تکمیلی اثرات منفی شوری را تشدید کرد. بیشترین کاهش عملکرد در افزودن توأم شوری و محلول‌پاشی کلسیم تکمیلی حاصل شد. به عنوان مثال، کمترین مقدار میوه (شکل ۱- د) و کمترین وزن خشک ریشه (شکل ۱- الف) در کاربرد توأم ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و محلول‌پاشی ۱٪ کلسیم تکمیلی مشاهده شد. در سطح بدون شوری، کاربرد محلول‌پاشی ۱٪ کلسیم تکمیلی، وزن خشک اندام هوایی (شکل ۱- ب) را کاهش داد. افزودن ۰/۵ و ۱ درصد محلول‌پاشی کلسیم تکمیلی در سطح بدون شوری، وزن خشک ریشه و وزن میوه را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش معنی‌دار داد، اما بر نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه تأثیری نداشت. مهمترین دلیل کاهش وزن خشک ریشه، شاخساره و وزن میوه ایجاد سوختگی روی برگ و کاهش فتوسنتز است، که نشان دهنده حساسیت رقم سلوا به محلول پاشی کلرید کلسیم در شرایط آزمایش حاضر بود. احتمالاً وجود کلر عامل مؤثری در ایجاد سوختگی است. بنابراین استفاده از محلول پاشی کلسیم تکمیلی برای کاهش اثر منفی شوری بر توت فرنگی رقم سلوا مؤثر نبود. بیشترین کاهش عملکرد با کاربرد شوری، در

وزن خشک اندام هوایی و کمترین کاهش در وزن خشک ریشه مشاهده گردید. اثر منفی کلسیم تکمیلی (مخصوصاً در روش محلول‌پاشی) بر وزن میوه بیشتر از سایر اندام‌های گیاه بود و بر وزن خشک ریشه کمتر بود. در کاربرد تنهای ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، وزن خشک ریشه و اندام هوایی و در هر دو سطح شوری ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار، وزن میوه در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌دار پیدا کرد، اما نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه تحت تأثیر قرار نگرفت. کاهش وزن خشک گیاه با کاربرد شوری در گیاهان گوجه‌فرنگی (۲۲) و توت فرنگی (۱۴) نیز گزارش شده است. اسلم (۳) بیان کرد که شوری رشد رویشی و زایشی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین سبب کاهش وزن خشک و میزان محصول می‌شود. طبق نتایج پژوهش‌های گذشته، کاربرد کلسیم تکمیلی، وزن خشک اندام هوایی توت فرنگی ارقام کامورسا و اسوگراند (۱۴) و گوجه‌فرنگی (۲۲) در تیمارهایی که شوری سبب کاهش وزن شده بود را افزایش داد. اما چاتیساویدیس و همکاران (۵) گزارش کردند که افزودن کلرید کلسیم به محلول غذایی سبب کاهش اثر منفی شوری بر رشد نهال‌های مرکبات نشد. کایا و همکاران (۱۴) کاهش وزن میوه توت فرنگی با کاربرد کلرید سدیم را گزارش کردند و نشان دادند که کاربرد کلسیم تکمیلی سبب بهبود عملکرد میوه در شرایط شور می‌شود. کاربرد کلسیم تکمیلی در پژوهش حاضر تأثیری بر کاهش اثر منفی شوری بر رشد توت فرنگی رقم سلوا نداشت و این بر خلاف نتایجی است که کایا و همکاران (۱۴) در توت فرنگی ارقام کامورسا و اسوگراند مشاهده کردند. از دلایل احتمالی اختلاف در نتایج می‌توان به تفاوت در نوع رقم و محیط کشت اشاره کرد. رقم‌های توت فرنگی پاسخ‌های متفاوتی به شوری کلرید سدیم می‌دهند و سازگاری آنها به تنش شوری به برهمکنش برخی عوامل مانند محیط رشد ریشه، غلظت کلرید سدیم، رقم گیاه و مرحله رشد بستگی دارد (۲۰). تنش شوری سبب توسعه بافت مردگی برگ و تسریع در پیری آن می‌شود. بنابراین توانایی فتوسنتز گیاهان کاهش می‌یابد. در نتیجه، جذب کربوهیدرات‌های لازم برای تولید میوه کاهش می‌یابد (۲۴). عدم تأثیر کاربرد محلول‌پاشی بر عملکرد میوه توت فرنگی نیز توسط برخی پژوهشگران ذکر شده است (۲۵).

غلظت سدیم ریشه، شاخساره و میوه

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، شوری سبب افزایش معنی‌دار غلظت سدیم در اندام‌های توت فرنگی شد. هم‌چنین در ریشه، شاخساره و میوه، در تیمار بدون شوری تفاوت معنی‌داری بین غلظت سدیم در تیمار شاهد (تیمار بدون کاربرد کلسیم تکمیلی) و تیمارهایی که در آنها کلسیم تکمیلی به‌کار برده شده بود دیده نشد. در ریشه، در کاربرد سطوح مختلف کلرید سدیم همراه با کلسیم تکمیلی (۵ و ۱۰ میلی‌مولار)، غلظت سدیم در مقایسه با شاهد هر سطح (کاربرد تنهای کلرید سدیم) کاهش معنی‌دار داشت (شکل۲- الف). کایا و همکاران (۱۴) نیز بیان کردند که کاربرد کلرید سدیم سبب افزایش معنی‌دار غلظت سدیم در ریشه توت فرنگی شد و افزودن کلسیم تکمیلی به محلول غذایی سبب کاهش غلظت سدیم ریشه شد. غلظت بالای کلسیم می‌تواند نفوذپذیری غشای سیتوپلاسمی به سدیم را کاهش دهد. بنابراین کاهش در نفوذپذیری غشا به سدیم در نتیجه افزودن کلسیم، تجمع سدیم در ریشه را کاهش می‌دهد (۷).

در شاخساره، در کاربرد توأم سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و سطوح کلسیم تکمیلی (۵ و ۱۰ میلی‌مولار)، غلظت سدیم در مقایسه با تیمار شاهد در هر سطح شوری و یا در مقایسه با برهمکنش سطوح شوری و محلول پاشی کلسیم تکمیلی کمتر بود. هر چند این تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود و فقط کاربرد توأم شوری ۴۰ میلی‌مولار و ۱۰ میلی‌مولار کلسیم تکمیلی، سبب کاهش معنی‌دار غلظت سدیم در مقایسه با کاربرد تنهای روش محلول‌پاشی گردید (شکل ۲- ب). بنابراین روش افزودن کلسیم تکمیلی به محلول غذایی در جلوگیری از جذب سدیم و اثرات منفی سدیم در مقایسه با روش محلول‌پاشی مؤثرتر است.



شکل ۲. اثر شوری و کلسیم تکمیلی بر غلظت سدیم ریشه (الف)، شاخساره (ب) و میوه (ج) و کلسیم ریشه (د)، شاخساره (ن) و میوه (و) در توت فرنگی

در میوه، افزودن سطوح شوری همراه با کلسیم تکمیلی، غلظت سدیم را در مقایسه با کاربرد تنهای شوری افزایش داد و این افزایش غلظت در برخی برهمکنش‌ها معنی‌دار بود (شکل ۲- ج). مهمترین دلیل افزایش غلظت سدیم در میوه با کاربرد کلسیم تکمیلی، کاهش وزن میوه و پدیده تجمع (عکس رقت) می‌باشد. تجمع سدیم و یا کلر دلیل اصلی اثر سوء شوری، یعنی کاهش رشد و عدم تعادل یونی است (۱۰). افزایش غلظت سدیم در توت فرنگی (۱۵ و ۱۶) و گوجه‌فرنگی (۱۷) در حضور شوری توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است.

غلظت کلسیم ریشه، شاخساره و میوه

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در کاربرد تنهای

کلرید سدیم غلظت کلسیم ریشه، شاخساره و میوه در مقایسه با شاهد تغییر معنی‌داری نکرده است. کاهش وزن خشک توت فرنگی و پدیده تجمع (عکس رقت) مهمترین دلیل عدم تغییر غلظت کلسیم در این تیمارها می‌باشد. کوتگن و پاولزیک (۱۵) نیز نشان دادند که غلظت کلسیم میوه توت فرنگی تحت تأثیر کاربرد ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم قرار نگرفت.

در ریشه، با کاربرد تنهای کلسیم تکمیلی و هم‌چنین در کاربرد توأم سطوح کلرید سدیم و کلسیم تکمیلی، غلظت کلسیم افزایش معنی‌دار یافت، هر چند این افزایش تنها در کاربرد توأم ۲۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۱۰ میلی‌مولار کلسیم تکمیلی در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار بود (شکل ۲- د).

در شاخساره، کاربرد تنهای کلسیم تکمیلی و با افزودن توأم کلسیم تکمیلی و سطوح شوری، غلظت کلسیم در مقایسه با شاهد و کاربرد تنهای کلرید سدیم افزایش معنی‌دار پیدا کرد و بیشترین غلظت کلسیم در کاربرد تنهای ۱۰ میلی‌مولار کلسیم تکمیلی به‌دست آمد (شکل ۲- ن). کاربرد تنهای کلسیم تکمیلی و کاربرد هم‌زمان شوری و کلسیم تکمیلی نیز سبب افزایش غلظت کلسیم در میوه گردید، اما این افزایش در مقایسه با شاهد و یا کاربرد تنهای کلرید سدیم در برخی تیمارها معنی‌دار بود (شکل ۲- و). در میوه بیشترین غلظت کلسیم در کاربرد تنهای ۱ درصد محلول‌پاشی کلسیم تکمیلی حاصل گردید. کایا و همکاران (۱۴) گزارش کردند که غلظت کلسیم در برگ‌های توت فرنگی در حضور کلرید سدیم کاهش نشان داد و کاربرد کلسیم تکمیلی، کمبود کلسیم در برگ‌ها را برطرف نمود که این نتیجه در گوجه‌فرنگی (۲۲) نیز گزارش شده است. سینگ و همکاران (۲۵) بیان کردند که غلظت کلسیم برگ با کاربرد محلول پاشی کلرید کلسیم افزایش معنی‌دار و غلظت کلسیم میوه افزایش غیرمعنی‌دار داشت.

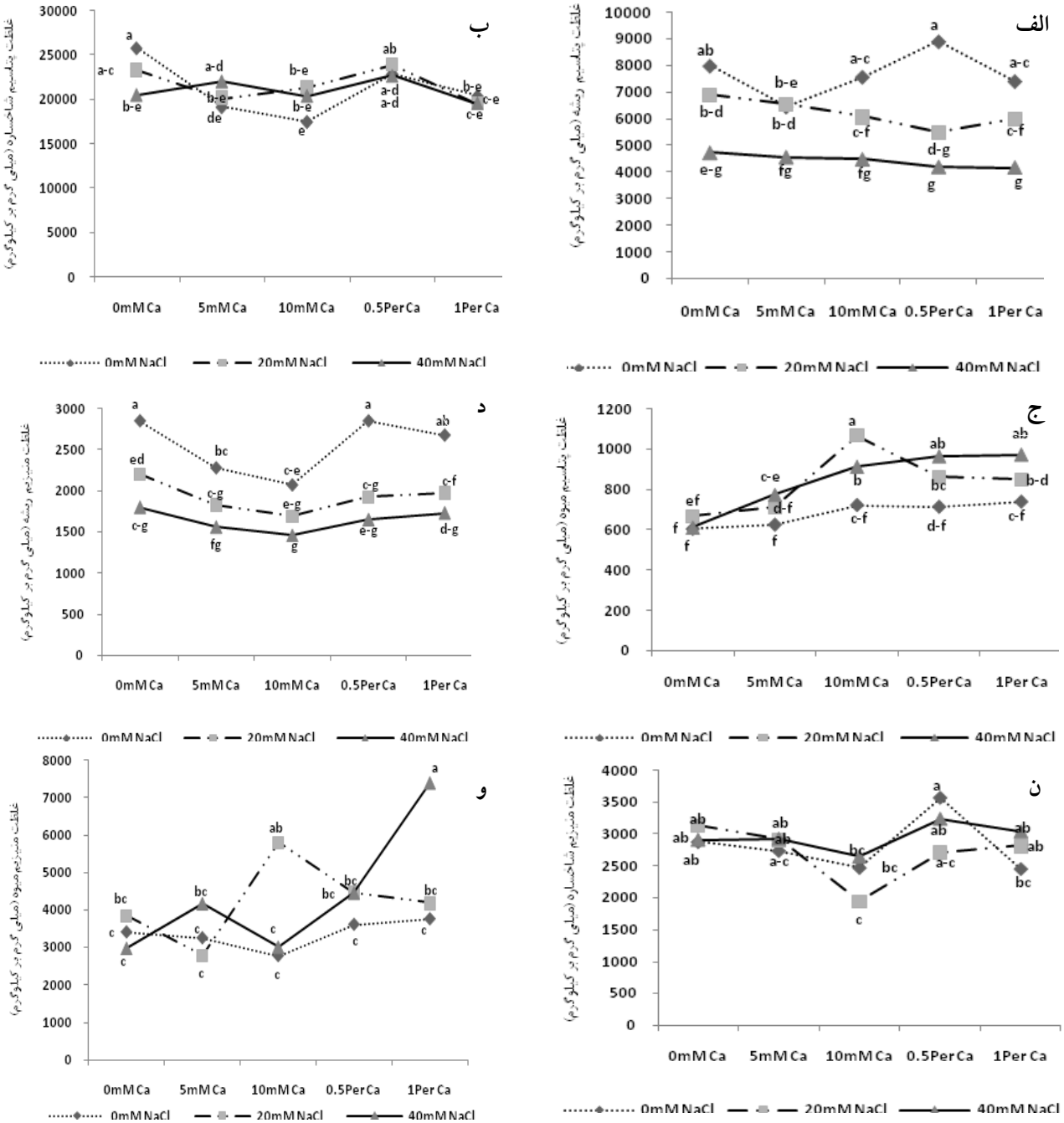
غلظت پتاسیم ریشه، شاخساره و میوه

با توجه به شکل (۳- الف) معلوم می‌شود غلظت پتاسیم ریشه در کاربرد تنهای کلسیم تکمیلی در مقایسه با شاهد و در کاربرد توأم سطوح شوری و کلسیم تکمیلی در مقایسه با کاربرد تنهای کلرید سدیم در هر سطح شوری، تفاوت معنی‌دار پیدا نکرده است. اما در کاربرد تنهای ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و در تمام تیمارهای کاربرد توأم شوری و کلسیم تکمیلی به جز در افزودن توأم ۲۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۵ میلی‌مولار کلسیم تکمیلی، در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌دار نشان داده است. مهمترین دلیل این کاهش، وجود رابطه تنازعی (ناهمسازی) بین سدیم و کلسیم با پتاسیم برای جذب توسط ریشه می‌باشد. گیاهانی که در معرض شوری قرار می‌گیرند مقدار زیادی سدیم جذب می‌کنند که در نتیجه سبب کاهش پتاسیم گیاه می‌شود (۱۲). در شاخساره، کاربرد تنهای ۵ و ۱۰ میلی‌مولار کلسیم و یا ۱٪ محلول‌پاشی کلسیم تکمیلی و هم‌چنین در کاربرد تنهای ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و در کاربرد توأم سطوح شوری و کلسیم تکمیلی، غلظت پتاسیم در برخی تیمارها در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌دار یافت (شکل ۳- ب). با افزودن توأم سطوح شوری و کلسیم تکمیلی در مقایسه با کاربرد تنهای شوری غلظت پتاسیم شاخساره تغییر معنی‌داری پیدا نکرد. کاهش غلظت پتاسیم در ریشه و برگ توت فرنگی (۲۸) و گوجه فرنگی (۱۷) در حضور شوری توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است.

غلظت پتاسیم میوه در کاربرد تنهای کلرید سدیم و کلسیم تکمیلی در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت، اما با کاربرد توأم سطوح شوری و کلسیم تکمیلی در مقایسه با شاهد و کاربرد تنهای کلرید سدیم، در برخی تیمارها افزایش معنی‌دار مشاهده گردید (شکل ۳- ج). کوتگن و پاولزیک (۱۶) بیان کردند که غلظت پتاسیم میوه توت فرنگی در تنش شوری کلرید سدیم، افزایش معنی‌دار نشان داد. بیشترین غلظت پتاسیم در میوه در اثر افزودن توأم ۲۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۱۰ میلی‌مولار کلسیم تکمیلی مشاهده گردید.

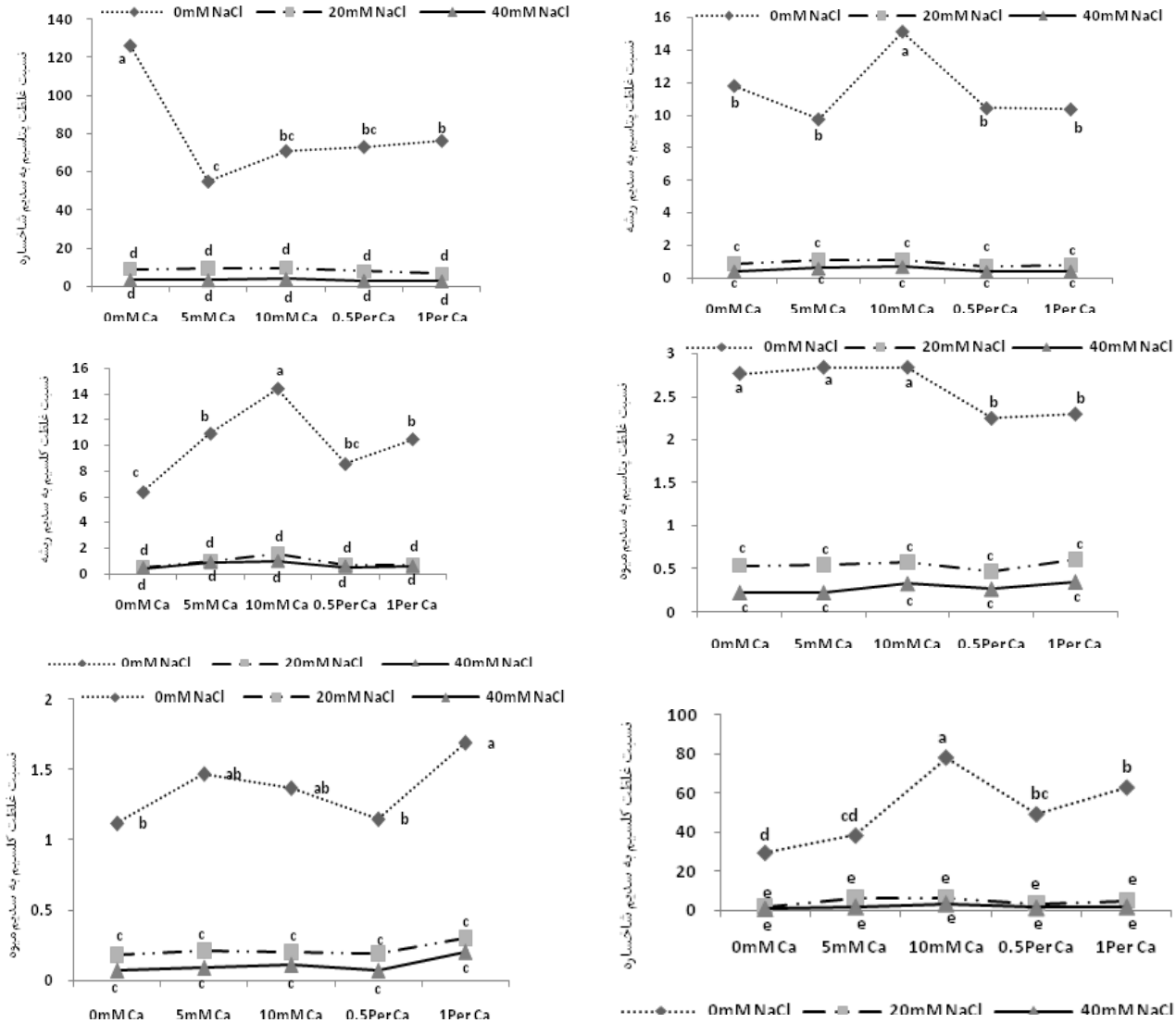
غلظت منیزیم ریشه، شاخساره و میوه

همان طور که در شکل (۳- د) نشان داده شده است، غلظت



شکل ۳. اثر شوری و کلسیم تکمیلی بر غلظت پتاسیم ریشه (الف)، شاخساره (ب) و میوه (ج) و منیزیم ریشه (د)، شاخساره (ن) و میوه (و) در توت فرنگی

منیزیم در ریشه در تمام تیمارها بجز در کاربرد محلول‌پاشی ۱٪، در مقایسه با تیمار شاهد کاهش معنی‌دار نشان داد. اما بین تیمارهای کاربرد توأم شوری و کلسیم تکمیلی با کاربرد تنهای سطوح شوری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در ریشه، بیشترین غلظت منیزیم در تیمار شاهد و کمترین غلظت در افزودن توأم ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۱۰ میلی‌مولار کلسیم تکمیلی مشاهده گردید. غلظت منیزیم شاخساره تنها در کاربرد توأم ۲۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۱۰ میلی‌مولار کلسیم تکمیلی



شکل۴. اثر شوری و کلسیم تکمیلی بر نسبت غلظت پتاسیم به سدیم ریشه(الف)، شاخساره(ب) و میوه(ج) و نسبت کلسیم به سدیم ریشه(د)، شاخساره(ن) و میوه(و) توت فرنگی

در مقایسه با شاهد، کاهش معنی‌دار نشان داد اما در سایر تیمارها تغییر معنی‌داری نکرد (شکل ۳- ن). غلظت منیزیم میوه در افزودن توأام ۲۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۱۰ میلی‌مولار کلسیم تکمیلی و هم‌چنین در کاربرد هم‌زمان ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و محلول‌پاشی ۱٪ کلسیم تکمیلی در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌دار یافت و در سایر تیمارهای آزمایش تحت تأثیر شوری و کلسیم تکمیلی قرار نگرفت (شکل ۳- و). کوتگن و پاولزیک (۱۵ و ۱۶) نیز مشاهده کردند که شوری، غلظت منیزیم در برگ توت فرنگی را کاهش معنی‌دار داد، اما بر غلظت منیزیم میوه تأثیری نداشت.

در ریشه و شاخساره، مهمترین دلیل کاهش غلظت منیزیم وجود رابطه تنازعی (ناهمسازی) بین این عنصر با کاتیون‌های سدیم و کلسیم می‌باشد. مارشنر (۲۱) بیان کرد که جذب منیزیم می‌تواند قویاً توسط سایر کاتیون‌ها از قبیل پتاسیم و کلسیم تحت تأثیر قرار بگیرد.

نسبت غلظت پتاسیم به سدیم ریشه، شاخساره و میوه

با توجه به شکل (۴- الف) معلوم می‌شود که نسبت غلظت

پتاسیم به سدیم در ریشه با کاربرد ۱۰ میلی‌مولار کلسیم تکمیلی در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌دار پیدا کرد. حضور کلسیم کافی در بستر رشد، انتخاب‌پذیری پتاسیم به سدیم را بهبود می‌دهد و سبب تغییر نسبت جذب و جذب مطلوب پتاسیم نسبت به سدیم می‌شود (۱۷). کاربرد تنهای شوری و کاربرد توأم شوری و کلسیم تکمیلی سبب کاهش معنی‌دار نسبت غلظت پتاسیم به سدیم ریشه در مقایسه با شاهد گردید. نسبت غلظت پتاسیم به سدیم شاخساره در تمام تیمارها در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌دار نشان داد (شکل ۴- ب).

نسبت غلظت پتاسیم به سدیم در میوه در کاربرد تنهای ۵ و ۱۰ میلی‌مولار کلسیم تکمیلی در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت اما در سایر تیمارها در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌دار نشان داد (شکل ۴- ج). نتایج نشان می‌دهد که نسبت غلظت پتاسیم به سدیم ریشه، شاخساره و میوه در سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در مقایسه با سطح بدون شوری کاهش معنی‌دار یافته است. غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت سدیم به پتاسیم به عنوان شاخص فیتو- فیزیولوژیک برای نشان دادن میزان حساسیت رقم‌ها به تنش کلرید سدیم است (۱۰). افزایش نسبت غلظت سدیم به پتاسیم در اندام‌های توت فرنگی در حضور شوری توسط کوتگن و پاولزیک (۱۵ و ۱۶) نیز گزارش شده است. بزرگی نسبت سدیم به پتاسیم نشان‌دهنده‌ی بی نظمی‌های متابولیک نظیر کاهش سنتز پروتئین و فعالیت‌های آنزیمی است، که سبب افزایش نفوذپذیری غشای سلولی می‌شود (۲). حضور کلسیم برای حفظ انتخاب پذیری پتاسیم به سدیم و جلوگیری از جانشینی مضر سدیم در غشای سلولی و فضای بین سلولی ضروری است (۲۶). در پژوهش حاضر، کاربرد کلسیم تکمیلی در کاهش اثر منفی شوری بر نسبت پتاسیم به سدیم توت فرنگی مؤثر نبود و تنها کاربرد کلسیم تکمیلی به تنهایی، از طریق افزودن به محلول غذایی سبب افزایش نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه توت فرنگی گردید.

نسبت غلظت کلسیم به سدیم در ریشه، شاخساره و میوه

همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، در ریشه، شاخساره و میوه، نسبت غلظت کلسیم به سدیم در تیمارهای ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در مقایسه با تیمارهای بدون کلرید سدیم کاهش معنی‌دار پیدا کرده است. کاربرد سطوح کلسیم تکمیلی همراه با تیمارهای شوری نیز سبب افزایش این نسبت نگردید. نسبت غلظت کلسیم به سدیم در سطح صفر شوری، در ریشه با کاربرد ۵ و ۱۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی ۱٪ کلسیم تکمیلی، در شاخساره با کاربرد سطوح ۱۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی ۰/۵ و ۱ درصد کلسیم تکمیلی و در میوه با کاربرد محلول‌پاشی ۱٪ کلسیم تکمیلی در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌دار پیدا کرد. لونت تونا و همکاران (۱۷) کاهش نسبت غلظت کلسیم به سدیم در برگ گوجه‌فرنگی در حضور تیمار شوری را گزارش کردند و بیان کردند که کاربرد کلسیم تکمیلی سبب افزایش این نسبت می‌شود. برخی بی‌نظمی‌های غذایی در شرایط شوری مثل بالا رفتن نسبت سدیم به کلسیم و سدیم به پتاسیم قابل انتظار است. در حضور کلرید سدیم، میزان سدیم و کلر در اندام‌های گیاه افزایش و تجمع می‌یابد و این یون‌ها می‌توانند جذب سایر عناصر غذایی را به دلیل رقابت یا به‌وسیله انتخاب‌پذیری یونی غشا، تحت تأثیر قرار دهند و در نتیجه سبب کمبود عناصر غذایی در گیاهان شوند (۴).

نتیجه‌گیری

افزودن شوری به محلول غذایی بر رشد، عملکرد و توازن عناصر غذایی توت فرنگی تأثیر منفی گذاشت که به دلیل اثر سوء سدیم و کلر بر رشد گیاه و کاهش پتانسیل اسمزی (افزایش قابلیت هدایت الکتریکی) محلول غذایی در محیط کشت و کاهش جذب آب می‌باشد. بیشترین اثر منفی شوری بر عملکرد میوه و کمترین اثر آن بر وزن خشک ریشه بود. کاربرد کلسیم تکمیلی، با وجود این‌که سبب افزایش غلظت کلسیم در گیاه شد، در کاهش آثار منفی شوری بر رشد و عملکرد مؤثر واقع نشد و حتی سبب افزایش آن بر شاخص‌های

رشد در برخی تیمارها گردید. بیشترین اثر منفی کلسیم تکمیلی بر عملکرد میوه مشاهده گردید و اثر منفی آن بر وزن خشک ریشه و شاخساره تقریباً مشابه بود. مهمترین دلیل اثر منفی کلسیم تکمیلی به روش افزودن به محلول غذایی، افزایش قابلیت هدایت الکتریکی محلول غذایی و رابطه ناهمسازی بین عناصر غذایی برای جذب توسط ریشه گیاه بود. هم‌چنین دلیل کاهش عملکرد در حضور کلسیم تکمیلی به روش محلول‌پاشی ایجاد سوختگی شدید و ریزش برگ بود. بنابراین استفاده از کلسیم تکمیلی برای کاهش اثرات منفی شوری بر رشد و عملکرد توت فرنگی مؤثر نبود.

سپاسگزاری

از بخش علوم خاک و دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز به خاطر فراهم نمودن تسهیلات لازم جهت انجام این پژوهش، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. ملکوتی، م. ج.، پ. کشاورز و ن. کریمیان. ۱۳۸۷. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۷۵۵ صفحه.

2. Alam, S. M. 1999. Nutrient uptake by plants under stress conditions. PP. 285-313. *In:* Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress, Marcel Dekker, New York.
3. Aslam, M., R. H. Qureshi and N. Ahmed. 1993. A rapid screening technique for salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). Plant Soil 150: 99-107.
4. Bohra, J. S. and K. Döffling. 1993. Potassium nutrition of rice (*Oryza sativa* L.) varieties under NaCl salinity. Plant Soil 152: 299-303.
5. Chatzissavvidis, C., I. Papadakis and I. Therios. 2008. Effect of calcium on the ion status and growth performance of citrus rootstock growth under NaCl stress. Soil Sci. Plant Nutr. 54: 910-915.
6. Cram, W. J. 1983. Chloride accumulation as a homeostatic system: Set points and perturbation. J. Exp. Bot. 34: 1484-1502.
7. Cramer, G. R., A. Lauchli, and V. S. Polito. 1985. Displacement of Ca^{2+} by $2Na^{+}$ from the plasmalemma of root cells: A primary response to salt stress. Plant Physiol. 79: 207-211.
8. Cramer, G. R., J. Lynch, A. Lauchli and E. Epstein. 1987. Influx of Na, K, and Ca into roots of salt-stressed cotton seedlings. Plant Physiol. 83: 510-516.
9. De Lacerda, C. F., J. Cambraia, M. A. Oliva and H.A. Ruiz. 2005. Changes in growth and in solute concentrations in sorghum leaves and roots during salt stress recovery. Environ. Exp. Bot. 54: 69-76.
10. De Pascale, S., A. Maggio and G. Barbieri. 2005. Soil salinization affects growth, yield and mineral composition of cauliflower and broccoli. Eur. J. Agron. 23: 254-264.
11. Grattan, S. R. and C. M. Grieve. 1999. Salinity-mineral nutrients relations in horticultural crops. Sci. Hort. 78: 127-157.
12. Hasegawa, P. M., R. A. Bressan, J. K. Zhu and H. J. Bohnert. 2000. Plant cellular and molecular responses to salinity. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 51: 463-499.
13. Lahaye, P. A. and E. Epstein. 1969. Salt toleration by plants: Enhancement with calcium. Science 166: 395-396.
14. Kaya, C., H. Kirnak, D. Higgs and K. Saltali. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars growth at high NaCl salinity. Sci. Hort. 93: 65-74.
15. Keutgen, A. and E. Pawelzic. 2008a. Impact of NaCl stress on plant growth and mineral nutrient assimilation in two cultivars of strawberry. Environ. Exp. Bot. 95: 325-332.
16. Keutgen, A and E. Pawelzic. 2008b. Quality and nutritional value of strawberry fruit under long salt stress. J. Agric. Food Chem. 107: 1413-1420.
17. Levent Tuna, A., C. Kaya, M. Ashraf, H. Altunlu, I. Yokas and B.Yagmur. 2007. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. J. Exp. Bot. 59: 173-178.
18. Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. 2nd Ed., Academic Press, New York.
19. Lynch, J., G. R. Cramer and A. Lauchli. 1987. Salinity reduces membrane-associated calcium in corn root protoplasts. Plant Physiol. 83: 390-394.

20. Maggio, A., G. Raimondi, A. Martino and S. De Pascale. 2007. Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. Environ. Exp. Bot. 59: 276-282.
21. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
22. Navarro, J. M., V. Martinez and M. Carvajal. 2000. Ammonium bicarbonate and calcium effects on tomato plants grown under saline conditions. Plant Sci. 157: 89-96.
23. Saied, A. S., N. Keutgen and G. Noga. 2003. Effects of NaCl stress on leaf growth, photosynthesis and ionic contents of strawberry cvs. 'Elsanta'and 'Korona'. Acta Hort. 609: 67-73.
24. Saied, A. S., A. J. Keutgen. and G. Noga. 2005. The influence of NaCl salinity on growth, yield, and fruit quality of strawberry cvs. 'Elsanta' and'Korona'. Sci. Hort. 103: 289-303.
25. Singh, R., R. R. Sharma and S. K. Tyagi. 2007. Pre-harvest foliar application of calcium and boron influences physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry. Sci. Hort. 112: 215-220.
26. Smith, T. K. 1978. Role of calcium in serine transport in tobacco cells. Plant Physiol. 62: 941-948.
27. Turhan, E. and A. Eris. 2004. Effects of sodium chloride applications and different growth media on ionic composition in strawberry plant. Plant Nutr. 27: 1653-1665.
28. Turhan, E. and A. Eris. 2006. Growth and stomatal behaviour of two strawberry cultivars under long term salinity stress. Turky. Agric. 31: 55-61.