به زراعی کشاورزی
دوره ۱۹ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۶
صفحه‌های ۱۶۱-۱۴۷

اثر تیمار پوتریسین بر میوه توت‌فرنگی رقم 'کاماروسا' تحت شرایط تنش شوری ناشی از کلرید سدیم

علی اکبری[۱]، اورنگ خادمی[۲]* ، یاور شرفی[۳] و سیدجلال طباطبایی[۴]

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
۲. استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
۳. استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
۴. استاد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۰۴ تاریخ پذیرش مقاله:۱۳۹۴/۱۲/۱۶

چکیده

توت فرنگی گیاهی حساس به تنش شوری می‌باشد. در این آزمایش به‌منظور مطالعه اثر تیمار پوتریسین بر کاهش اثرات تنش شوری روی میوه توت‌فرنگی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در دانشگاه شاهد در سال زراعی ۱۳۹۳ انجام شد. تنش شوری کلریدسدیم در غلظت‌های (صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار) از محل ریشه در محیط کشت هیدروپونیک روی توت فرنگی رقم 'کاماروسا' اعمال شد. تیمار پوتریسین نیز در غلظت‌های (صفر، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار) در چهار نوبت به فاصله ۱۵ روز از یکدیگر در طول دوره رشد به‌صورت محلول‌پاشی روی برگ‌ها اعمال گردید. نتایج نشان داد که اعمال تیمارهای کلریدسدیم به‌ویژه در سطح ۵۰ میلی‌مولار، شاخص‌های طول شاخساره، طول ریشه، وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه، تعداد برگ، مقدار کلروفیل برگ، تعداد میوه در بوته، وزن تر میوه، وزن خشک میوه، عملکرد تک بوته و اسید قابل تیتراسیون را کاهش و مقدار آنتوسیانین و مقدار مواد جامد میوه را نسبت به شاهد افزایش داد. تنش شوری تأثیری بر طول ریشه نشان نداد. اعمال تیمارهای پوتریسین در هر دو غلظت ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار اثرات ناشی از تنش شوری را کاهش داد. به‌طوری‌که، بیشتر شاخص‌های فوق را تحت تنش شوری افزایش و مقدار مواد جامد محلول میوه را کاهش داد. بنابراین، بر اساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش استفاده از تیمار پوتریسین در هر دو غلظت ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار، راهکاری مناسب در جهت حل مشکلات ناشی از تنش شوری می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: پوتریسین، توت فرنگی، تنش کلریدسدیم، رشد، کیفیت

* نویسنده مسئول Email: o.khademi@shahed.ac.ir

۱. مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa*) گیاه چندساله علفی، نهاندانه، دولپه‌ای، جداگلبرگ و از خانواده گل‌سرخیان[1] می‌باشد [۲]. این گیاه به‌دلیل میوه نوبرانه، طرفداران زیادی دارد به طوری که تولید سراسری توت‌فرنگی دو برابر تولید سایر ریز میوه‌ها می‌باشد. توت‌فرنگی پتانسیل بالایی در سلامت انسان دارد و در قرون گذشته تقاضا برای مصرف توت‌فرنگی جهت درمان نیز بالا بوده است. توت‌فرنگی سرشار از عناصر غذایی، ویتامین ث و ترکیبات فنولی همانند آنتوسیانین و تانن قابل هیدرولیز می‌باشد [۱۵ و ۳۱]. 'کاماروسا' از جمله ارقام مهم توت‌فرنگی محسوب می‌شود که کشت آن در شرایط گلخانه‌ای رو به گسترش است. مبداء این رقم کالیفرنیا است و جزء ارقام زودرس، روز کوتاه با میوه‌ای بزرگ و عملکرد بالا محسوب می‌شود. کیفیت خوراکی میوه بسیار مطلوب است و دارای بافت سفت می‌باشد. بوته‌های این رقم نیز قوی با برگ‌های بزرگ می‌باشند. در اوایل باردهی وزن میوه آن به ۴۰ گرم هم می‌رسد. این رقم نسبت به کمبود کلسیم حساس است و در مقابل سفیدک و ورتیسیلیوم مقاوم می‌باشد [۱ و ۳۱].

یکی از عوامل موثر در رشد و عملکرد توت‌فرنگی کیفیت آب مصرفی و محیط کشت این گیاه است. با افزایش مقدار شوری از عملکرد این گیاه کاسته می‌شود. این گیاه یکی از محصولات مهم تجاری است که افزایش عملکرد و کیفیت آن از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۳ و ۵]. با در نظر گرفتن کمبود منابع آب شیرین، استفاده از آب شور برای پرورش محصولات باغی از لحاظ اقتصادی دارای ارزش و اهمیت اساسی می‌باشد [۳ و ۳۴]. شوری سبب کاهش در جذب آب توسط گیاه از طریق افزایش پتانسیل اسمزی محیط کشت شده و در نتیجه کمبود آب سبب از دست رفتن پروتوپلاسم می‌شود و در نهایت اختلالات رشد را به دنبال خواهد داشت [۲۸]. در بررسی صورت گرفته روی اثر تنش شوری بر ویژگی‌های میوه توت فرنگی رقم 'کاماروسا' نشان داده شد که تنش شوری از منبع کلریدسدیم علاوه بر کاهش رشد رویشی و مقدار کلروفیل برگ، موجب کاهش عملکرد، تعداد میوه، وزن تر و خشک میوه و افزایش مقدار مواد جامد محلول میوه شد [۹]. در دو واریته کرونا و السانتا نیز با بالا رفتن میزان شوری کلریدسدیم وزن تر و خشک میوه و مقدار کربوهیدرات‌ها در گیاهان تحت تنش شوری کاهش و مقدار فنل کل میوه‌ها افزایش یافت [۲۰]. همچنین در توت فرنگی رقم 'سلوا' با اعمال تنش شوری کلریدسدیم عملکرد، تعداد برگ، سطح برگ، وزن خشک و تر برگ، مقدار کلروفیل و محتوای آب برگ کاهش ولی مقدار نشت یونی برگ‌ها افزایش یافت [۳ و ۵].

تنش شوری از طریق تأثیر بر چند مکانیسم بسیار مهم در گیاه مانند فتوسنتز، تنظیم فشار اسمزی و فعالیت آنزیم‌ها رشد گیاه را کاهش می‌دهد [۱۲]. شوری تولید گونه‌های فعال اکسیژن مثل فرم‌های اکسیژن منفرد (O^{-1})، آنیون سوپراکسید (O^{-2}) رادیکال هیدروکسی (OH) و پر-اکسید هیدروژن (H_2O_2) را القا می‌کند [۲۷]. رادیکال‌های آزاد از طریق پراکسیداسیون چربی‌ها و واسرشتن پروتئین‌ها و تخریب اسیدنوکلئیک متابولیسم سلولی را به هم می‌زنند [۱۸]. پراکسیداسیون چربی‌ها نفوذپذیری انتخابی غشاء را تغییر می‌دهد و به این وسیله باعث افزایش نشت یونی و تغییرات در فعالیت آنزیم‌های غشای سلولی می‌گردد [۲۴]. بالارفتن تولید رادیکال سوپراکسید و پراکسید هیدروژن در جو و برنج تحت تنش شوری با کاهش رشد همراه است [۳۰].

اخیرا روش‌هایی متعددی برای بهبود تحمل شوری در گیاهان به کاربرده شده‌اند. از جمله این روش‌ها کاربرد انواع مختلفی از مواد شیمیایی شامل تنظیم کننده‌های رشد و محافظت کننده‌های اسمزی هستند که در مقایسه با

1. Rosaceae

روش‌های تغییر ژنتیکی موثر و مقرون به صرفه می‌باشند. استفاده از این قبیل مواد، رشد و عملکرد برخی گونه‌های رشد کرده در شرایط شوری را افزایش داده است [۱۱]. تیمارهایی همانند سیلسیوم [۳]، سولفات روی [۵] و سولفات کلسیم [۲۱] از جمله تیمارهای موثر در کاهش اثرات تنش شوری کلریدسدیم و افزایش عملکرد و بهبود ویژگی‌های رویشی میوه توت فرنگی بوده است.

پلی‌آمین‌ها هیدروکربن‌های خطی با وزن مولکولی کم دارای زنجیره سه تا پانزده کربنه و دو گروه آمینی انتهایی هستند. پلی‌آمین‌های موجود در هر سلول شامل پوتریسین[1] (دی آمین)، اسپرمیدین[2] (تری آمین) و اسپرمین[3] (تترا آمین) می‌باشند. این ترکیبات در پروسه‌های فیزیولوژیکی مختلف گیاهی ایفای نقش می‌کنند. نشان داده شده است که کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها مثل پوتریسین می‌تواند گیاهان را در برابر صدمات اکسیداتیو و پروکسیداتیو ناشی از تنش‌های زیستی و غیر زیستی محافظت کند [۳۲ و ۳۳]. پلی‌آمین‌ها از طریق تحریک سنتز ATP انرژی سلول را تامین کرده و ظرفیت فتوسنتزی را با افزایش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II درشرایط تنش بهبود می‌دهند [۳۵]. پوتریسین عاملی برای افزایش مقاومت نسبی در برابر تنش شوری است. افزودن پوتریسین به گیاهان تحت تنش شوری از پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب ماکرومولکول‌ها جلوگیری می‌کند و موجب افزایش مقدار گلوتاتیون و کارتنوئیدها می‌گردد که به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل می‌کنند [۳۲]. پوتریسین سنتز ATP را در گیاه تنباکو بیش از ۷۰٪ افزایش می‌دهد. افزایش سطح انرژی داخل سلول به‌طورکلی تحمل شرایط تنش را بهبود می‌بخشد [۱۷]. با این وجود تیمار با پلی‌آمین‌ها خارجی نتایج متفاوتی بسته به نوع پلی‌آمین و نوع گیاه مورد مطالعه موجب می‌گردد، ولی در مورد اثر تخفیف دهندگی این ترکیبات در تنش شوری اتفاق نظر وجود دارد [۲۵].

در بررسی اثر محلول پاشی پوترسین بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد توت فرنگی رقم 'سلوا' در شرایط غیر تنش نشان داده شد که کاربرد پوترسین در غلظت‌های یک و دو میلی‌مولار تعداد رانر، تعداد کل میوه و مقدار اسید قابل تیتر را افزایش داد، ولی مقدار مواد جامد محلول و pH را کاهش داد [۱۹]. تاثیر مثبت تیمار پوترسین در کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری ناشی از کلریدسدیم از طریق افزایش رشد ساقه و ریشه و مقدار کلروفیل برگ در دو رقم کنار پیوندی نشان داده شده است [۶]. همچنین، در گیاه تاتوره نشان داده شد که اعمال تیمار کلریدسدیم منجر به کاهش وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و مقدار کلروفیل برگ شد، ولی کاربرد پوتریسین برون‌زاد علاوه بر بهبود ویژگی‌های ذکر شده کربوهیدرات‌های محلول و ترکیبات آلکالوئیدی را در شرایط تنش شوری افزایش داد [۸].

به‌طورکلی، با توجه به افزایش سطح شوری در منابع آب مورد استفاده در تولید محصولات گلخانه‌ای، کاهش اثرات تنش شوری حایز اهمیت می‌باشد. بنابراین، هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی اثر تیمار پوتریسین بر توت فرنگی رقم 'کاماروسا' تحت شرایط تنش شوری کلریدسدیم می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه هیدروپونیک موسسه فنی و حرفه‌ای زیبادشت کرج و آزمایشگاه‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد انجام شد. گلخانه به مساحت ۲۰۰ مترمربع به‌صورت تونل نیمه استوانه‌ای بود و سقف آن از نایلون‌های شفاف پلی‌اتیلن با درجه آنتی‌یووی ۵ درصد پوشانده شده بود. دما به‌طور مداوم با تعبیه حسگرهای ویژه و سیستم گرمایشی (هیترهای دمنده‌ی هوای گرم با توان

1. Putrescine
2. Spermidine
3. Spermine

۹۶۰۰۰ کیلوکالری بـر سـاعت و سـوخت گـاز طبیعـی) و سرمایشی (پوشال و پنکه) در طول روز ۲۵ و در شـب ۱۸ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. برای کاشت بوته‌ها گلدان‌های پلاستیکی ۱۰ لیتری در نظر گرفته شد. هر یک از گلدان‌هـا با مخلوط ۶۰٪ کوکوپیت و ۴۰٪ پرلایـت، بـه‌عنـوان بسـتر رایج در گلخانه‌های منطقه، پر گردید و در داخل هر گلدان تعداد سه عدد بوته توت فرنگی رقم 'کاماروسـا' (بـا سـن تقریبی ۴/۵ ماه) کشت گردید. در ابتدا به مدت یـک هفتـه تمامی گلدان‌ها با محلول غذایی ویژه (جدول ۱) که روزی دو بار به‌صورت قطره‌ای با رهـاسـازی در پـای گلـدان‌هـا تغذیـه شـدند تـا اسـتقرار کامـل صـورت گیـرد. هـدایت الکتریکی محلول غذایی ۱/۸–۱/۲ میلی‌موس بر سـانتی‌متـر مربع اندازه‌گیری شد. آزمـایش از اول آذر ۱۳۹۳ شـروع و در اواخر اردیبهشت ۱۳۹۴ خاتمه یافت.

جدول ۱. مقدار عناصر غذایی موجود در محلول تخصصی پرورش توت‌فرنگی

عنصر غذایی	Mn	Cu	B	Zn	Mo	S	N	P	K	Ca	Mg
مقدار (mg/L)	۰/۵	۰/۰۸	۱/۲	۰/۶	۰/۱۷	۸۰	۱۶۶	۸۵	۱۸۰	۵۵	۳/۵

این آزمایش به‌صورت فاکتوریـل در قالـب طـرح پایـه بلـوک‌هـای کامـل تصـادفی در چهـار تکـرار اجـرا شـد. فاکتورهـای آزمـایش شـامل تیمـار کلریدسـدیم و تیمـار پوتریسین بودند. آزمایش در چهار ردیف بـه‌عنـوان چهـار بلوک آزمایشی (هر یک دارای ۱۸ گلدان و در مجمـوع ۷۲ گلدان) اجرا گردید. در هر یک از بلوک‌های آزمایشی، هـر یک از غلظت‌های کلریدسدیم روی ۶ گلدان اعمال گردید. در هر بلوک‌های آزمایشی و در هر یـک از سـطوح تیمـار شوری نیز، هر یـک از سـطوح تیمـار پوتریسـین روی دو گلدان به‌عنوان دو نمونه آزمایشی اعمال گردید. تیمارهـای شوری اعمال شده شامل کلریدسدیم (تهیه شده از شـرکت مرک) در سه غلظت صـفر، ۲۵ و ۵۰ میلـی‌مـولار بـود کـه همراه با محلول غذایی از طریق ریشه اعمال گردید. بـرای این منظور هر یک از تیمارهای شوری در مخزن‌های مجـزا در محلول غذایی حل شده و همراه با محلول غذایی در دو نوبت صبح و عصر در محیط ریشه اعمـال گردیـد. در هـر نوبت مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر از محلول غذایی به بوته‌هـا داده شد. پوتریسین (تهیـه شـده از شـرکت سـیگما، بـا فرمـول شـیمیایی $C_4H_{12}N_2$ و وزن مولکـولی ۸۸) در سـه غلظـت صفر به‌عنوان شاهد، ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار در چهار نوبت بـه فاصله ۱۵ روز از یکدیگر در طول دوره رشد روی بوته‌هـا به‌صورت محلول‌پاشی اعمال شـدند. اولـین محلـول‌پاشـی پوتریسین همزمان با اعمال تیمار شـوری صـورت گرفـت. محلول‌پاشی تا آنجایی اعمال گردید که به‌صـورت قطراتـی در حال چکیده‌شدن از بوته‌هـا بـود. بـرای افـزایش سـطح جذب محلول به‌عنوان مویان از توئین – ۲۰ استفاده شد.

تعداد میوه، وزن هر یک از میـوه‌هـا و تعـداد بـرگ‌هـا تشکیل شده در طول دوره رشد شـمارش شـدند و سـپس بوته‌ها از محیط کشت خـارج و بـرای انـدازه‌گیـری سـایر شاخص‌ها به آزمایشگاه باغبانی دانشگاه شاهد منتقل شدند. عملکرد تک بوته از حاصلضرب تعداد میوه در وزن میوه‌ها محاسبه گردید. ویژگی‌های رویشی اندازه‌گیری شده در هر بوته شامل طول شاخساره، طول ریشه، وزن تر شاخسـاره، وزن خشک شاخساره، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشـه و مقدار کلروفیل کل برگ بود. برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌های به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد درون آون خشک و سپس توزین شدند.

برای اندازه‌گیری کلروفیـل، مقـدار ۰/۲ گـرم از بافـت برگی با ۲۰ میلی‌لیتر اسـتون ۸۰ درصـد بـه خـوبی توسـط هاون چینی همگن گردید. سپس محلول حاصله در ۱۰۰۰۰

دور به مدت ۱۰ دقیقه و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. درنهایت، میزان جذب محلول حاصله در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتری توسط دستگاه اسپکتروفتومتری قرائت و مقدار کلروفیل کل با استفاده از فرمول زیر به‌دست آمد [۲۳]:

رابطه (۱)

کلروفیل کل(mg/gr^{-1})در ۶۴۵نانو متر)۲۰/۲}= ×{(جذب در ۶۶۳ نانومتر)۸/۰۲+(جذب V/(1000×W)

در این رابطه، V حجم نمونه و W وزن تر نمونه می‌باشد.

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های میوه، میوه‌های هر یک از واحدهای آزمایشی مجزا شده و متوسط وزن تر و خشک تک میوه (پس از خشک شدن در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت) با استفاده از ترازوی دیجیتالی تعیین شد. سپس میوه‌ها توسط دستگاه آب میوه‌گیری عصاره‌گیری شد و برای اندازه‌گیری مقدار مواد جامد محلول یک قطره از آب میوه توسط دستگاه رفرکتومتر دستی (مدل Otago Manual) قرائت گردید و داده‌های حاصله بر حسب واحد درجه بریکس یادداشت شدند. برای اندازه‌گیری درصد اسید قابل تیتراسیون مقدار ۵ میلی‌لیتر از عصاره میوه با آب مقطر به حجم نهایی ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد سپس عصاره با استفاده از سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH نهایی ۸/۲ تیتر شد.

برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین یک گرم از بافت میوه در داخل هاون چینی با استفاده از ازت مایع پودر شده و سپس به همراه ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (۱٪) در هاون چینی به خوبی ساییده شد. عصاره آماده شده با استفاده از دستگاه سانترفیوژ در ۱۰۰۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه در دمای $4C^{\circ}$ سانتریفیوژ گردید. سپس محلول رویی جمع‌آوری و میزان جذب آن در طول موج ۵۴۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید [۱۰].

داده‌ها پس از بررسی نرمال بودن با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۳) تجزیه شده و برای مقایسه اختلاف بین میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات رویشی بوته توت فرنگی

بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر کلریدسدیم بر تعداد برگ، طول شاخساره، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک شاخساره و مقدار کلروفیل برگ معنی‌دار شد، ولی بر طول ریشه معنی‌دار نشد. اثر تیمار پوتریسین نیز بر تعداد برگ، طول شاخساره، وزن تر و خشک شاخساره و مقدار کلروفیل برگ معنی‌دار بود، ولی بر طول ریشه و وزن تر و خشک ریشه معنی‌دار نبود. برهمکنش بین کلریدسدیم و تیمار پوتریسین تنها در تعداد برگ معنی‌دار و در سایر خصوصیات رویشی معنی‌دار نشد.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین با اعمال تیمار کلریدسدیم در هر دو غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار تعداد برگ تک بوته در مقایسه با شاهد کاهش یافت. تعداد برگ در کلریدسدیم ۵۰ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری کمتر از تعداد برگ در کلریدسدیم ۲۵ میلی‌مولار بود (جدول ۳). با اعمال تیمار پوتریسین در هر دو غلظت ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار تعداد برگ تک بوته در مقایسه با شاهد افزایش یافت و اختلاف معنی‌داری نیز بین دو تیمار ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار پوتریسین از نظر تعداد برگ تک بوته مشاهده نشد (جدول ۴). در برهمکنش کلریدسدیم و پوتریسین با بالا رفتن غلظت کلریدسدیم اثر تعدیلی تیمار پوتریسین بیشتر شد و بیشترین تعدیل و افزایش تعداد برگ در تیمار پوتریسین ۳ میلی‌مولار و شوری کلریدسدیم ۵۰ میلی‌مولار به‌دست آمد (جدول ۵).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تنش کلریدسدیم بر خصوصیات رویشی توت‌فرنگی رقم 'کامارووسا' در حضور پوتریسین

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		تعداد برگ	طول ریشه	طول شاخساره	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر شاخساره	وزن خشک شاخساره	کلروفیل کل
بلوک	۳	۳/۴۳^{ns}	۲۴/۵۹^{ns}	۴/۶۳^{ns}	۱/۳۷^{ns}	۰/۵۹^{ns}	۱۰/۳۲^{ns}	۵/۷۴*	۰/۰۰۲^{ns}
کلرید سدیم	۲	۷۰/۵۲**	۰/۴۱^{ns}	۶۳/۰۲**	۳۸/۰۲*	۱۲/۶۰*	۲۷۴/۳۶**	۲۸/۱۳**	۰/۰۸ **
تیمار پوترسین	۲	۳۷/۱۹**	۱۷/۸۱^{ns}	۲۱/۸۶*	۰/۵۴^{ns}	۰/۴۴^{ns}	۴۴/۲۷*	۶/۴۷*	۰/۰۹ **
سدیم × پوترسین	۴	۱۴/۱۱*	۶/۷۲^{ns}	۵/۶۵^{ns}	۰/۷۱^{ns}	۰/۱۶^{ns}	۱۶/۶۶^{ns}	۱/۳۸^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}
خطای آزمایش	۲۴	۲/۳۹	۱۶/۹۸	۴/۶۵	۱/۴۵	۰/۴۴	۱۱/۰۰	۱/۵۱	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات	—	۷/۹۵	۱۶/۰۱	۸/۱	۷/۳۵	۸/۲	۷/۳	۷/۷۵	۵/۵

* و ** معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ۵ درصد و ns عدم معنی داری را نشان می‌دهند.

جدول ۳- اثر تیمار کلریدسدیم بر برخی شاخص‌های رویشی گیاه توت فرنگی رقم 'کاماروسا'.

کلرید سدیم	شاخص						
	تعداد برگ --	طول شاخساره (cm)	وزن تر ریشه (gr)	وزن خشک ریشه (gr)	وزن تر شاخساره (gr)	وزن خشک شاخساره (gr)	کلروفیل کل (mg/gr^{-1})
شاهد	۲۱^{a}	۲۷/۰۸^{a}	۱۷/۱۱^{a}	۹/۳۱^{a}	۴۸/۵۲^{a}	۱۵/۷۹^{a}	۱/۰۴^{a}
۲۵ میلی مولار	۱۸/۹۱^{b}	۲۴/۸۳^{ab}	۱۵/۶۳^{b}	۸/۳۴^{b}	۴۴/۷۵^{b}	۱۴/۴۷^{b}	۰/۹۲^{b}
۵۰ میلی مولار	۱۶/۱۶^{c}	۲۲/۵^{c}	۱۳/۵۷^{c}	۷/۲۷^{c}	۳۹/۰۲^{a}	۱۲/۷۴^{c}	۰/۸۸^{c}

میانگین‌هایی با حروف مشابه دارای اختلاف معنی‌دار نسبت به یکدیگر در سطح ۵٪ آزمون LSD نمی‌باشند.

جدول ۴- اثر تیمار پوتریسین بر برخی شاخص‌های رویشی گیاه توت فرنگی رقم 'کاماروسا'.

پوتریسین	شاخص				
	تعداد برگ --	طول شاخساره (cm)	وزن تر شاخساره (gr)	وزن خشک شاخساره (gr)	کلروفیل کل (mg/gr^{-1})
صفر میلی مولار	۱۶/۶۶^{b}	۲۳/۲۵^{b}	۴۱/۹۱^{b}	۱۳/۵۰^{b}	۰/۸۴^{b}
۱/۵ میلی مولار	۱۹/۵۸^{a}	۲۵/۶۶^{a}	۴۴/۸۵^{a}	۱۴/۶۱^{a}	۰/۹۸^{a}
۳ میلی مولار	۱۹/۸۳^{a}	۲۵/۵^{a}	۴۵/۵۳^{a}	۱۴/۸۹^{a}	۱/۰۱^{a}

میانگین‌هایی با حروف مشابه دارای اختلاف معنی‌دار نسبت به یکدیگر در سطح ۵٪ آزمون LSD نمی‌باشند.

جدول ۵- اثر برهمکنش بین کلریدسدیم و تیمار پوتریسین بر برخی خصوصیات گیاه و میوه توت فرنگی رقم 'کاماروسا'.

کلرید سدیم	پوتریسین	تعداد برگ --	تعداد میوه --	اسید قابل تیتر (%)	مقدار آنتوسیانین (ABS at 520nm)
	صفر میلی مولار	۲۰^{abc}	۴۱/۶۶^{a}	۱/۳۵^{abc}	۰/۶۶^{f}
صفر میلی مولار	۱/۵ میلی مولار	۲۲^{a}	۴۱^{a}	۱/۳۷^{abc}	۱/۳۱^{e}
	۳ میلی مولار	۲۱^{ab}	۴۱/۳۳^{a}	۱/۴۳^{a}	۱/۸۳^{d}
	صفر میلی مولار	۱۸^{cd}	۳۷/۳۳^{cd}	۱/۲۹^{c}	۱/۲۹^{e}
۲۵ میلی مولار	۱/۵ میلی مولار	۱۹/۷۵^{bc}	۳۹/۳۳^{abc}	۱/۳۳^{bc}	۱/۲۹^{e}
	۳ میلی مولار	۱۹^{bcd}	۴۰/۳۳^{ab}	۱/۴۱^{ab}	۲/۴۵^{bc}
	صفر میلی مولار	۱۲^{e}	۳۱/۱۶e	۰/۹۰^{e}	۲/۰۷^{cd}
۵۰ میلی مولار	۱/۵ میلی مولار	۱۷^{d}	۳۶^{d}	۱/۱۴^{d}	۲/۷۵^{b}
	۳ میلی مولار	۱۹/۵^{bc}	۳۸/۳۳^{bcd}	۱/۱۵^{d}	۳/۱۵^{a}

میانگین‌هایی با حروف مشابه دارای اختلاف معنی‌دار نسبت به یکدیگر در سطح ۵٪ آزمون LSD نمی‌باشند.

در بررسی مشابه‌ی که بر روی توت‌فرنگی رقم 'سلوا' انجام شد، کاهش تعداد برگ در شرایط تنش شوری کلریدسدیم مشاهده شد که با نتایج به دست آمده در این پژوهش انطباق دارد [۳]. دلیل کاهش تعداد برگ در شرایط تنش، اثرات استرس شوری در پایین آمدن راندمان فتوسنتز و ساخت ماده خشک و همچنین، کاهش جذب آب و املاح توسط ریشه می‌باشد که نهایتاً باعث پایین آمدن رشد رویشی می‌شود [۱۱]. پوتریسین با اثرگذاری مثبت بر کنترل عوامل آسیب‌رسان در شرایط تنش باعث بهبود رشد رویشی و در نهایت تولید برگ گردید [۳۲].

بر اساس نتایج مقایسه میانگین با اعمال تیمار کلریدسدیم در هر دو غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار مقدار کلروفیل کل برگ در مقایسه با شاهد کاهش یافت، اثر تیمار کلریدسدیم ۵۰ میلی‌مولار در کاهش مقدار کلروفیل برگ بیشتر از اثر تیمار کلریدسدیم ۲۵ میلی‌مولار از این نظر بود (جدول ۳).

بر اثر اعمال تیمار پوتریسین در هر دو غلظت ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار مقدار کلروفیل کل برگ در مقایسه با شاهد افزایش یافت. اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار پوتریسین از نظر مقدار کلروفیل کل مشاهده نشد (جدول ۴). دلیل اثرات سوء کلریدسدیم بر مقدار کلروفیل برگ تخریب کلروفیل موجود در کلروپلاست از طریق آنزیم کلروفیل‌آز در شرایط تنش می‌باشد. افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌آز به‌دلیل افزایش تولید اتیلن در شرایط تنش است [۲۲]. اثرات پلی‌آمین‌ها در کاهش تخریب کلروفیل تحت شرایط تنش می‌تواند به اثرات آنتی‌اکسیدانی پلی‌آمین مرتبط باشد [۱۳]. ثابت شده است که کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها می‌تواند گیاه را در برابر صدمات اکسیداتیو و پروکسیداتیوی لیپیدها محافظت کند [۳۲]. همچنین، گزارش شده است که پلی‌آمین‌ها از طریق تحریک سنتز ATP انرژی سلول را تامین می‌کنند و ظرفیت فتوسنتزی با افزایش کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II در شرایط شوری بهبود می‌یابد [۳۵].

با اعمال تیمار کلریدسدیم در هر دو غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار اندازه طول شاخساره در مقایسه با شاهد کاهش یافت و اختلاف معنی‌دار نیز بین دو تیمار کلریدسدیم مشاهده شد. به‌طوری‌که، تیمار کلریدسدیم ۵۰ میلی‌مولار به طور معنی‌داری دارای طول شاخساره کمتری در مقایسه با کلریدسدیم ۲۵ میلی‌مولار بود (جدول ۳). با اعمال تیمار پوتریسین در هر دو غلظت ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار اندازه طول شاخساره در مقایسه با شاهد افزایش یافت و اختلاف معنی‌دار بین دو تیمار ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار پوتریسین از نظر اندازه طول شاخساره مشاهده نشد (جدول ۴). دلیل اصلی کاهش طول شاخساره در شرایط شوری کلریدسدیم کاهش فعالیت هیدرولازهای متصل به دیواره سلولی است که منجر به کاهش انعطاف‌پذیری دیواره و در نهایت کاهش رشد گیاه می‌شود [۳]. مشابه با نتایج این پژوهش در بررسی اثر تیمار پوتریسین بر رشد و فتوسنتز گیاه دارویی تاتوره در پاسخ به تنش شوری گزارش شده است که طول شاخساره در اثر تیمار شوری کاهش یافت و تیمار پوتریسین منجر به افزایش طول شاخساره شد [۸]. تأثیر مثبت پوتریسین در افزایش طول شاخساره احتمالاً مربوط به نقش این هورمون در افزایش تقسیم سلولی و افزایش سایر هورمون‌های گیاهی از قبیل اکسین و جیبرلین و کاهش مقدار اسید آبسیزیک می‌باشد [۱۶].

بر اساس نتایج با اعمال تنش شوری کلریدسدیم در هر دو غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار مقدار وزن تر و خشک ریشه در مقایسه با شاهد به طور معنی‌دار کاهش یافت، در این بین بیشترین کاهش مقدار وزن تر و خشک ریشه در غلظت ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم مشاهده شد (جدول ۳). دلیل کاهش وزن تر ریشه در شرایط تنش شوری، کاهش مقدار مواد فتوسنتزی در سیستم گیاه و همچنین، فشار

اسمزی بالا در محیط ریشه وکاهش مقدار آب بافت‌های ریشه می‌باشد [۵]. مشابه با نتایج این پژوهش در بررسی اثرات تنش شوری کلریدسدیم بر گیاه توت‌فرنگی نشان داده شده است که با بالا رفتن غلظت کلریدسدیم وزن تر و خشک ریشه بیشتر کاهش یافت [۳۴]. همچنین در دو رقم کنار پیوندی افزایش شدت تنش شوری کلریدسدیم موجب کاهش وزن ریشه شد [۶]. تیمار پوتریسین تاثیری بر رشد ریشه در این آزمایش نشان نداد.

با اعمال تیمار کلریدسدیم در هر دو غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار اندازه طول شاخساره و مقدار وزن تر و خشک شاخساره در مقایسه با شاهد کاهش یافت و اختلاف معنی‌داری نیز بین دو تیمار کلریدسدیم مشاهده شد. به‌طوری‌که تیمار کلریدسدیم ۵۰ میلی‌مولار به طور معنی‌داری طول شاخساره و وزن تر و خشک کمتری در مقایسه با کلریدسدیم ۲۵ میلی‌مولار دارا بود (جدول ۳). با اعمال تیمار پوتریسین در هر دو غلظت ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار اندازه طول شاخساره و وزن تر و خشک شاخساره در مقایسه با شاهد افزایش یافت و اختلاف معنی‌داری نیز بین دو تیمار ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار پوتریسین مشاهده نشد (جدول ۴). مشابه با نتایج پژوهش حاضر، در بررسی اثر تیمار پوتریسین بر رشد و فتوسنتز گیاه دارویی تاتوره در پاسخ به تنش شوری گزارش شده است که رشد شاخساره در اثر تیمار شوری کاهش و تیمار پوتریسین منجر به افزایش رشد شاخساره شد [۸]. کاهش اثرات تنش شوری توسط تیمار پوتریسین به خاصیت آنتی‌اکسیدانی این تیمار و ثبات غشای سلولی در حضور این ترکیبات مرتبط می‌باشد. تأثیر مثبت پوتریسین در افزایش رشد شاخساره احتمالاً مربوط به نقش این هورمون در افزایش تقسیم سلولی و افزایش سایر هورمون‌های گیاهی از قبیل اکسین و جیبرلین و کاهش مقدار اسید آبسیزیک است [۱۶].

۳-۲- ویژگیهای میوه توت فرنگی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶)، اثر کلریدسدیم بر تعداد میوه در بوته، عملکرد بوته، وزن تر تک میوه، وزن خشک تک میوه، مقدار مواد جامد محلول، درصد اسید قابل‌تیتر و مقدار آنتوسیانین میوه معنی‌دار شد. اثر تیمار پوتریسین نیز بر تعداد میوه در بوته، عملکرد بوته، وزن تر میوه، مقدار مواد جامد محلول، درصد اسیدقابل تیتر و مقدار آنتوسیانین معنی‌دار بود، ولی بر وزن خشک میوه اثر معنی‌داری نداشت. اثر برهمکنش بین کلریدسدیم و تیمار پوتریسین به غیر از تعداد میوه در بوته و آنتوسیانین بر سایر شاخص‌ها غیرمعنی‌دار بود.

با اعمال تیمار کلریدسدیم در هر دو غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار تعداد میوه در بوته در مقایسه با شاهد کاهش یافت، اثر غلظت ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم به‌طور معنی‌داری بیشتر از اثر غلظت ۲۵ میلی‌مولار در کاهش تعداد میوه در بوته بود (جدول ۷). پوتریسین در هر دو غلظت ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار تعداد میوه در بوته را در مقایسه با شاهد افزایش داد. اختلاف معنی‌داری بین دو تیمار ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار پوتریسین از نظر تعداد میوه مشاهده نشد (جدول ۸). در برهمکنش بین کلریدسدیم و پوتریسین در غلظت صفر میلی‌مولار کلریدسدیم اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای پوتریسین و شاهد از نظر تعداد میوه در بوته مشاهده نشد. اما، با بالا رفتن غلظت کلریدسدیم اثر تعدیلی پوتریسین بر افزایش تعداد میوه در بوته بیشتر شد (جدول ۵). دلیل کاهش تعداد میوه در تنش شوری کلریدسدیم بهم‌خوردن تعادل هورمونی گیاه، ریزش بیشتر گل‌ها و کاهش فتوسنتز و فراهم‌آوری موادغذایی است [۱۴]. تیمار پلی‌آمین‌ها نیز به‌عنوان تیماری موثر در کاهش اثرات تنش شوری و همچنین تیماری موثر در افزایش تشکیل میوه منجر به افزایش تعداد میوه در گیاهان می‌شود [۲۶].

جدول۶- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش کلریدسدیم بر ویژگی‌های میوه توت‌فرنگی رقم 'کاماروسا' در حضور پوتریسین

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		تعداد میوه	عملکرد کل	وزن تر میوه	وزن خشک میوه	مواد جامد محلول	اسیدقابل تیتر	آنتوسیانین
بلوک	۳	۲۹/۵۶**	۳۶۶۶/۱۸**	۱/۴۴^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۰/۵*	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۶^{ns}
کلرید سدیم	۲	۱۱۶/۳۳**	۲۰۹۲۳/۶۴*	۷/۸۰**	۰/۲۵**	۱/۳۳**	۰/ ۳۷**	۶/۱۴**
تیمار پوتریسین	۲	۳۲/۹۲**	۳۱۴۲/۱۷*	۱/۹۴*	۰/۰۱^{ns}	۰/۷۸*	۰/۰۷**	۳/۹۰**
سدیم × پوتریسین	۴	۱۵/۱۴**	۱۱۴۰/۶^{ns}	۰/۳۸^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۴۴^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۲۰*
خطای آزمایش	۲۴	۳/۳۲	۶۳۷/۵۲	۰/۵۰	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۰۰۴	۰/۰۶
ضریب تغییرات	--	۴/۳	۱۰/۸۸	۹	۱۶/۳	۱۱/۲	۵/۴	۱۱/۹

* و** معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ۵ درصد و ns عدم معنی داری را نشان می‌دهند

جدول ۷- اثر تیمار کلریدسدیم بر برخی ویژگیهای میوه توت فرنگی رقم 'کاماروسا'.

کلرید سدیم	شاخص						
	وزن تر میوه (gr)	وزن خشک میوه (gr)	تعداد میوه --	عملکرد کل (gr/plant)	مواد جامد محلول (°Brix)	اسید قابل تیتراسیون (%)	آنتوسیانین (ABS at 520nm)
صفر میلی مولار	۸/۰۶^{a}	۱/۲۰^{a}	۴۱/۳۳^{a}	۲۵۳/۰۶^{a}	۳/۰۲^{b}	۱/۳۹^{a}	۱/۲۶^{c}
۲۵ میلی مولار	۷/۲۹^{b}	۱/۰۸^{a}	۳۹^{b}	۲۱۱/۹۱^{b}	۳/۵۳^{a}	۱/۳۴^{a}	۱/۶۷^{b}
۵۰ میلی مولار	۶/۴۵^{c}	۰/۹۱^{b}	۳۵/۱۶^{c}	۱۶۹/۵۵^{c}	۳/۶۵^{a}	۱/۰۶^{b}	۲/۶۶^{a}

میانگین‌هایی با حروف مشابه دارای اختلاف معنی‌دار نسبت به یکدیگر در سطح ۵٪ آزمون LSD نمی‌باشند.

تیمار کلریدسدیم در هر دو غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار وزن تر میوه در مقایسه با شاهد را کاهش داد. بیشترین کاهش وزن تر میوه نیز در غلظت ۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم مشاهده شد (جدول ۷). تیمار پوتریسین در هر دو غلظت ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار متوسط وزن تک میوه را افزایش داد. هرچند، اختلاف معنی‌دار بین شاهد و پوتریسین ۱/۵ میلی‌مولار از نظر متوسط وزن میوه مشاهده نشد، ولی تیمار پوتریسین ۳ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری وزن تر میوه را در مقایسه با شاهد افزایش داد (جدول ۸).

از دلایل مهم کاهش وزن میوه در گیاهان تحت تنش کلریدسدیم بهم خوردن تعادل هورمونی میوه و گیاه در اثر تنش شوری می‌باشد [۱۴]. دلیل کاهش وزن تر و اندازه تک میوه در شرایط تنش شوری ممانعت از جذب و انتقال آب به درون میوه‌ها می‌باشد [۲۹]. پوتریسین به‌دلیل بالا بردن تولید هورمون‌های اکسین و جیبرلین و نهایتاً به‌دلیل بالا بردن تقسیم سلولی و رشد میوه‌ها اندازه و وزن تر میوه‌ها را بالا می‌برد [۱۶].

جدول ۸- اثر تیمار پوتریسین بر برخی ویژگیهای میوه توت فرنگی رقم 'کاماروسا'.

پوتریسین	شاخص					
	وزن تر میوه (gr)	تعداد میوه --	عملکرد کل (gr/plant)	مواد جامد محلول (°Brix)	اسید قابل تیتراسیون (%)	آنتوسیانین (ABS at 520nm)
صفر میلی مولار	۶/۸۳^{b}	۳۶/۷۲^{b}	۱۹۳/۶۷^{b}	۳/۶۶^{a}	۱/۱۸^{b}	۱/۳۴^{c}
۱/۵ میلی مولار	۷/۳۵^{ab}	۳۸/۷۷^{a}	۲۱۵/۶^{a}	۳/۳۸^{ab}	۱/۲۸^{a}	۱/۷۸^{b}
۳ میلی مولار	۷/۶۳^{a}	۴۰^{a}	۲۲۵/۲۵^{a}	^{b}۳/۱۵	۱/۳۳^{a}	۲/۴۷^{a}

میانگین‌هایی با حروف مشابه دارای اختلاف معنی‌دار نسبت به یکدیگر در سطح ۵٪ آزمون LSD نمی‌باشند.

با اعمال تیمار کلریدسدیم در هر دو غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار مقدار عملکرد تک بوته در مقایسه با شاهد کاهش یافت. مقدار عملکرد کلریدسدیم ۵۰ میلی‌مولار نیز به طور معنی‌داری کمتر از مقدار عملکرد کلریدسدیم ۲۵ میلی‌مولار بود (جدول ۷). با اعمال تیمار پوتریسین در هر دو غلظت ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار مقدار عملکرد در مقایسه با شاهد افزایش یافت، اختلاف معنی‌داری نیز بین دو تیمار ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار پوتریسین از نظر مقدار عملکرد تک بوته مشاهده نشد (جدول ۸).

نتایجی مشابه با پژوهش حاضر در مورد اثر تنش شوری کلریدسدیم در کاهش مقدار محصول تک بوته توت‌فرنگی در پژوهشهای دیگر نیز مشاهده شده است [۹ و ۲۲]. کاهش مقدار عملکرد بوته در شرایط تنش شوری کلریدسدیم از دو عامل کاهش تعداد میوه و کاهش وزن تر میوه در اثر شوری تاثیر می‌گیرد. تاثیرات مثبت پوتریسین در افزایش عملکرد ناشی از تاثیر آن بر افزایش تعداد میوه و افزایش وزن تر تک میوه می‌باشد [۳۳].

بر اساس نتایج مقایسه میانگین مقدار وزن خشک میوه در تیمار کلریدسدیم ۵۰ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری کمتر از مقدار وزن خشک میوه در شرایط شاهد و کلریدسدیم ۲۵ میلی‌مولار بود، ولی بین شاهد و کلریدسدیم ۲۵ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری از نظر وزن خشک میوه مشاهده نشد (جدول ۷). در پژوهش‌های مشابه و در بررسی اثر تنش شوری کلریدسدیم بر گیاه توت‌فرنگی گزارش شده است که وزن خشک میوه نسبت به شاهد در اثر تیمار شوری به‌صورت چشمگیری کاهش یافت [۵ و ۹]. دلیل اصلی این کاهش مربوط به آسیب‌های وارده به سیستم فتوسنتز در اثر تنش شوری می‌باشد که در نتیجه منجر به کاهش ماده خشک میوه‌ها می‌گردد [۱۱]. در آزمایش حاضر، اثر تیمار پوتریسین بر وزن خشک میوه معنی‌دار نبود.

با اعمال تیمار کلریدسدیم در هر دو غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار مقدار مواد جامد محلول در مقایسه با شاهد افزایش یافت و اختلاف معنی‌داری بین دو غلظت کلریدسدیم از نظر مقدار مواد جامد محلول مشاهده نشد (جدول ۷). میوه‌های تیمار پوتریسین ۳ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری مقدار مواد جامد محلول کمتری در مقایسه با میوه‌های شاهد دارا بودند، ولی بین میوه‌های تیمار پوتریسین ۱/۵ میلی‌مولار و شاهد اختلاف معنی‌داری از نظر مقدار مواد جامد محلول مشاهده نشد (جدول ۸). نتایج پژوهش مشابه‌ای نشان داد که با افزایش سطح کلریدسدیم مقدار مواد جامد محلول میوه توت‌فرنگی افزایش یافت [۳ و ۲۱]. دلیل بالا رفتن مقدار مواد جامد محلول میوه‌ها تحت تنش شوری کاهش جذب آب و

غلیظ شدن شیره سلولی می‌باشد [۴ و ۷]. در بررسی اثر تیمار پوتریسین بر خصوصیات توت‌فرنگی واریته سلوا گزارش شده است که محلول‌پاشی بوته‌ها با پوتریسین ۲/۵ میلی‌مولار مقدار مواد جامد محلول میوه‌ها را در مقایسه با شاهد کاهش داد که احتمالاً به‌دلیل افزایش محتوای آب سلولی در اثر تیمار پلی‌آمین‌ها می‌باشد [۱۹].

با اعمال تیمار کلریدسدیم در هر دو غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار درصد اسید قابل تیتر میوه در مقایسه با شاهد کاهش یافت، اثر غلظت ۵۰ میلی‌مولار در کاهش درصد اسیدقابل تیتر به‌طور معنی‌داری بیشتر از اثر غلظت ۲۵ میلی‌مولار بود (جدول ۷). با اعمال تیمار پوتریسین در هر دو غلظت ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار درصد اسید قابل تیتر میوه در مقایسه با شاهد افزایش یافت و اختلاف معنی‌داری بین دو تیمار ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار پوتریسین از نظر درصد اسید قابل تیتر میوه مشاهده نشد (جدول ۸). پایین آمدن مقدار اسید قابل تیتر میوه در شرایط تنش شوری به‌دلیل این است که افزایش مقدار کلریدسدیم و تنش آن در گیاه موجب تنفس سلولی و اکسید شدن بیشتر اسیدهای آلی می‌شود و این امر منجر به‌مصرف بیشتر اسیدهای میوه و کاهش درصد اسیدقابل تیتر میوه می‌گردد. کاربرد پوتریسین با کاهش اکسیداسیون سلولی منجر به کاهش مصرف اسیدهای آلی نسبت به شاهد در میوه توت‌فرنگی می‌شود [۳۶].

بر اساس نتایج تیمار کلریدسدیم در هر دو غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار منجر به افزایش معنی‌دار مقدار رنگیزه آنتوسیانین میوه در مقایسه با شاهد شد. در این بین اثر کلریدسدیم ۵۰ میلی‌مولار در افزایش مقدار آنتوسیانین به‌طور معنی‌داری بیشتر از اثر کلریدسدیم ۲۵ میلی‌مولار بود (جدول ۷). همچنین، پوتریسین ۳ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری دارای مقدار آنتوسیانین بیشتری در مقایسه با شاهد و پوتریسین ۱/۵ میلی‌مولار بود. تیمار پوتریسین ۱/۵ میلی‌مولار نیز به‌طور معنی‌داری دارای مقدار آنتوسیانین بیشتری در مقایسه با شاهد بود (جدول ۸). در برهمکنش شوری کلریدسدیم و تیمار پوتریسین بیشترین مقدار تجمع رنگیزه آنتوسیانین میوه در تیمار کلریدسدیم ۵۰ میلی‌مولار و تیمار پوتریسین ۳ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۵). نتایج پژوهش مشابه‌ای در بررسی اثرات شوری کلریدسدیم بر خواص کمی و کیفی دو نژاد توت‌فرنگی کرونا و السانتا، نشان داد که تیمار کلریدسدیم موجب افزایش مقدار آنتوسیانین میوه توت فرنگی گردید. در شرایط تنش فعالیت آنزیم PAL به‌عنوان آنزیم کلیدی در مسیر بیوسنتز ترکیبات فنیل پروپانوئیدی افزایش یافت و منجر به افزایش مقدار ترکیبات فنلی از جمله آنتوسیانین - گردید [۲۰]. تیمارهای پلی‌آمین‌های خارجی می‌توانند ژن‌های درگیر در سنتز آنتوسیانین مثل فنیل آلانین آمونیالیاز و چالکولن ایزومراز را تحریک کنند. علاوه بر آن تجمع پلی‌آمین در بافت‌های گیاهی در معرض تنش با اتصال به ترکیبات آنتوسیانینی از اکسایش آن‌ها جلوگیری کرد و غلظت آن‌ها را بالا برد [۳۳].

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش شوری کلریدسدیم موجب کاهش چشمگیر ویژگی‌های رویشی، عملکرد و کیفیت میوه توت‌فرنگی شد، ولی اعمال تیمار پوتریسین به‌صورت محلول‌پاشی اثرات مخرب شوری را کاهش داد و موجب بهبود رشد رویشی و زایشی توت‌فرنگی شد. درنتیجه می‌توان از پوتریسین به‌عنوان تیماری موثر برای تولید توت فرنگی در زمان استفاده از منابع آب نسبتاً شور استفاده نمود.

منابع

۱. بهنامیان م و مسیحا س (۱۳۸۱) توت‌فرنگی. انتشارات ستوده، تبریز، ۱۲۰ صفحه.

۲. جلیلی مرندی ر (۱۳۸۴) میوه‌های ریز. انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه، ارومیه، ۲۹۷ صفحه.

۳. سیدلر فاطمی ل، طباطبایی س ج و فلاحی ا (۱۳۸۸) اثر سیلیسیوم بر رشد و عملکرد توت‌فرنگی در شرایط شوری. مجله علوم باغبانی. ۲۳: ۸۸-۸۹.

۴. سیرویی نژاد ب، مرتضوی س م ح، معلمی ن و عشقی س (۱۳۹۲) تاثیر کاربرد پس از برداشت پوتریسین و پرتوتابی فرابنفش بر کیفیت میوه توت‌فرنگی رقم "سلوا". تولیدات گیاهی. ۳۶: ۱۱۷-۱۲۸.

۵. سعادتی ص و معلمی ن (۱۳۹۰) بررسی تاثیر محلول‌پاشی روی بر رشد و عملکرد گیاه توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری. مجله علوم باغبانی ایران. ۴۲: ۲۶۷-۲۷۵.

۶. گردی تختی ش (۱۳۹۰) تاثیر پلی‌آمین پوتریسین بر افزایش تحمل به نمک و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو رقم کنار پیوندی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.

۷. لایق م، پیوست غ ع، سمیع زاده ح و خصوصی م (۱۳۸۸) تاثیر شوری محلول غذایی بر رشد، عملکرد و صفات کیفی گوجه فرنگی در سیستم کشت بدون خاک. مجله علوم باغبانی ایران. ۴۰: ۱۱-۲۱.

۸. نیاکان م، رضاپور م ش و قربانلی م (۱۳۹۴). اثر پوترسین بر رشد، فتوسنتز و ترکیبات آلکالوئیدی گیاه دارویی تاتوره در پاسخ به تنش شوری تحت شرایط هیدروپونیک. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۲۱: ۱۱۱-۱۲۳.

۹. یوسفی م، طباطبایی س ج، حاجیلو ج و مهنا ن (۱۳۹۰). اثر تنش شوری کلریدسدیم در بخشی از سیستم ریشه بر عملکرد، کمیت و کیفیت میوه توت‌فرنگی. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۱: ۱۳۶-۱۴۴.

10. Aghamohammadi S, Mohammadian Ghotbeh M, Aghamohammadi V and Mohammadian A (2014) Influence of exogenous putrescine on total. Phenolic content and antioxidant activities in strawberry cv Gaviota. Vitae. 21: 315-324.

11. Ashraf M (2004) Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. 199: 361-376.

12. Cantrell IC and Linderman RG (2001) Preinoculation of lettuce and onion with VA mycorrhizal fungi reduces deleterious effects of soil salinity. Plant and Soil. 233: 269-281.

13. Cohen AS, Popovic RB and Zalik S (2004) Effects of polyamines on chlorophyll and protein content, photochemical activity, and chloroplast ultrastructure of barley leaf discs during senescence. Plant Physiology. 64: 717-720.

14. Fernandez-Ballester G, Garica-Sanchez F, Cerda A and Martinezm V (2003) Tolerance of citrus rootstock seedlings to saline stress based on their ability to regulate ion uptake and transport. Tree Physiology. 23: 265-271.

15. Giampieri F, Tulipani S, Alvarez-Suarez JM, Quiles J, Mezzetti LB and Battino M (2012) The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health. Nutrition. 28: 9-19.

16. Hussein MM, EL-Gereadly NHM and El-Desuki M (2006) Role of putrescine in resistance to salinity of pea plants (*Pisum sativum* L.). Applied Science Research. 2: 598-604.

17. Ioannidis NE, Sfichi L and Kotzabasis K (2006) Putrescine stimulates chemiosmotic ATP synthesis. Biochima et Biophysica Acta. 1757: 821– 828.

18. Jiang M and Zhang J (2001) Effect of abscisic acid on active oxygen species, antioxidative defense system and oxidative damage in leaves of maize seedlings. Plant Cell Physiology. 42: 1262–73.

19. Kazemi M (2013) Influence of foliar application of 5-sulfosalicylic acid, malic acid, putrescine and potassium nitrate on vegetative growth and reproductive characteristics of strawberry cv. 'Selva'. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences. 7: 93-101.

20. Keutgen AJ and Pawelzik E (2007) Modifications of strawberry fruit antioxidants pools and fruit quality under NaCl stress. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 55, 4066–4072.

21. Khayyat M, Tehranifar A, Akbarian A, ShayestehNia S and Khabari S (2009) Effects of calcium forms on electrolyte leakage, total nitrogen, yield and biomass production by strawberry plants under NaCl salinity. Journal of Central European Agriculture. 10, 297-302.

22. Khan NA (2003) NaCl inhibited chlorophyll synthesis and associated changes in ethylene evolution and antioxidative enzyme activities in wheat. Plant Biology. 47: 437-440.

23. Lichtenthaler HK (1987) Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology. 148: 350−382.

24. Lester GE and Stein F (1993) Plasma membrane physicochemical changes during maturation and postharvest storage of muskmelon fruit. Journal of the American Society for Horticultural Sceince.118: 223–7.

25. Liu JH, Kitashiba H, Wang J, Ban Y and Moriguchi T (2007) Polyamines and their ability to provide environmental stress tolerance to plants. Plant Biotechnology. 24: 117-126.

26. Mishra SN and Sharma I (1994) Putrescine as a growth inducer and as a source of nitrogen for mustard seedlings under sodium chloride salinity. Indian Journal of Experimental Biology. 32: 916-8.

27. Noctor G and Foyer C (1998) Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 49: 249–79.

28. Rawson HM, Iong MJ and Munns R (1988) Growth and development in NaCl treated plants. Journal of Plant Physiology. 15: 519-527.

29. Sato S, Sakaguchi S, Furukawa H, and Ikeda H (2006) Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristic of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Scientia Horticulturae. 109: 248–253.

30. Singha S and Choudhuri MA (1990) Effect of salinity (NaCI) stress on H_2O_2 metabolism in Vigna and Oryza seedlings. Biochemie und Physiologie der Pflanzen.186: 69–74.

31. Stewart PJ (2011) *Fragaria* history and breeding . *In* Folta KM and Kole A [eds.], Genetics, genomics and breeding of berries, Science Publishers, New Hampshire, USA. pp. 114–137.

32. Tang W and Newton JR (2005) Polyamines reduced salt induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in Virginia pine. Plant Growth Regulation. 46: 31-43.

33. Valero D, Martinez-Romero D and Riquelme F (1998) Polyamine response to external mechanical bruising in two mandarin cultivars. HortScience. 33: 1220-1223.

34. Yildirim E, Karlidag H and Turan M (2001) Mitigation of salt stress in strawberry by foliar

K, Ca and Mg nutrient supply. Plant, Soil and Environment. 55: 213-221.

35. Zhang RH, Li J, Guo SR and Tezuka T (2009) Effects of exogenous putrescine on gas exchange characteristics and chlorophyll fluorescence of NaCl-stressed cucumber seedlings. Photosynthesis Research. 100: 155-162.

36. Zokaee- Khosroshahi MR, Esna-Ashari M and Ershadi A (2007) Effect of exogenous putrescine on post- harvest life of strawberry (*Fragaria ananassa Duch*.) fruit, cultivar 'Selva'. HortScience. 114:27-32.