Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 53, No 1, Spring 2022 (87-98)
DOI: 10.22059/ijhs.2020.285295.1679

علوم باغبانی ایران
دورۀ ۵۳، شمارۀ ۱، بهار ۱۴۰۱ (ص ۹۸-۸۷)

نشریه پژوهشی:

اثر منابع استات بر بهبود تحمل تنش شوری توت‌فرنگی رقم پاروس (*Fragaria* × *ananassa* cv. Paros)

زهرا میرفتاحی[۱] و سعید عشقی[۲*]
۱ و ۲. دانشجوی دکتری و استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/٤/۲٦ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۱٤)

چکیده

استات به‌عنوان یکی از مهمترین حدواسطها در متابولیسم‌های سلولی عمل می‌کند. جهت ارزیابی نقش منابع استات در تنش شوری، نشاهای توت‌فرنگی با منابع استات شامل آمونیوم استات و استیک اسید (۱ میلی‌مولار) و آمونیوم کربنات (۰/۵ میلی‌مولار) به‌صورت جداگانه و همراه با تنش شوری (٤۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) استفاده شد. تنش شوری باعث کاهش زیست‌توده در نشاهای توت‌فرنگی شد، ولی کمترین تغییر در میزان زیست‌توده در تیمارهای استات بود. بیشترین محتوای نسبی آب برگ نیز در تیمارهای استیک اسید و شاهد در شرایط بدون تنش شوری بود. شوری باعث تغییر در میزان ویتامین ث میوه شد، به گونه‌ای که بیشترین میزان آن در تیمار استیک اسید و کمترین در تیمار تنش شوری به‌تنهایی (به‌ترتیب، ۸٦/۳۳ و ٤۲/۵۰ میلی-گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) بود. بیشترین میزان عملکرد تک بوته در تیمار استیک اسید و کمترین آن در تیمارهای آمونیوم کربنات و تنش شوری به تنهایی بود. نسبت پتاسیم به سدیم در گیاهان تیمار شده با منابع مختلف استات، در مقایسه با دیگر تیمارهای بدون کاربرد استات بیشتر بود. در مجموع استات به ویژه تیمار استیک اسید در غلظت ۱ میلی‌مولار می‌تواند جهت بهبود تحمل به تنش شوری عمل کند و از سوی دیگر میزان کاهش کمتر عملکرد در شرایط تنش از دیگر ویژگی‌های مثبت این تیمار بود. از این‌رو می‌تواند به‌عنوان یکی از ارزانترین و ساده‌ترین ترکیبات در جهت افزایش تحمل به تنش و به‌ویژه تنش شوری در توت‌فرنگی مطرح شود.

واژه‌های کلیدی: آمونیوم استات، آمونیوم کربنات، استیک اسید، نسبت پتاسیم به سدیم.

The effect of acetate on improving salinity stress tolerance of strawberry cv. 'Paros'

Zahra Mirfattahi[1] and Saeid Eshghi[2*]
1, 2. Ph.D. Candidate and Professor, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
(Received: July 17, 2019- Accepted: May 03, 2020)

ABSTRACT

Acetate acts as one of the most important intermediates in cellular metabolism. To evaluate the role of acetate sources in salinity stress, strawberry transplants treated with different acetate sources including ammonium acetate and acetic acid (1 mM) and ammonium carbonate (0.5 mM) in two saline stress (40 mM NaCl) and no- stress conditions. Salinity stress reduced biomass in strawberry, but the least change in biomass was observed in acetate treatments. The highest leaf water content was observed in acetic acid and control treatments under salinity stress. Salinity caused a change in vitamin C content of the fruit, and the highest contents were observed in acetic acid treatment and the lowest salinity stress alone (86.33 and 42.50 mg/100 g FW, respectively). The highest yield per plant was in acetic acid treatment and the lowest in ammonium carbonate and salinity treatments alone. Potassium to sodium ratios was higher in plants treated different sources of acetate compared to other treatments without acetate application Overall, acetate, especially acetic acid treatment at 1 mM, can improve tolerance to salinity stress conditions in plants. On the other hand, the lower reduction of yield in salinity stress conditions is another positive feature of this treatment. Therefore, it can be considered as one of the cheapest and simplest compounds to increase stress tolerance, especially in salinity stress conditions in strawberries.

Keyword: Acetic acid, ammonium acetate, ammonium carbonate, potassium to sodium.

* Corresponding author E-mail: eshghi@shirazu.ac.ir

مقدمه

تنش‌های غیرزیستی مانند تنش شوری و خشکی، از جمله مهمترین تهدیدهای جدی برای کشاورزی و محیط زیست محسوب می‌شوند. این تهدیدها به‌صورت غیرمستقیم به‌وسیله گرم شدن زمین و رشد بی‌رویه جمعیت روز به روز در حال افزایش است (Koyro *et al.*, 2011). میانگین دمای جهانی کره زمین در قرن اخیر حدود یک درجه سلسیوس افزایش یافته و این میزان در سال‌های اخیر به‌شدت در حال افزایش بوده است و انتظار می‌رود که در اثر وقوع چنین اثرات ویرانگری، شور شدن زمین‌های کشاورزی و خشکسالی شدت یابد، به‌گونه‌ای که میزان خسارت‌های آن‌ها تا پایان قرن می‌تواند به میزان دو برابر افزایش یابد (Evans, 2005). همچنین کاهش روزافزون منابع آب و افزایش شوری آب‌های کشاورزی، به‌ویژه در سال های اخیر مشکلات بسیاری را در گیاهان به‌وجود آورده است، به‌گونه‌ای که افزایش تجمع نمک‌ها در منطقه ریشه گیاهان می‌تواند منجر به بروز پدیده‌هایی مانند کاهش میزان رشد، بافت مردگی برگ‌ها، تسریع روند پیری، پژمردگی و در نهایت مرگ گیاهان شود (Munns, 2011). تحمل به تنش شوری از جمله صفات با کنترل چند ژنی در گیاهان است که شامل دامنه وسیعی از مکانیسم‌های بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مولکولی است که در تمام گیاه، بافت و یا سطوح مختلف مولکولی/ سلولی می‌تواند متفاوت عمل نماید. از سوی دیگر، تنش شوری می‌تواند القاکننده تنش اسمزی و یونی در گیاهان باشد و همین موضوع می‌تواند منجر به کاهش رشد و نمو گیاهان شود (Parida and Dos, 2005). از جمله تغییرات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی ایجاد شده به‌وسیله شوری، می‌توان به کاهش رشد، بسته شدن روزنه‌ها، تنظیم اسمزی، جداسازی و خروج یون‌های مضر از سیتوسول و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، اشاره نمود. در حالت شدیدتر تنش شوری، به‌دلیل اختلال در کارکرد دستگاه فتوسنتزی، گونه‌های فعال اکسیژن تولید می‌شوند (Munns & Tester, 2008; Pang & Wang, 2008).

توت‌فرنگی (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) از جمله مهمترین محصولات گیاهی است که ارزش غذایی بالایی دارد و از نظر موادی مانند ویتامین ث، اسید فولیک، پتاسیم، منیزیم، آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها، فیبر و قندها غنی است (Caulet *et al.,* 2014). تولید توت‌فرنگی در مقایسه با سایر محصولات در ۳۰ سال گذشته در جهان تا ۶۸ درصد افزایش یافته است (FAOSTAT, 2010)، ولی به‌دلیل حساس بودن این محصول به تنش شوری (Levitt, 1980; Schwarz, 2012)، تولید این محصول در سال‌های اخیر، با شور شدن خاک‌های موجود در مناطق خشک و نیمه خشک و همچنین آب آبیاری کاهش یافته است (Sun *et al*., 2015).

در سال‌های گذشته، روش‌های متعددی برای بهبود تحمل به شوری در گیاهان به‌کار گرفته شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به کاربرد انواع مختلف مواد شیمیایی شامل تنظیم کننده‌های رشد و محافظت کننده‌های اسمزی اشاره نمود، که در مقایسه با روش‌های تغییر ژنتیکی موثر و مقرون به‌صرفه می‌باشند. استفاده از این قبیل مواد، رشد و عملکرد برخی گونه‌های رشد کرده در شرایط تنش شوری را افزایش می‌دهد (Ashraf & Hariis, 2004). تیمارهایی مانند سیلیسیوم (Fatemy *et al.,* 2009)، سولفات روی (Saadati & Moallemi, 2011) ، سولفات کلسیم (Khayyat *et al.,* 2009) ، نانو پتاسیم و سدیم نیتروپروساید (Saeedi *et al.,* 2022) ، اسید جاسمونیک و اسید آبسازیک (Jamalian, 2019) ، اسید سالسیلیک (Eshghi *et al.,* 2017) و سدیم نیتروپروساید (Jamali *et al*., 2014) از جمله تیمارهای موثر در کاهش اثر تنش شوری کلریدسدیم و افزایش عملکرد و بهبود ویژگی‌های رویشی میوه توت‌فرنگی بود.

استات از جمله مهمترین ترکیبات موجود در سلول‌ها است که به‌فرم فعال استیل کوآنزیم A در می‌آیند و در واقع به‌عنوان یک واسطه‌گر حیاتی مهم برای متابولیسم‌های سلولی عمل می‌کند (Hooks *et al*., 2004). پیشنهاد شده است که استات می‌تواند به‌عنوان یک فاکتور کنترل کننده، جهت انتقال از حالت هتروتروفیک به حالت اتوتروفیک در دانهال‌های گیاهان عمل نماید (Sheen, 1990). همچنین مشخص شده است که ۱۰ درصد ژن‌های موجود در چرخه‌های

تری کربوکسیلیک اسید و گلی‌اکسیلات به‌وسیله استات فعال می‌شوند. در سلول‌های جلبک نیز، استات مسئول بیان ژن‌های مرتبط با فتوسنتز در حضور نور هستند، چرا که استات نقش کارآمدتری را در مقایسه با نور برای تثبیت کربن دی‌اکسید دارند (Kindle, 1987). استیل کوآنزیم A سنتز شده در بسیاری از فرآیندها مانند تولید اسیدهای چرب، اسیدهای آمینه، ترکیبات فنلیک و آلکالوئیدها، سنتز برخی آنتی اکسیدان‌های غیرآنزیمی مانند بتاکاروتن و همچنین تولید هورمون‌های پاسخ‌دهنده در تنش مانند سایتوکینین‌ها، جیبرلین‌ها، اسیدآبسزیک و براسنواستروئیدها شرکت دارد، که به این وسیله می‌توانند تحمل گیاهان را در شرایط تنش شوری افزایش دهند (Kim *et al.,* 2017). در آرابیدوپسیس، مشخص شده است که گیاهان تیمار شده با غلظت-های ۲۰ و ۳۰ میلی‌مولار ترکیب استیک اسید در خاک، میزان تحمل به تنش خشکی، به‌وسیله یک مسیر متابولیکی در تغییر گلیکولیز به سنتز استات تغییر می‌کند را به‌وسیله فعال کردن مسیر پیغام‌رسانی جاسمونیک اسید باعث افزایش تحمل و زنده‌مانی در گیاهان شد (Kim *et al*., 2017). با توجه به نقش استات و اهمیت آن در چرخه‌های فتوسنتزی و به‌ویژه تنفسی سلول، به نظر می‌رسد، تاکنون پژوهشی در این راستا در گیاهان باغبانی انجام نشده است و تنها یک پژوهش در راستای افزایش تحمل به تنش خشکی در آرابیدوپسیس و برخی از گیاهان زراعی در سال‌های اخیر انجام شده است (Kim *et al*., 2017). از این رو پژوهش حاضر، با هدف بررسی تاثیر منابع مختلف تامین استات در جهت افزایش و بهبود تحمل به تنش شوری و شرایط طبیعی در توت‌فرنگی رقم پاروس و پیدا نمودن بهترین ترکیب و غلظت استات انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۹۷-۱۳۹۶ به مدت یک سال در گلخانه پژوهشی و آزمایشگاه بخش علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد. بدین منظور نشاهای توت‌فرنگی رقم پاروس از نهالستانی تجاری از شهرستان مریوان استان کردستان تهیه و ابتدا ریشه نشاهای توت‌فرنگی با قارچ‌کش مانکوزب با غلظت ۲ در هزار ضدعفونی گردید و سپس و درون گلدان‌های ۳ لیتری در بستر حاوی کوکوپیت و پرلیت به نسبت حجمی ۱:۱ کشت شدند. نشاها در ابتدا با آب معمولی که مشخصات آب مورد استفاده در آزمایش به شرح جدول ۱ آمده است، آبیاری شدند و پس از گذشت دو هفته، با محلول غذایی هوگلند (Hoagland & Arnon, 1950)، نیم غلظت و در مراحل بعدی با غلظت کامل تغذیه شدند، تا به اندازه مناسب، مرحله ۶-۵ برگی برای شروع تیمارهای آزمایشی برسند. دمای روز و شب به‌ترتیب ۳±۲۳ و ۳±۱۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد بود. تغذیه گیاهان نیز متناسب با نیاز آبی آن‌ها، یک روز در میان و میزان آن هم به‌گونه‌ای بود که حدود ۱۰ درصد از ته گلدان زهکش داشتند، انجام شد. پس از مرحله ۶-۵ برگی تیمارها در گیاهان اعمال شدند. برای اعمال تنش شوری از نمک کلرید سدیم ساخت شرکت Merck آمریکا در دو غلظت ۰ و ۴۰ میلی‌مولار که به‌صورت محلول در ترکیب غذایی و به صورت یک روز در میان، انجام شد. همچنین برای جلوگیری از تجمع نمک در ته گلدان‌ها، برای هر ۴ بار تغذیه با محلول غذایی و تیمار شوری، یک بار آبشویی انجام شد. همچنین جهت مطالعه اثر استات، از دو منبع مختلف استات شامل آمونیوم استات (۱ میلی‌مولار) و استیک اسید (۱ میلی‌مولار) استفاده گردید. جهت جدا نمودن اثر استات و آمونیوم و مطالعه نقش مجزای هر کدام ار آن‌ها از تیمار آمونیوم کربنات (۰/۵ میلی‌مولار) استفاده گردید. تیمارها به‌صورت هفته‌ای یک مرتبه همزمان با اعمال تنش شوری به‌صورت محلول‌پاشی به اندازه‌ای که حالت چکیدن از برگ به صورت قطره‌ای از برگ‌ها داشته باشند، انجام شد. نوع طرح آزمایش مورد استفاده در این پژوهش، به صورت فاکتوریل بر مبنای طرح کامل تصادفی با ۴ تکرار و وجود ۳ گلدان در هر تکرار با مشخصات گلدان‌ها با ارتفاع ۲۱ و قطر دهانه ۱۶ سانتی‌متر که درون هر گلدان یک گیاه کشت شده بود، انجام شد. تمام مواد مورد استفاده در این آزمایش نیز از شرکت Merck آمریکا بود. از زمان آغاز تیمارها تا پایان آزمایش، حدود سه ماه طول کشید. در پایان آزمایش

برخی از ویژگی‌های مرتبط با نقش استات و تاثیر آن در تنش شوری در گیاهان ارزیابی شدند.

جدول ۱. مشخصات آب مورد استفاده در آزمایش.
Table 1. Characteristics of the water used in the experiment.

Ni	Mg^{2+}	Ca^{2+}	PO_4^{3-}	NO^{2-}	NO^{3-}	pH	EC
mg L^{-1}							(μ mhos/cm)
0.01	43	64	0.01	0.03	2	7.1	380

برای اندازه‌گیری نشت یونی نیز از روش Golen & Varis (2004) استفاده شد. بدین منظور ابتدا برگ‌ها با آب مقطر به‌خوبی شسته شده و سپس ۱۰ دیسک برگی با قطر ۱۰ میلی‌متر تهیه شد. دیسک‌ها به درون ظرف‌های درب‌دار حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر منتقل شده و روی شیکر با سرعت ۲۵۰ دور در دقیقه به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. سپس هدایت الکتریکی محلول اندازه‌گیری شد (C_1). نمونه‌ها سپس به‌مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو (دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس) قرار گرفتند و پس از خنک شدن، هدایت الکتریکی محلول اندازه‌گیری شد (C_2). درصد نشت یونی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$\text{درصد نشت یونی} = \frac{C_1}{C_2} \times 100 \qquad (۱)$$

در طول دوره آزمایش تعداد گل‌ها و گل‌آذین‌های هر بوته شمارش شده و در نهایت میانگین آن‌ها به‌عنوان تعداد گل و گل‌آذین در بوته گزارش شد.

همچنین در طول دوره آزمایش و پس از رسیدن میوه‌ها (قرمز شدن ۳/۴ میوه)، توزین شده و به‌عنوان عملکرد تک بوته گزارش شد. افزون بر این تعداد فندقه‌های میوه‌های اول و میوه‌های دوم در هر تکرار شمارش شده و میانگین آن‌ها به‌دست آمد.

در پایان آزمایش، گیاهان از هر گلدان خارج شده و ریشه‌ها به‌صورت کامل شست‌و شو شده و سپس از قسمت شاخساره جدا شده و هر قسمت به‌صورت جداگانه توزین شدند. سپس گیاهان درون آون به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار گرفتند و پس از خشک شدن توزین شدند.

میزان مواد جامد محلول میوه‌ها با دستگاه انکسارسنج (ATC1, ATAG, Japan) اندازه‌گیری شد و عدد قرائت شده به‌عنوان درجه بریکس گزارش شد.

برای تعیین اسید کل میوه ۲ قطره فنل فتالئین به ۵ میلی‌لیتر آب میوه افزوده شد و تا رسیدن به pH ۸/۲ با سود ۰/۱ نرمال تیتر شد. حجم سود مصرفی یادداشت گردید و برای محاسبه میزان اسید کل از رابطه (۲) استفاده شد (Roussos *et al.*, 2011).

$$\%\ \text{Acid (wt/vol)} = \frac{(N \times V_1 \times M.W)}{(V_2 \times 1000)} \times ۱۰۰ \qquad (۲)$$

N: نرمالیه سود

V_1: حجم سود مصرفی

V2: حجم نمونه

M.W.: وزن مولکولی اسید غالب (اسید سیتریک $C_6H_8O_7$= 192.124 g/mol.

برای اندازه‌گیری میزان آسکوربیک اسید از روش Bor *et al.* (2006) استفاده شد. بدین منظور ۱۰۰ میکرولیتر از آب میوه با ۱۰ میلی‌لیتر متافسفریک اسید ۱ درصد مخلوط شد و سپس ۱۰۰۰ میکرولیتر از محلول حاصل را با ۹ میلی‌لیتر ۲ و ۶ دی کلرواینددوفنل ۵۰ میکرومولار برای چند ثانیه ترکیب شده و سپس میزان جذب در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل Dynamica (HALO XB-10-England) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه میزان آسکوربیک‌اسید از منحنی استاندارد آسکوربیک اسید استفاده شد.

برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین از روش اختلاف pH استفاده شد (Lee *et al.,* 2005). بدین منظور از محلول‌های کلرید پتاسیم (pH=۱) و استات سدیم (pH=۴/۵) استفاده شد. ۱ میلی‌لیتر از عصاره میوه با ۴ میلی‌لیتر از بافرها به‌صورت جداگانه مخلوط شده و سپس میزان جذب هر دو نمونه در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند. میزان آنتوسیانین به‌وسیله رابطه (۳) محاسبه شد و به‌صورت میلی‌گرم سیانیدین ۳ گلوکوزیداز در ۱۰۰ میلی‌گرم آب‌میوه گزارش شد.

$$A = (A510–A700)\ pH\ 1.0 – (A510–A700)\ pH\ 4.5 \qquad (۳)$$

$$\text{Total anthocyanin (mg/L)} = (A/26900)(10^3)(449.2)(5)$$

در این فرمول ۴۴۹/۲ جرم مولکولی سیانیدین-۳- گلیکوزاید، ۲۶۹۰۰ جذب مولی آن در pH=۱ و DF فاکتور رقیق‌سازی است.

برای اندازه‌گیری شاخص سبزینگی برگ، از دستگاه کلروفیل‌متر (Minolta- SPAD-502) استفاده شد. برای

این منظور از هر بوته میانگین ۱۰ برگ اندازه‌گیری شد.

مقدار عناصر معدنی شامل سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم در برگ‌های توت‌فرنگی اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت یون‌های معدنی ابتدا برگ‌ها خشک و پودر شدند. یک گرم از پودر خشک شده توزین و در کروسیبل‌های چینی توزیع و در کوره به خاکستر تبدیل شد. پس از عصاره‌گیری با ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۰/۲ نرمال و آب داغ (Chapman & Part, 1961) عصاره‌گیری شدند. غلظت عناصر سدیم و پتاسیم به‌وسیله فلیم‌فتومتر و غلظت عناصر کلسیم نیز به‌وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند.

واکاوی آماری این آزمایش با استفاده از نرم افزار SPSS-21 انجام شد. پس از تجزیه واریانس مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد در آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی انجام شد.

نتایج و بحث

اثر منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات بر ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیکی

میزان نشت الکترولیت در برگ توت‌فرنگی تحت تاثیر تنش شوری قرار گرفت (در سطح ۵ درصد) (جدول ۲). بیشترین و کمترین میزان نشت الکترولیت به‌ترتیب در تیمارهای تنش شوری به‌تنهایی (۵۰/۹۳ درصد) و تیمار استیک اسید (۲۰/۴۰ درصد) بود. اگرچه در شرایط تنش شوری، تیمارها با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند، ولی کمترین میزان آن در تیمارهای منابع مختلف استات بود (جدول ۳).

همچنین تنش شوری باعث کاهش میزان زیست توده در گیاهان توت‌فرنگی شد (جدول ۲) و تیمارها در سطح یک درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند. در شرایط تنش شوری، بیشترین و کمترین میزان زیست توده به‌ترتیب در تیمارهای استات (۱۶/۶۷ گرم)و آمونیوم کربنات به همراه تنش شوری (۴/۷۴ گرم) بود. از نظر شاخص سبزینگی برگ نیز تفاوت معنی‌داری در دو شرایط بدون و با تنش شوری در تیمارهای مختلف مشاهده نشد (جدول ۳).

یکی از مهمترین اثرات منفی تنش شوری، کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک (تنش اسمزی) و برهم خوردن تعادل عناصر غذایی (تنش یونی) است، که همین موضوع میزان فعالیت فتوسنتز و رشد گیاه را کم می‌کند (Khan *et al*., 2000)، در نتیجه به‌دلیل پسابیدگی سلول‌ها و تخصیص بیشتر مواد ساخته شده در جهت افزایش تحمل به تنش، بر رشد طولی و زیست توده گیاه اثر گذاشته و باعث کاهش آن‌ها می‌شود (Santos, 2004). بنابراین تغییر در شاخص‌های رشد، از جمله مهمترین پاسخ‌های گیاهان به تنش شوری محسوب می‌شود. کاهش در میزان زیست‌توده در شرایط تنش شوری در این پژوهش نیز مشاهده شد. به‌گونه‌ای که بیشترین کاهش در زیست توده در تیمار تنش شوری به‌تنهایی و تیمار آمونیوم کربنات به‌همراه تنش شوری بود. ولی این میزان کاهش در تیمارهای استات در شرایط تنش شوری بسیار کمتر بود. در واقع می‌توان چنین بیان کرد که استات به‌عنوان یک ترکیب حدواسط به‌دلیل فعال کردن آنزیم ایزوسیترات لیاز می‌تواند میزان آمونیوم را در گیاهان بالا نگه دارد و از این رو باعث افزایش میزان نیتروژن تامین شده برای گیاهان شود و در نتیجه افزایش وزن تر و خشک و در حالت کلی میزان زیست توده شود (Kim *et al.,* 2017). از سوی دیگر به‌دلیل نقش استات به‌عنوان یک حد واسط در مسیر تنفس، زمانی که به‌صورت خارجی در اختیار گیاه قرار گیرد، منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی شده و بنابراین مواد حاصل از فتوسنتز کمتر در این مسیر مصرف می‌شوند. اثر منفی تنش شوری در کاهش وزن تر و خشک شاخساره در توت‌فرنگی در پژوهش‌های گذشته نیز وجود دارد (Karlidage *et al*., 2009). در مورد کاهش زیست توده تیمار آمونیوم کربنات به‌همراه تنش شوری می‌توان چنین بیان کرد که همراه شدن آمونیوم کربنات همراه با تنش شوری، به‌دلیل ایجاد قلیائیت کربنات، اثر تنش را دو برابر کرده و همین موضوع منجر به کاهش میزان فتوسنتز شده و ترکیبات معدنی را در گیاه تغییر می‌دهد و در نتیجه سبب عدم تعادل یونی و ایجاد حالت سمیت بیشتر می‌شود (Marcshner, 1995; Wahome *et al*., 2001). از این رو کاهش بیشتر در میزان زیست توده در مقایسه با تنش شوری به‌تنهایی در تیمار آمونیوم کربنات همراه با تنش شوری، می‌تواند به این دلیل باشد.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات و تنش شوری بر ویژگی‌های مرفوفیزیولوژیکی توت‌فرنگی.

Table 2. Results of variance analysis effect of different sources of acetate and ammonium carbonate and salinity stress on morpho-physiological characteristics of strawberry.

Source of variation	Means of squares		
	Electrolyte leakage	Biomass (root and shoot dry weight)	SPAD
Acetate	474.79*	69.36 **	34.85 ns
Salinity	154.68*	5.49*	3.25 ns
Acetate × Salinity	115.78ns	33.94ns	24.30 ns
C.V (%)	23.9	36.3	38.0

**، * و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

**, *, ns: Significantly difference at 1 and 5% of probability level, and non-significantly difference, respectively.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات، تنش شوری و اثر متقابل منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات و تنش شوری بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی توت‌فرنگی.

Table 3. Mean comparison effect of different sources of acetate and ammonium carbonate, salinity stress and interaction effect of different sources of acetate and ammonium carbonate and salinity stress on morpho-physiological characteristics of strawberry.

Treatment	Electrolyte leakage (%)	Biomass (root and shoot dry weight) (g)	SPAD
Control	31.78 ab	17.18 a	53.65 a
Salinity (40 mM)	50.93 a	7.78 bc	49.80 a
Acetic acid (1 mM)	20.40 b	16.67 a	53.75 a
Acetic acid (1mM) + salinity (40 mM)	32.62 ab	12.75 ab	50.20 a
Ammonium acetate (1 mM)	39.93 ab	11.57 abc	47.80 a
Ammonium acetate (1 mM) + salinity (40 mM)	43.30 ab	14.12 ab	50.03 a
Ammonium carbonate (0.5 mM)	36.51 ab	16.49 a	63.90 a
Ammonium carbonate (0.5 mM) + salinity (40 mM)	49.49 a	4.74 c	48.27 a

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشابه دارند، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, the means with a common letter are not significantly difference at 5% probability level.

در شرایط تنش شوری، غشای سلولی دچار تغییراتی می‌شود و لیپیدهای موجود در غشای سلولی به عنوان اولین هدف تنش اکسیداتیو هستند (Hasanuzzaman *et al*., 2013). بنابراین در اثر پراکسیداسیون لیپیدها، میزان سیالیت و پتانسیل غشای لیپیدی و نفوذپذیری غشا کاهش یافته و منجر به تغییر در نفوذپذیری غشا و رهاسازی مواد دخل سلول می‌شود (Halliwell, 1999). در نتیجه، محتویات درون سلول به خارج نشت می‌کند. بنابراین محاسبه شاخص پایداری غشا، از جمله مهمترین شاخص جهت تخمین آسیب‌های وارد شده به آن می‌باشد (Blokhina *et al*., 2003). کاهش در شاخص پایداری غشا در بسیاری از مطالعات گزارش شده است (Farooq & Azam, 2006; Azizpour *et al*., 2010). در این پژوهش نیز بیشترین میزان نشت الکترولیت در شرایط تنش شوری مشاهده شد که در تیمار تنش شوری به‌تنهایی بیشترین میزان و در تیمار استیک اسید همراه با تنش شوری کمترین میزان بود.

اثر منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات بر ویژگی‌های آنتی اکسیدانی و طعم توت‌فرنگی

میزان مواد جامد محلول در میوه توت‌فرنگی تحت تاثیر تیمار استیک اسید در شرایط تنش شوری قرار گرفت، که تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با تیمار آمونیوم استات و آمونیوم کربنات در شرایط تنش شوری داشت (جدول ۴). کمترین میزان مواد جامد محلول در شرایط تنش شوری، در تیمار آمونیوم کربنات همراه با تنش شوری (۳/۹) بود. بیشترین میزان اسیدیته میوه در شرایط بدون تنش در تیمار شاهد (۳/۱۳ درصد) بود، که تفاوت معنی‌داری با دیگر تیمارها در شرایط بدون تنش نداشت (جدول ۵).

بیشترین میزان ویتامین ث در تیمار استیک اسید همراه با تنش شوری (۸۸/۳۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) بود. ولی در شرایط بدون تنش شوری، کمترین و بیشترین میزان ویتامین ث به‌ترتیب در تیمارهای شاهد (۵۳/۶۶ میلی‌گرم در ۱۰۰گرم وزن تر) و آمونیوم کربنات (۶۲/۵۰ میلی‌گرم در ۱۰۰گرم وزن تر) بود (جدول ۳).

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات و تنش شوری بر ویژگی‌های آنتی اکسیدانی و طعم توت‌فرنگی.

Table 4. Result of variance analysis effect of different sources of acetate and ammonium carbonate and salinity on strawberry fruit antioxidant and flavor charactristics.

Source of variation	Means of squares			
	Total soluble solids TSS	Titratable Acidity (TA)	Ascorbic acid	Anthocyanin
Acetate	22.74**	21.90**	303.45*	589.61**
Salinity	18.07 ns	11.38 ns	212.16**	462.34*
Acetate × Salinity	17.18*	19.43**	345.85**	700.21**
C. V. (%)	14.00	25.00	16.23	25.21

**، * و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

**, *, ns: Significantly differences at 1 and 5% of probability levels, and non-significantly difference, respectively.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات، تنش شوری و اثر متقابل منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات و تنش شوری بر ویژگی‌های آنتی اکسیدانی و طعم توت‌فرنگی.

Table 5. Mean comparison effect of different sources of acetate and ammonium carbonate and salinity stress and interaction effect of different sources of acetate and ammonium carbonate and salinity stress on strawberry fruit antioxidant and falvor characteristics.

Treatment	Total soluble solids TSS (Brix)	Titratable Acidity (TA) (%)	Ascorbic acid (mg/ 100 g FW)	Anthocyanin (mg/100 g FW)
Control	5.76 b*	3.13 a	53.66 bc	45.25 bc
Salinity (40 mM)	5.60 b	2.43 ab	42.50 bc	27.56 c
Acetic acid (1 mM)	6.90 a	3.06 a	37.00 c	32.94 c
Acetic acid (1mM) + salinity (40 mM)	5.67 b	2.13 ab	86.33 a	33.99 c
Ammonium acetate (1 mM)	5.63 b	2.06 b	68.66 ab	69.47 a
Ammonium acetate (1 mM) + salinity (40 mM)	5.76 b	2.27 ab	62.50 abc	30.82 c
Ammonium carbonate (0.5 mM)	6.70 a	2.43 ab	18.50 d	74.37 a
Ammonium carbonate (0.5 mM) + salinity (40 mM)	3.9 c	2.78 ab	79.00 ab	40.22 bc

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشابه دارند، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, the means with a common letter are not significantly difference at 5% probability level.

بیشترین میزان آنتوسیانین میوه در تیمارهای آمونیوم استات و آمونیوم کربنات بود که اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارها داشت (جدول ۴). ولی در تیمار تنش شوری به‌تنهایی کمترین میزان آنتوسیانین (۲۷/۵۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر) مشاهده شد.

در گیاهان، کربوهیدرات‌ها نقش‌های مهمی از جمله تغذیه‌ای و مولکول‌های پیغام‌رسان را دارند. مولکول‌های گلوکز و ساکارز به‌عنوان مولکول‌های تنظیم کننده حیاتی شناخته شده‌اند، که می‌توانند علاوه بر نقش‌های مهم خود، بیان ژن‌های مرتبط با متابولسیم گیاهان، تحمل در شرایط تنش‌های مختلف، رشد و نمو را کنترل کنند (Gupta & Huang, 2014).

در سال‌های اخیر مشخص شده است که کربوهیدرات‌ها به‌ویژه در غلظت‌های بالا می‌توانند به‌عنوان جاروب کننده گونه‌های فعال اکسیژن نیزعمل کنند (Gupta & Huang, 2014). از این رو افزایش در میزان کربوهیدرات‌های محلول در میوه توت‌فرنگی در این آزمایش می‌تواند بیانگر افزایش تحمل در برابر تنش شوری باشد که این افزایش در تیمارهای استات در دو شرایط تنش شوری و غیر تنش شوری بود. بر اساس پژوهش‌های Chernane et al. (2015)، افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول در میوه‌ها در شرایط تنش شوری یکی از پدیده‌هایی است که در جهت افزایش تنظیم اسمزی اتفاق می‌افتد که این موضوع در اثر تجمع عناصر سدیم و کلر اتفاق می‌افتد که منجر به افزایش میزان گلوکوزینالات در جهت تنظیم اسمزی می‌شود. از این رو به‌دلیل نقش حدواسط استات در مسیر تنفس، مواد قندی تولید شده در جریان فتوسنتز می‌تواند وارد مسیر تنفسی نشده و در نتیجه انرژی کمتر مصرف شود و بیشتر کربوهیدرات‌های تولیدشده به‌عنوان نقش در مسیر تحمل به تنش شوری در توت‌فرنگی عمل نماید.

آنتوسیانین‌ها از جمله رنگدانه‌های محلول در آب هستند که متعلق به خانواده فلاونوئیدها است و پیشنهاد شده است که آنتوسیانین‌ها می‌توانند در شرایط تنش شوری و خشکی به‌عنوان یک عامل تنظیم کننده اسمزی عمل کنند. در این پژوهش نیز بیشترین میزان آنتوسیانین در تیمار آمونیوم استات و

آمونیوم کربنات در شرایط بدون تنش شوری بود که می‌توان در مقایسه با دیگر تیمارها، این افزایش در میزان آنتوسیانین را به حضور آمونیوم در این تیمارها نسبت داد. از سوی دیگر استات به‌دلیل شرکت داشتن در فعالیت سنتز جاسمونات‌ها، می‌تواند باعث افزایش سنتز آنتوسیانین‌ها در میوه‌ها شود.

در پژوهش‌های گذشته نیز، اثر جاسمونات‌ها در جهت افزایش سنتز آنتوسیانین‌ها گزارش شده است (Ayala-Zavala *et al*., 2005). در این پژوهش که در توت‌فرنگی انجام شد، مشاهده شد که کاربرد تیمار متیل جاسمونات، منجر به افزایش سنتز آنتی‌اکسیدان‌های مختلف از جمله آنتوسیانین شده است که همین امر باعث افزایش کیفیت ماندگاری میوه پس از برداشت شده است (Reyes-Díaz *et al*., 2016).

اثر منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات بر ویژگی‌های میوه

شوری باعث کاهش وزن میوه اولیه (۱۰/۴۱ گرم) در شرایط تنش شوری شد، ولی کاهش در وزن میوه اولیه در تیمار تنش شوری همراه با آمونیوم استات کمتر بود (۱۶/۳۹ گرم) (جدول ۸). تنش شوری باعث کاهش میزان عملکرد میوه تک بوته شد.

عملکرد میوه در بوته نیز با تنش شوری به میزان ۶۸ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت، در حالی که این کاهش در تیمار آمونیوم استات این به میزان ۴۷ درصد بود. ولی در شرایط بدون تنش، بیشترین میزان عملکرد میوه در بوته در تیمارهای شاهد و آمونیوم کربنات بود که البته تفاوت معنی‌داری با تیمارهای استات نداشتند. از نظر تعداد فندقه‌های میوه، بیشترین و کمترین میزان تعداد فندقه‌ها به‌ترتیب در تیمار استیک اسید در دو شرایط بدون و با تنش شوری و تیمار تنش شوری به تنهایی بود (جدول ۸). از نظر تعداد گل در بوته نیز بیشترین میزان تعداد گل و گل‌آذین در بوته در تیمار استیک اسید در شرایط بدون تنش و کمترین آن نیز در تیمار آمونیوم کربنات به همراه تنش شوری بود (جدول ۸) و تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال ۵ درصد نشان دادند.

تعداد گل و گل‌آذین در بوته در تیمار استیک اسید در شرایط بدون تنش بیشترین میزان بود. از سوی دیگر شوری باعث کاهش تعداد گل در بوته شد ولی در تیمارهای دارای آمونیوم و استات این کاهش کمتر بود.

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس اثر منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات و تنش شوری بر ویژگی‌های میوه توت‌فرنگی.

Table 7. Result of variance analysis effect of different sources of acetate and ammonium carbonate and salinity stress on strawberry fruit charactristics.

Source of variation	Means of squares			
	Achene number	Yield per plant per month	Number of inflorescences	Flowers per plant
Acetate	9383.6*	4426.0*	3.6*	10.6*
Salinity	8021.7*	1040.5*	2.1*	2.84 ns
Acetate × Salinity	9540.8**	480.9ns	3.0**	8.11 ns
C.V. (%)	47.3	24.1	19.8	35.6

**، * و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

**, *, ns: Significantly difference at 1 and 5% of probability level, and non-significantly difference, respectively.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات، تنش شوری و اثر متقابل منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات و تنش شوری بر ویژگی‌های میوه توت‌فرنگی.

Table 8. Mean comparison effect of different sources of acetate and ammonium carbonate and salinity stress and interaction effect of different sources of acetate and ammonium carbonate and salinity stress on strawberry fruit characteristics.

Treatment	Achene number	Yield per plant per month (g)	Number of inflorescences	Flowers per plant
Control	363.55 ab*	57.62 a	9.50 ab	31.0 b
Salinity (40 mM)	200.00 c	13.92 c	4.0 d	14.6 de
Acetic acid (1 mM)	381.00 a	57.81 a	10.50 a	41.6 a
Acetic acid (1mM) + salinity (40 mM)	376.66 a	25.56 b	6.9 bcd	21.0 cd
Ammonium acetate (1 mM)	344.66 ab	55.00 a	7.5 cd	24.5 bc
Ammonium acetate (1 mM) + salinity (40 mM)	297.55 b	33.45 b	5.2 abc	24.0 cd
Ammonium carbonate (0.5 mM)	343.11 ab	58.32 a	5.6 bcd	23.0 cd
Ammonium carbonate (0.5 mM) + salinity (40 mM)	331.10 ab	15.02 c	4.7 bcd	9.5 e

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشابه دارند، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, the means with a common letter are not significantly difference at 5% probability level.

افزایش گلدهی در تیمارهای حاوی آمونیوم می‌تواند به‌دلیل نقش آن‌ها در فعال کردن و تحریک تولید سیتوکینین‌های فعال از جمله زآتین و ایزوپنتیل آدنوزین باشد. از سوی دیگر، حضور آمونیوم منجر به تولید آرژنین می‌شود، آرژنین نیز که پیش‌ساز پلی‌آمین‌ها است، باعث تولید پلی‌آمین‌ها شده و پلی‌آمین‌های تولید شده هم در فرآیند گلدهی و افزایش میزان گل‌ها و هم به‌عنوان مولکول‌های پیغامرسان عمل کرده و باعث افزایش تحمل به تنش در گیاهان می‌شود (Albuquerque *et al.*, 2006). از سوی دیگر مشخص شده است که استات نیز می‌تواند در سنتز پلی‌آمین‌ها نقش داشته باشد. از این رو افزایش تعداد گل در بوته نیز باعث افزایش میزان عملکرد در بوته می‌شود که در این پژوهش نیز مشاهده شد، اگرچه شوری باعث کاهش گل و در نتیجه عملکرد در بوته شد، ولی در تیمارهای استات و آمونیوم این کاهش کمتر اتفاق افتاد. کاهش در میزان عملکرد در شرایط تنش شوری در پژوهش‌های گذشته در توت‌فرنگی نیز وجود دارد (Saied *et al*., 2005; Orsini *et al*., 2012). از دیگر عوامل کاهش دهنده میزان عملکرد در توت‌فرنگی را می‌توان با بر هم خوردن تعادل هورمونی میوه و گیاه در اثر تنش شوری مرتبط دانست (Fernandez *et al*., 2003). همچنین در شرایط تنش شوری، از جذب و انتقال آب به درون میوه‌ها جلوگیری می‌شود، که همین موضوع می‌تواند به کوچکتر شدن اندازه میوه و در نهایت کاهش وزن آن منجر شود (Sato *et al.,* 2006). نتایج کاهش در عملکرد و گلدهی رقم پاروس توت‌فرنگی در اثر تنش شوری، مطابق با یافته‌های دیگر در رقم پاروس توت‌فرنگی می‌باشد (Eshghi *et al.,* 2017).

اثر منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات بر غلظت عناصر معدنی در دو شرایط بدون و تنش شوری

شوری باعث تغییر در عناصر پتاسیم و سدیم در گیاهان توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری شد (جدول ۹). در حالت کلی، بیشترین میزان نسبت پتاسیم به سدیم در شرایط بدون تنش شوری و کمترین آن در شرایط تنش شوری مشاهده شد، ولی در بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. از سوی دیگر، بیشترین نسبت پتاسیم به سدیم در تیمارهای استات بود (جدول ۱۰). از نظر غلظت منیزیم موجود در برگ‌های توت‌فرنگی، در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری در دو شرایط بدون و با تنش شوری وجود نداشت، ولی کمترین میزان آن در تیمار تنش شوری به‌تنهایی بود. بیشترین میزان کلسیم در شرایط بدون تنش در تیمارهای شاهد، آمونیوم استات و استیک اسید به ترتیب به میزان ۲/۰۰، ۲/۲۰ و ۲/۰۷ میلی‌گرم در گرم وزن خشک بود. تنش شوری باعث کاهش میزان کلسیم در برگ توت‌فرنگی شد و کمترین آن در تیمارهای تنش شوری به‌تنهایی (۰/۶۹) و آمونیوم کربنات به همراه تنش شوری (۰/۷۱) بود، در حالی که بیشترین میزان آن در تیمارهای استات شامل استیک اسید (۰/۷۹) و آمونیوم استات (۰/۹۰) بود (جدول ۱۰).

در شرایط تنش شوری، فعالیت فتوسنتز گیاه، از یک سو به‌دلیل پسابیدگی بافت که منجر به کاهش نفوذپذیری CO_2 می‌شود و از سوی دیگر به‌دلیل ورود یون‌های Na^+ به درون سلول‌ها، منجر به غیر فعال شدن سیستم‌های انتقال الکترون شده می‌شود، کاهش می‌یابد (Allakhverdiev *et al*., 2000). پژوهشگران از سال‌های گذشته به این نتیجه رسیده‌اند که ارتباط نسبت پتاسیم به سدیم درون بافت‌ها با تحمل به تنش شوری به‌عنوان یکی از معتبرترین شاخص‌ها در بهنژادی تحمل به شوری می‌باشد (Stuciffe & Baker, 1981). یکی از دلایل مهم برای کاهش غلظت پتاسیم در محیط شور، به دلیل حضور غلظت بالای سدیم در محیط خارجی است که منجر به ایجاد رقابت با پتاسیم برای ورود به داخل سلول می‌شود. از سوی دیگر، این دو یون دارای شعاع هیدراته مشابهی هستند و از این رو پروتئین‌های انتقال دهنده آن‌ها ممکن است در تشخیص آن‌ها دچار اشتباه شوند (Blumwald *et al*., 2000). بنابراین سدیم به راحتی به‌وسیله ناقل‌های پتاسیم وارد سلول شده و جذب پتاسیم کاهش می‌یابد. از این رو تغییر نسبت پتاسیم به سدیم در سیتوسول می‌تواند بر فرآیندهای بیوانرژتیک اثر بگذارد و با این جایگزینی در فعالیت آنزیم‌ها اختلال ایجاد شود و در نتیجه کاهش رشد و یا حتی مرگ سلول و گیاه را به همراه داشته باشد (Blumwald *et al*., 2000).

جدول ۹. نتایج تجزیه واریانس اثر منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات و تنش شوری بر غلظت عناصر معدنی برگ توت‌فرنگی.

Table 9. Result of variance analysis effect of different sources of acetate and ammonium carbonate and salinity stress on mineral concentration of strawberry leaf.

Source of variation	Means of squares		
	K^+/Na^+	Mg	Ca
Acetate	0.819 *	1.13 **	2.90 *
Salinity	0.546*	1.17 ns	1.42 **
Acetate × Salinity	1.23**	2.18 *	3.25 *
C.V. (%)	25.00	45.2	34.5

**، * و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود تفاوت معنی‌دار.

**, *, ns: Significantly difference at 1 and 5% of probability level, and non-significantly difference, respectively.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین اثر منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات، تنش شوری و اثر متقابل منابع مختلف استات و آمونیوم کربنات و تنش شوری بر غلظت عناصر معدنی برگ توت‌فرنگی.

Table 10. Mean comparison effect of different sources of acetate and ammonium carbonate and salinity stress and interaction effect of different sources of acetate and ammonium carbonate and salinity stress on mineral concentration of strawberry leaf.

Treatment	K^+/Na^+	Mg (%)	Ca (%)
Control	12.33 a*	0.831 ab	2.00 a
Salinity (40 mM)	1.48 b	0.818 b	0.69 c
Acetic acid (1 mM)	14.11 a	0.854 a	2.07 a
Acetic acid (1mM) + salinity (40 mM)	2.10 b	0.837 ab	0.79 c
Ammonium acetate (1 mM)	9.27 a	0.855 a	2.20 a
Ammonium acetate (1 mM) + salinity (40 mM)	2.11 b	0.820 ab	0.90 b
Ammonium carbonate (0.5 mM)	9.93 a	0.825 ab	1.36 b
Ammonium carbonate (0.5 mM) + salinity (40 mM)	0.99 b	0.829 ab	0.71 c

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشابه دارند، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

In each column, the means with a common letter are not significantly difference at 5% probability level.

کلسیم از جمله کاتیون‌های مهم مورد نیاز گیاهان است و در حفظ دیواره سلولی و نفوذپذیری و یا حالت نیمه تراوایی غشا نقش دارد. کلسیم از طریق تغییر جذب به نفع K^+ موجب تغییر نسبت K^+/Na^+ شده و نسبت آن را افزایش می‌دهد (Cramer, 2002). در پژوهش انجام شده نیز شوری باعث کاهش نسبت پتاسیم به سدیم شد ولی این میزان کاهش در مقایسه با تیمار تنش شوری به‌تنهایی و تیمار آمونیوم کربنات همراه با تنش شوری در تیمارهای دارای استات کمتر بود و این بدین معناست که این تیمارها با نفوذ و ورود کمتر سدیم به درون سلول‌ها، توانستند میزان تجمع پتاسیم به سدیم را درون سلول بالا نگه دارند و از این رو میزان آسیب‌های وارد شده به‌وسیله یون سدیم را کمتر کنند. همانگونه که نتایج آزمایش نشت الکترولیت نیز گویای این مطلب است که در تیمارهای حاوی استات، این میزان نشت یونی کمتر اتفاق افتاده بود.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که تیمارهای استات و به‌ویژه تیمار استیک اسید در غلظت ۱ میلی‌مولار به‌صورت محلول‌پاشی می‌تواند به‌عنوان یک ترکیب جهت افزایش تحمل به تنش شوری در گیاهان و به‌ویژه در توت‌فرنگی با توجه به نامطلوب شدن کیفیت و شور شدن آب‌های آبیاری و به‌ویژه آب‌های موجود در گلخانه و همچنین کیفیت نامطلوب محلول‌های غذایی در کشت‌های هیدروپونیک، داشته باشد، پیشنهاد شود. تیمار استیک اسید بهتر است که علاوه بر تیمار محلول‌پاشی، به صورت محلول خاکی ولی در غلظت‌های مورد تایید و آزمایش شده، نیز در گیاهان مورد آزمایش قرار گیرد. اگر چه در شرایط تنش شوری میزان عملکرد کاهش می‌یابد، ولی در پژوهش انجام شده مشخص گردید که اگرچه تیمار شوری منجر به کاهش عملکرد در توت‌فرنگی می‌شود ولی با کاربرد تیمار استات، کاهش عملکرد تا میزان ۵۰ درصد کمتر شد.

REFERENCES

1. Albuquerque, N., Egea, J., Burgos, L., Martinez-Romero, D., Valero, D., & Serrano, M. (2006). The influence of polyamines on apricot ovary development and fruit set. *Annals of Applied Biology,* 149(1), 27-33.
2. Allakhverdiev, S. I., Kinoshita, M., Inaba, M., Suzuki, I., & Murata, N. (2001). Unsaturated fatty acids in membrane lipids protect the photosynthetic machinery against salt-induced damage in *synechococcus*. *Plant Physiology*, 125(4), 1842-1853.
3. Ashraf, M. P. J. C., & Harris, P. J. C. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166(1), 3-16.
4. Ayala-Zavala, J. F., Wang, S. Y., Wang, C. Y., & González-Aguilar, G. A. (2005). Methyl jasmonate in conjunction with ethanol treatment increases antioxidant capacity, volatile compounds and postharvest life of strawberry fruit. *European Food Research and Technology*, 221(6), 731.
5. Azizpour, K., Shakiba, M. R., Sima, N. K. K., Alyari, H., Mogaddam, M., Esfandiari, E., & Pessarakli, M. (2010). Physiological response of spring durum wheat genotypes to salinity. *Journal of Plant Nutrition;* 33(6), 859-873.
6. Blokhina, O., Virolainen, E., & Fagerstedt, K. V. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of Botany*; 91(2), 179-194.
7. Blumwald, E., Aharon, G. S., & Apse, M. P. (2000). Sodium transport in plant cells. *Biochemistry and Biophysics Acta;* 1465, 140-151.
8. Bor, J. Y., Chen, H. Y., & Yen, G. C. (2006). Evaluation of antioxidant activity and inhibitory effect on nitric oxide production of some common vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(5), 1680-1686.
9. Caulet, R. P., Gradinariu, G., Iurea, D., & Morariu, A. (2014). Influence of furostanol glycosides treatments on strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.) growth and photosynthetic characteristics under drought condition. *Scientia Horticulturae*, 169*,* 179-188.
10. Chapman, J. A. (1961). Morphological and chemical studies of collagen formation: I. The fine structure of guinea pig granulomata. *The Journal of Cell Biology,* 9(3), 639-651.
11. Chernane, H., Latique, S., Mansori, M., & El Kaoua, M. (2015). Salt stress tolerance and antioxidative mechanisms in wheat plants (*Triticum durum* L.) by seaweed extracts application. *Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 8(1), 36-44.
12. Cramer, G. R. (2002). Sodium-calcium interactions under salinity stress (Ed), *In salinity: environment-plants-molecules* (pp. 205-227). Springer Science.
13. Eshghi, S., Moharami, S., & Jamali, B. (2017). Effect of salicylic acid on growth, yield and fruit quality of strawberry cv. 'Paros' under salinity conditions**.** *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center*, 7(4), 163-174. (In Farsi).
14. Evans, L. T. (2005). Is crop improvement still needed? *Journal of Crop Improvement*, 14(1-2), 1-7.
15. FAOSTAT (2010), http://faostat.fao.org/
16. Farooq, S., & Azam, F. (2006). The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerant wheat varieties. *Journal of Plant Physiology;* 163(6), 629-637.
17. Fatemy, L.S., Tabatabaei, S.J, & Fallahi, E. (2009). The effect of silicon on the growth and yield of strawberry grown under saline conditions. *Journal of Horticulture Science*, 23(1), 88-95. (In Farsi).
18. Fernandez-Ballester, G., Garica-Sanchez, F., Cerda, A., & 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.
19. Gupta, B., & Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*, 2014, 1-18.
20. Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. (1999). Oxygen is a toxic gas: an introduction to oxygen toxicity and reactive oxygen species. *Free Radicals in Biology and Medicine*; 3: 1-35.
21. Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2013). Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages (pp. 25-87). In: Ecophysiology and responses of plants under salt stress (eds.). Ahmad, P., Prasad, M. N. V. and Azooz, M.M. New York, Springer.
22. Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950). *The water-culture method for growing plants without soil* (2nd edit). Circular. California Agricultural Experiment Station.
23. Hooks, M. A., Turner, J. E., Murphy, E. C., & Graham, I. A. (2004). Acetate non-utilizing mutants of *Arabidopsis*: evidence that organic acids influence carbohydrate perception in germinating seedlings. *Molecular Genetics and Genomics*, 271(3), 249-256.
24. Jackson, M. L. (1967). *Soil chemical analysis prentice*. Hall of India Private Limited.
25. Jamali, B., Eshghi, S., & Kholdebarin, B. (2014). Response of strawberry 'Selva' plants on foliar application of sodium nitroprusside (nitric oxide donor) under saline conditions. *Journal of Horticultural Research*, 22(2), 139-150.

26. Jamalian, S. (2019). Effects of jasmonic acid and abscisic acid on metabolism of strawberry under NaCl stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(3), 595-607. (In Farsi).
27. Karlidag, H., Yildirim, E., & Turan, T. (2009). Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Agricola, 66,* 180-187.
28. Khan, M. A., Ungar, I. A., & Showalters, A. M. (2000). Effects of salinity on growth, water relations and ion accumulation of the subtropical perennial halophyte*, Atriplex griffithii* Var. Stocksii. *Annals of Botany,* 85: 225-232.
29. Khayyat, M., Tehranifar, A., Akbarian, A., Shayestehnia, S., & 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(3), 297-302.
30. Kim, J. M., To, T. K., Matsui, A., Tanoi, K., Kobayashi, N. I., Matsuda, F., & Bashir, K. (2017). Acetate-mediated novel survival strategy against drought in plants. *Nature Plants*, 3(7), 17097.
31. Kindle, K. L. (1987). Expression of a gene for a light-harvesting chlorophyll a/b-binding protein in *Chlamydomonas reinhardtii*: effect of light and acetate. *Plant Molecular Biology*, 9(6), 547-563.
32. Koyro, H. W., Geissler, N., Seenivasan, R., & Huchzermeyer, B. (2016). In handbook of plant and crop stress (Ed.), *Plant stress physiology: physiological and biochemical strategies allowing plants/crops to thrive under ionic stress*. (pp. 1047-1089). CRC Press.
33. Lee, J., Durst, R. W., & Wrolstad, R. E. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists,* 88(5), 1269-1278.
34. Levitt, J. (1980). *Responses of plants to environmental stresses* (2th ed.). Academic Press.
35. Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants* (2th Ed.). Academic Press.
36. Mata, C.G., & Lamattina, L. (2001): Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 126, 1196-1204.
37. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
38. Munns, R. (2011). Plant adaptations to salt and water stress: differences and commonalities. *In Advances in Botanical Research,* 57, 1-32.
39. Orsini, F., Alnayef, M., Bona, S., Maggio, A., & Gianquinto, G. (2012). Low stomatal density and reduced transpiration facilitate strawberry adaptation to salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 81, 1-10.
40. Pang, C. H., & Wang, B. S. (2008). In Progress in botany (Ed.), *Oxidative stress and salt tolerance in plants*. (pp. 231-245). Springer Science.
41. Reyes-Díaz, M., Lobos, T., Cardemil, L., Nunes-Nesi, A., Retamales, J., Jaakola, L., & Ribera-Fonseca, A. (2016). Methyl jasmonate: an alternative for improving the quality and health properties of fresh fruits. *Molecules*, *21*(6), 567.
42. Roussos, P.A., Sefferou, V., Denaxa, N.K., Tsantili, E., & Stathis, V. (2011). Apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit quality attributes and phytochemicals under different crop load. *Scientia Horticulturae*, 129, 472-478.
43. Saadati, S., & Moallemi, N. (2011). A study of the zinc foliar application on growth and yield of Strawberry plant under saline conditions*. Iranian Journal of Horticultural Science,* 42(3), 267-275. (In Farsi).
44. Saeedi, M., Shirzad, H., Norouzi, P. and Ghasemi, G. (2022). Interaction of sodium-nitroprusside and nano-potassium spraying on physicochemical properties and antioxidant capacity of Strawberry fruit (*Fragaria × ananssa* Duch. Cv. Camarosa). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52(4), 835-850. (In Farsi).
45. Saied, A. S., Keutgen, A. J., & Noga, G. (2005). The influence of NaCl salinity on growth, yield and fruit quality of strawberry cvs. 'Elsanta' and 'Korona'. *Scientia Horticulturae*, 103(3), 289-303.
46. Santos, C. V. (2004). Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves*. Scientia Horticulturae;* 103(1), 93-99.
47. Sato, S., Kamiyama, M., Iwata, T., Makita, N., Furukawa, H., & Ikeda, H. (2006). Moderate increase of mean daily temperature adversely affects fruit set of *Lycopersicon esculentum* by disrupting specific physiological processes in male reproductive development. *Annals of Botany,* 97(5), 731-738
48. Schwarz, M. (2012). *Soilless culture management* (24th Ed.). Springer Science & Business Media.
49. Sheen, J. (1990). Metabolic repression of transcription in higher plants. *The Plant Cell*, 2(10), 1027-1038.
50. Stuciffe, J., & Baker, D.A. (1981). *Plants and mineral salts.* Southampton: Edward Arnold Publisher.
51. Sun, Y., Niu, G., Wallace, R., Masabni, J., & Gu, M. (2015). Relative salt tolerance of seven strawberry cultivars. *Horticulturae*, 1(1), 27-43.
52. Wahome, P. K., Jesch, H. H., & Grittner, I. (2001). Mechanisms of salt stress tolerance in two rose root stocks: *Rosa chinensis* major and *R. rubiginosa*. *Scientia Horticulture,* 87, 207-216.