Research Article

Plant Prod., 2020, 43(3), 349-362 ISSN (P): 2588-543X
DOI: 10.22055/ppd.2019.27610.1672 ISSN (E): 2588-5979

The Alleviation of the Adverse Effects of Salinity Stress in the Tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Mobin) by Application of Ascorbic Acid

Bahareh Hajivar[1] and Mohammad Reza Zare-Bavani[2]*

1- M.Sc. Graduate of Olericulture, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
2- ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran (mzarebavany@ramin.ac.ir)

Received: 1 January, 2019 Accepted: 6 March, 2019

Abstract

Background and Objectives

Salinity stress is one of the major environmental factor limiting plant growth and productivity. The adverse influence of salinity stress is evaluated on all plant levels. Ascorbic acid is a small, water-soluble antioxidant molecule that acts as a primary substrate in the pathway for detoxification and neutralization of superoxide radicals and singlet oxygen. Ascorbic acid has been shown to play multiple roles in plant growth, such as in cell division, cell wall expansion, and other developmental processes. The objective of the present experiment was to investigate the effects of the exogenous application of ascorbic acid on the growth parameters and photosynthesis attributes of tomato plants.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a factorial in a completely random design with three replications in greenhouse conditions. Salinity stress was applied by 0, 25, 50, 100 mM NaCl in modified Hoagland solution. Ascorbic acid treatments (0, 2.5 and 5 mM) were sprayed on the leaves every three days until the end of experiment. Leaf, stem, and root fresh and dry weight, total fresh and dry weight, yield per plant, net photosynthesis, Stomata conductance, transpiration, internal CO_2 concentration, chlorophyll a, b and total chlorophyll, proline and total soluble sugar content were evaluated.

Results

In the present experiment, salinity stress sharply reduced the leaf, stem, root and total fresh and dry weight, yield per plant, net photosynthesis, stomata conductance, transpiration, internal CO_2 concentration, chlorophyll a, b and total chlorophyll content whereas the exogenous treatment of AsA appreciably delayed the loss of all studied traits. Foliar application of ascorbic acid under both stress and non-stress conditions improved the growth parameters and photosynthesis attributes. Salinity stress also increased total soluble sugar content and proline accumulation in the leaf of the tomato plant. Application of ascorbic acid under both non-stress and salinity stress

conditions decreased total soluble sugar content and proline accumulation and reduced the effects of salinity stress.

Discussion

This experiment showed that treating the tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Mobin) with 5 mM ascorbic acid substantially influences several metabolic processes, leading to the increased growth. The protection of the plant against salinity stress by using of ascorbic acid was possibly to be caused indirectly as a result of increasing amount of chlorophyll which plays an essential role in photosynthesis process and then formation of carbohydrates. Thus, it might be concluded that exogenously applied ascorbic acid has low external osmotic potential and ion toxicity and it might be effective in amelioration of the adverse effects of salt stress.

Keywords: Gas exchanges, Growth parameters, Proline, Total soluble sugar

مقاله پژوهشی

Plant Prod., 2020, 43(3), 349-362
DOI: 10.22055/ppd.2019.27610.1672

ISSN (P): 2588-543X
ISSN (E): 2588-5979

کاهش اثرات مضر تنش شوری در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L. cv. Mobin) با استفاده از اسید آسکوربیک

بهاره حاجی‌ور[۱] و محمدرضا زارع بوانی[۲]*

۱-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سبزیکاری، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

۲-***نویسنده مسئول:** استادیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران (mzarebavany@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۵

چکیده

شوری به فرآیندها و ساختارهای سلولی در گیاهان آسیب می‌رساند و موجب کاهش رشد و عملکرد می‌گردد. در پژوهش حاضر کاربرد اسید آسکوربیک برون‌زا به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی به‌منظور بهبود مقاومت به تنش شوری در گوجه‌فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در غالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه پژوهشی گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان از ابتدای زمستان تا پایان بهار سال‌های ۹۷-۱۳۹۶ به اجرا درآمد. پارامترهای رشدی، عملکرد، تبادلات گازی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، قندهای محلول و پرولین گیاه گوجه‌فرنگی تحت سطوح مختلف تنش شوری (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف اسید آسکوربیک (صفر، ۲/۵ و ۵ میلی‌مولار) ارزیابی شد. نتایج نشان داد که شوری موجب کاهش رشد، عملکرد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و تبادلات گازی گردید. شوری همچنین باعث افزایش میزان پرولین و قندهای محلول در برگ شد. تیمار اسید آسکوربیک در هر دو شرایط تنش شوری و بدون تنش باعث افزایش شاخص‌های رشدی و عملکرد شد. در شرایط تنش، گیاهان تیمارشده با اسید آسکوربیک رنگیزه‌های فتوسنتزی بیشتر و نرخ فتوسنتزی بالاتری نسبت به دیگر تیمارها نشان دادند. اسید آسکوربیک سبب کاهش معنی‌دار قندهای محلول در برگ شد. همچنین افزایش میزان اسید آسکوربیک موجب کاهش بیشتر و معنی‌دار پرولین در هر سطح شوری نسبت به دیگر تیمارها گردید. درکل، اثرات نامطلوب شوری بر گوجه‌فرنگی به‌وسیله کاربرد خارجی اسید آسکوربیک کاهش می‌یابد که درنتیجه کاهش اثرات مخرب تنش شوری و افزایش تبادلات گازی و رنگیزه‌های فتوسنتزی است. با توجه به پتانسیل اسمزی کم محلول اسید آسکوربیک و غیر سمی‌بودن، می‌توان آن‌را به‌عنوان تیماری مؤثر برای افزایش تحمل به شوری در گیاهان گوجه‌فرنگی استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: پارامترهای رشدی، پرولین، تبادلات گازی، قندهای محلول

مقدمه

گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) یک محصول مهم از تیره سیب‌زمینی است که غنی از مواد معدنی، ویتامین‌ها، اسیدآمینه‌های ضروری، قندها و فیبر است که به رژیم غذایی سالم و متعادل کمک می‌کنند (Kaur and Gupta, 2018). این محصول با تولیدی حدود

۱۶۰ میلیون تن در سال بیشترین میزان تولید را در بین سبزی‌های میوه‌ای دارد (Azarmi and Chaparzadeh, 2018).

اغلب گیاهان طی رشد و نمو خود در معرض تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرند. تنش شوری از عوامل مهمی است که چالش جدی را برای امنیت غذایی و کشاورزی به وجود می‌آورد و تأثیر نامطلوب شوری در تمام اجزای گیاه نمایان می‌شود (Chandna et al., 2013; Ahmadi and Souri, 2018). بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار از مناطق کشت‌شده در سراسر جهان تحت تأثیر شوری قرار دارد که حدود ۲۰ درصد از زمین‌های قابل‌کشت و تقریباً نیمی از زمین‌های تحت آبیاری در جهان می‌باشد (Munns and Tester, 2008). مطالعات متعدد اثرات بازدارنده تنش شوری بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را تأیید می‌کنند. در این میان فتوسنتز یکی از مهم‌ترین فرایندهای فیزیولوژیکی اساسی و پیچیده در همه گیاهان سبز است که تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد (Mimouni et al., 2016). به‌عبارت‌دیگر تنش شوری با آسیب رساندن به دستگاه فتوسنتزی در سطوح مختلف مانند رنگیزه‌ها، عملکرد روزنه‌ها و تبادلات گازی، ساختار و عملکرد غشاء تیلاکوئید، سیستم حمل و نقل الکترون و آنزیم‌ها، ظرفیت کلی فتوسنتز گیاه را کاهش می‌دهد (Ashraf and Harris, 2013). گیاهان تحت تأثیر تنش، پتانسیل اسمزی سلول‌های خود را با تجمع اسیدهای آمینه آزاد، یون‌ها، پرولین، کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌های محلول کاهش می‌دهند. این اسمولیت‌ها می‌توانند با افزایش فشار اسمزی سیتوپلاسم، جریان آب را به اندام‌ها و بافت‌های مختلف افزایش دهند (Mimouni et al., 2016). در گوجه‌فرنگی، شوری مراحل مختلف رشد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Zhang et al., 2017).

اسید آسکوربیک یک مولکول آنتی‌اکسیدان محلول در آب است که در مسیر چرخشی برای سم‌زدایی آنزیمی پراکسید هیدروژن به‌عنوان یک سوبسترای اولیه عمل می‌کند (Kaur and Gupta, 2018; Akram et al., 2017; Shalata and Meumann, 2001). علاوه بر این، اسید آسکوربیک به‌طور مستقیم برای خنثی‌سازی رادیکال‌های سوپراکسید یا اکسیژن یگانه و همچنین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان ثانویه در طی بازیابی فرم اکسیدشده α-توکوفرول، عمل می‌کند (Shalata and Meumann, 2001). پیشنهاد شده است که اسید آسکوربیک با تنظیم توالی پیچیده واکنش‌های بیوشیمیایی، القاء سنتز پروتئین‌هایی که در پاسخ به تنش تولید می‌شوند و تولید ترکیبات مختلف شیمیایی نقش مهمی در پاسخ به تنش در گیاه دارد (Khan et al., 2011). اظهار شده‌است که نقش اسید آسکوربیک در افزایش عملکرد و رشد در برخی گیاهان می‌تواند به علت فعالیت آن مانند اکسین‌های طبیعی و تأثیر آن در افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و در نتیجه افزایش فتوسنتز باشد (Farokhzad and Asghari, 2016).

Younis et al. (2010) گزارش کردند که کاربرد اسید آسکوربیک برون‌زا در شرایط تنش شوری موجب افزایش قابل‌توجهی در مقاومت به تنش و رشد گیاهچه‌های باقلا سبز شد. مطالعات نشان می‌دهند که تحت شرایط تنش شوری میزان اسیدآسکوربیک در بافت‌های گیاهان کاهش می‌یابد (Souri, 2016; Ahmadi and Souri, 2018). Ejaz et al. (2012) در بررسی اثرات کاربرد اسید آسکوربیک بر شاخص‌های رشدی نیشکر مشاهده‌کردند که اسید آسکوربیک باعث افزایش معنی‌دار محتوای اسیدآسکوربیک در گیاه و بهبود تمامی پارامترهای رشدی در شرایط تنش و بدون تنش گردید. Aly et al. (2012) در مطالعه خود مشاهده‌کردند که اضافه‌کردن اسید آسکوربیک به میزان یک میلی‌مول به محیط کشت حاوی کلریدسدیم به‌طور معنی‌داری باعث افزایش جوانه‌زنی بذر، میزان کلروفیل و کاروتنوئید و وزن خشک گیاهچه‌های شبدر مصری شد. Alhasnawi et al. (2015) اثر کاربرد اسید آسکوربیک برون‌زا را در شرایط کشت درون‌شیشه‌ای بر گیاهچه‌های برنج تحت تنش شوری مورد آزمون قرار دادند. نتایج نشان داد که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشدی، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان نیتروژن و پتاسیم شد

درحالی‌که اسید آسکوربیک به‌طور معنی‌داری باعث کاهش اثرات تنش شوری و افزایش شاخص‌های ذکر شده گردید. Daneshmand (2013) گزارش کرد که تنش شوری موجب کاهش پارامترهای رشد و مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش مقدار نشت‌یونی، پراکسیداسیون لیپیدها و پراکسید هیدروژن گردید. اسید آسکوربیک برون‌زا با افزایش فعالیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی موجب کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و در نهایت بهبود پارامترهای رشد و افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش شوری گردید.

تقویت تحمل به تنش در گیاهان، پیامدهای مثبتی در تولید گیاهان دارد. بنابراین توسعه روش‌ها و استراتژی‌هایی برای بهبود اثرات زیان‌آور تنش شوری در گیاهان موردتوجه قرار گرفته است. تحیقات دیگر محققین در طی دوره محدودی از رشد رویشی گیاهان صورت گرفته است. با توجه به گزارشات فوق، هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی تأثیر اسید آسکوربیک در دوره کامل رشد گیاهان بر عملکرد، پارامترهای رشدی، فتوسنتزی و متابولیکی و میزان اثربخشی آن برای بهبود تحمل به شوری در گیاه گوجه‌فرنگی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت گلدانی در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان از ابتدای زمستان تا پایان بهار سال‌های ۹۷-۹۶ انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و ۴ گیاه در هر تکرار (یک گیاه در هر گلدان) به اجرا در آمد. عامل اول شامل ۴ سطح شوری صفر (شاهد)، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در محلول غذایی هوگلند (به‌ترتیب برابر ۲، ۴/۵، ۷/۵ و ۱۲/۵ dSm^{-1}) و عامل دوم ۳ سطح محلول‌پاشی اسید آسکوربیک (AsA) شامل: صفر (آب‌مقطر)، ۲/۵ و ۵ میلی‌مولار بود. گیاه مورد مطالعه در این پژوهش، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L. cv. Mobin) بود که بذر آن از شرکت سپاهان رویش استان اصفهان تهیه شد. ابتدا بذرها در سینی کشت پرشده با پرلیت جوانه‌دار شدند و بعد از سه هفته نشاها به گلدان‌های پلاستیکی حاوی ماسه سیلیسی انتقال یافتند. در هر گلدان یک عدد گیاه کشت گردید. تغذیه گیاهان تا زمان شروع تیمارها، روزانه یک بار و هر بار به مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول غذایی تغییریافته هوگلند (Epstein, 1972) با نصف غلظت اصلی در ساعت ۸ صبح در هر گلدان انجام شد. گیاهان در گلخانه‌ای با حدود ۱۴ ساعت نور طبیعی، دمای میانگین روزانه ۲۵ درجه سلسیوس و ۱۰ ساعت تاریکی با دمای شبانه حدود ۱۸ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۰-۵۰ درصد پرورش داده شدند. بعد از گذشت سه هفته از نشا (مرحله ۴ تا ۵ برگی) گلدان‌ها تحت تیمارهایی با غلظت صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم قرار گرفتند. اسپری AsA یک هفته قبل از شروع اعمال تنش شوری آغاز شد و همزمان با اعمال شوری تا پایان آزمایش ادامه یافت. از Tween-20 (یک قطره در هر لیتر) به‌عنوان یک مویان استفاده شد تا نفوذ AsA به بافت برگ را بهبود نماید (Dolatabadian et al., 2008). گیاهان شاهد تنها با آب‌مقطر محلول‌پاشی شدند. محلول‌پاشی به‌صورت دستی با استفاده از یک بطری اسپری، در هر دو طرف برگ به‌طور مساوی انجام شد. تیمار اسید آسکوربیک به فاصله ۳ روز در میان در طول دوره آزمایش انجام شد. هر بار به میزان ۱۰ تا ۳۰ درصد محلول غذایی بیشتر به گلدان‌ها داده شد تا از انباشت نمک‌های اضافی در بستر جلوگیری شود. از نمونه‌های گیاهی دو نمونه در هر تکرار جهت اندازه‌گیری عملکرد و شاخص‌های رشدی و دو نمونه برای اندازه‌گیری‌های بیوشیمیایی مورد استفاده قرار گرفتند.

اندازه‌گیری پارامترهای رشد و عملکرد

برای اندازه‌گیری وزن تر، نمونه‌ها به برگ، ساقه و ریشه تفکیک و سپس با ترازوی دیجیتال با دقت دو رقم اعشار توزین انجام شد. برای سنجش وزن خشک نمونه‌های تفکیک‌شده در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در آون خشک شدند و بلافاصله با ترازوی دیجیتال با دقت چهار رقم اعشار وزن گردیدند.

میانگین وزن کل میوه‌های برداشتی از دو گیاه در هر تکرار اندازه‌گیری و به‌عنوان عملکرد در گیاه بر حسب کیلوگرم گزارش شد.

اندازه‌گیری تبادلات گازی

میزان فتوسنتز خالص (P_n)، سرعت تعرق لحظه‌ای (E)، هدایت روزنه‌ای (Gs) و غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای (Ci) با دستگاه فتوسنتز متر قابل حمل مدل CI-340 ساخت CID آمریکا اندازه‌گیری شد. سه گیاه در هر تکرار و جمعاً ۹ گیاه برای هر تیمار مورد ارزیابی قرار گرفت و تمام اندازه‌گیری‌ها بین ساعت ۱۰:۰۰ تا ۱۲:۰۰ در شدت نور معادل ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ میکرومول فوتون در مترمربع در ثانیه و بر روی برگ‌های میانی کاملاً توسعه یافته انجام شد.

اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی

سنجش میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل با استفاده از روش Lichtenthaler and Buschmann (2001) انجام شد. ۰/۲ گرم از برگ‌های تازه گیاه در یک هاون چینی سرد با ازت مایع کاملاً ساییده‌شده و ۱۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد به آن‌ها اضافه گردید. سپس مخلوط حاضر به لوله‌های فالکون ۲۰ میلی‌لیتری منتقل و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید و پس از سانتریفیوژ میزان جذب محلول روشناور در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه شد.

$$\text{Chl. a (mg/ml)} = [12.25\ A_{663.2} - 2.79\ A_{646.8}] \times V / 1000 \times W$$

$$\text{Chl. b (mg/ml)} = [21.50\ A_{646.8} - 5.10\ A_{663.2}] \times V / 1000 \times W$$

$$\text{T. Chl. (mg/ml)} = \text{Chla} + \text{Chlb}$$

در این معادله‌ها TChl, Chlb, Chla، V و W به‌ترتیب کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، حجم نمونه و وزن نمونه می‌باشد. غلظت رنگیزه‌ها بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر گزارش شد.

اندازه‌گیری پرولین

میزان پرولین به روش Bates et al. (1973) اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۰/۵گرم بافت تازه برگ با نیتروژن مایع در داخل هاون آسیاب گردید و به آن ۱۰ میلی‌لیتر ۵-سولفوسالسیلیک اسید (۱۰ درصد) اضافه گردید. این مخلوط ازکاغذ واتمن شماره ۲ عبور داده شد. سپس به ۲ میلی‌لیتر از محلول صاف‌شده ۲ میلی‌لیتر از معرف ناین هیدرین (حاوی ۱/۲۵ گرم ناین هیدرین در ۳۰ میلی‌لیتر استیک اسید و ۲۰ میلی‌لیتر فسفریک اسید ۶ مولار) و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید اضافه گردید و به مدت ۱ ساعت در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد. ادامه واکنش با گذاشتن داخل یخ خاتمه پذیرفت. سپس ۴ میلی‌لیتر تولوئن به مخلوط واکنش اضافه گردید و به مدت ۲۰-۱۵ ثانیه ورتکس شد. جذب نوری محلول قرمز رنگ فازرویی در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. برای محاسبه مقدار پرولین از منحنی استاندارد پرولین استفاده و نتایج برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گزارش شد.

اندازه‌گیری میزان قندهای محلول

مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم وزن خشک از هر نمونه گیاهی در هر تکرار داخل لوله آزمایش قرار داده‌شد و مقدار ۵ میلی‌لیتر الکل اتانول ۸۰ درصد داغ به آن اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه در ۸۰۰۰ دور سانتریفوژ گردید. با تکرار همین مراحل، حجم نهایی با اتانول ۸۰ درصد به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده‌شد. از این عصاره جهت اندازه‌گیری میزان قندهای محلول، طبق روش Dubois et al. (1956) استفاده شد. مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره در لوله آزمایش ریخته شد و ۱ میلی‌لیتر محلول فنل ۵ درصد به آن اضافه گردید. سپس بلافاصله مقدار ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه شد و مخلوط حاصل به‌مدت یک دقیقه ورتکس گردید. درنهایت ۱۵-۱۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه قرار داده شد تا رنگ قهوه‌ای آجری تشکیل گردد. از قند گلوکز به‌عنوان قند استاندارد استفاده شد. میزان قندهای محلول در طول موج ۴۸۸ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت و سپس میزان قندهای محلول بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن‌خشک نمونه محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه آماری داده‌های حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS-9.1، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel-2013 انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های رشد

اثر متقابل میزان شوری و میزان AsA بر وزن تر و خشک برگ و وزن ترکل گیاه در سطح احتمال خطای یک درصد و بر وزن خشک کل گیاه گوجه‌فرنگی در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین اثرات ساده شوری و میزان اسید آسکوربک در تمام شاخص‌های رشدی مورد مطالعه در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد. در تیمارهای ۲/۵ و ۵ میلی‌مولار AsA، افزایش معنی‌داری در وزن تر و خشک کل گیاه نسبت به تیمارهای معادل شوری مشاهده شد (جدول ۱) با افزایش میزان شوری به تدریج از وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه گیاه کاسته شد. بیشترین وزن تر و خشک اجزای گیاه در تیمار بدون شوری و کمترین آن در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم دیده شد. افزایش در غلظت AsA موجب افزایش در میزان پارامترهای رشد گردید (جدول ۱). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تنش شوری پارامترهای رشد مورد مطالعه را کاهش داده است. این اثرات مهاری تنش شوری در رشد گیاه و تولید زیست‌توده گیاه گوجه‌فرنگی به خوبی شناخته شده‌است (Cuartero and Munoz, 1999; Zhang et al., 2017). کاهش میزان رشد گیاه تحت تنش شوری، احتمالاً به دلیل انباشت مقدار زیاد نمک‌های سمی در برگ و سایر بافت‌ها است که منجر به کم‌آبی و از دست دادن تورژسانس و درنهایت مرگ سلول‌ها و بافت‌ها می‌شود (Munns and Tester, 2008; Ahmadi and Souri, 2018). در مطالعه حاضر، کاربرد AsA برون‌زا به‌طور قابل توجهی باعث افزایش شاخص‌های رشد گیاهان گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری شد که نشان‌دهنده اثر مثبت AsA بر پارامترهای رشد مورد بررسی است. این نتایج با یافته‌های قبلی که در آن کاربرد AsA برون‌زا منجر به بهبود قابل توجهی در تحمل به شوری بادمجان (El-Tohamy et al., 2008)، گندم (Athar et al., 2008 & 2009; Khan et al., 2011)، گیاهان سورگوم (Arafa et al., 2009) و نیشکر (Ejaz et al., 2012) شده است هم‌خوانی دارد. بهبود رشد ناشی از AsA در گیاهان گوجه‌فرنگی مشاهده‌شده در طی تحقیق حاضر می‌تواند ناشی از افزایش پارامترهای فتوسنتزی باشد که عامل مهمی برای رشد گیاهان است (Tanaka and Makino, 2009). یکی دیگر از دلایل افزایش رشد، ممکن است ناشی از نقش AsA در تنظیم رشد و تقسیم سلولی با تأثیر بر چرخه سلولی باشد (Smirnoff, 2011).

Table 1. Mean comparison the interaction effects of ascorbic acid and salinity stress on some studied characters in tomato

Salinity (mM)	Foliar spray of ascorbic acid	Leaf fresh weight(gr)	Leaf dry weight(gr)	Total fresh weight(gr)	Total dry weight(gr)	Proline (µmol g^{1}Fw)
0	$AsA0^{mM}$	210.40^{ab}	25.63^{ab}	638.57^{ab}	72.95^{abc}	0.48^{i}
	$AsA2.5^{mM}$	226.06^{a}	27.47^{a}	677.13^{a}	79.04^{a}	0.47^{i}
	$AsA5^{mM}$	209.56^{ab}	25.53^{ab}	644.00^{ab}	71.95^{abc}	0.59^{h}
25	$AsA0^{mM}$	177.30^{cd}	21.73^{cd}	536.17^{d}	66.12^{cd}	0.88^{f}
	$AsA2.5^{mM}$	208.03^{b}	25.27^{b}	607.43^{bc}	74.77^{abc}	0.76^{g}
	$AsA5^{mM}$	219.86^{ab}	26.97^{ab}	634.63^{ab}	75.98^{ab}	0.76^{g}
50	$AsA0^{mM}$	134.26^{e}	16.47^{e}	417.40^{f}	53.31^{ef}	1.27^{d}
	$AsA2.5^{mM}$	166.06^{d}	20.47^{d}	489.87^{de}	61.18^{de}	1.21^{de}
	$AsA5^{mM}$	187.53^{c}	22.93^{c}	539.23^{cd}	68.34^{bcd}	1.14^{e}
100	$AsA0^{mM}$	74.93^{g}	9.10^{g}	223.80^{h}	31.26^{g}	1.91^{a}
	$AsA2.5^{mM}$	110.03^{f}	13.60^{f}	335.27^{g}	47.16^{f}	1.68^{b}
	$AsA5^{mM}$	136.50^{e}	16.70^{e}	421.10^{ef}	58.45^{e}	1.47^{c}
C.V. (%)		6.19	6.59	8.26	8.51	6.42

Means with the same letter in each column represent non significant at 5% probability level

تجزیه آماری داده‌های مربوط به عملکرد نشان داد که تنها اثرات ساده شوری و اسید آسکوربیک بر عملکرد معنی‌دار بود. افزایش شوری موجب کاهش معنی‌داری در میزان عملکرد میوه گیاه گوجه فرنگی شد (جدول ۲). حداکثر عملکرد (۳/۹۷ کیلوگرم در هر گیاه) مربوط به تیمار صفر میلی‌مولار کلرید سدیم و حداقل آن (۲/۶۶ کیلوگرم در گیاه) مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم می‌باشد. اسید آسکوربیک نیز باعث افزایش معنی‌داری در عملکرد گردید به‌طوری‌که کمترین میزان عملکرد (۲/۹۳ کیلوگرم در گیاه) در تیمار محلول‌پاشی با آب‌مقطر بدون اسید آسکوربیک و بیشترین آن (۳/۷۴ کیلوگرم در گیاه) مربوط به تیمار ۵ میلی‌مولار اسید آسکوربیک بود.

عملکرد

افزایش شوری محلول غذایی باعث افزایش پتانسیل اسمزی محیط ریشه می‌شود و در نتیجه جذب آب و مواد معدنی توسط گیاه را کاهش می‌دهد که منتج به کاهش رشد و عملکرد در گوجه‌فرنگی می‌گردد (Azarmi and Chaparzadeh, 2018). کاهش عملکرد ناشی از شوری در گوجه‌فرنگی توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (Azarmi and Chaparzadeh, 2018; Zhang et al., 2017). در مطالعه حاضر، کاربرد AsA برون‌زا به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد گیاهان گوجه فرنگی در شرایط تنش شوری و بدون تنش شد. بهبود عملکرد ناشی از کاربرد AsA برون‌زا در گیاهان نیشکر نیز مشاهده شده است (Ejaz et al., 2012). این افزایش رشد و عملکرد ناشی از AsA می‌تواند به دلیل افزایش فتوسنتز باشد که عامل مهمی برای رشد و بازده گیاهان است (Tanaka and Makino, 2009). یکی دیگر از دلایل افزایش رشد و عملکرد، ممکن است پیامد AsA بر متابولیسم و چرخه سلولی و افزایش رشد و تقسیم سلولی باشد (Smirnoff, 2011).

تبادلات گازی

نتایج تجزیه واریانس صفات حاکی از معنی‌دار بودن برهمکنش سطوح تنش شوری و محلول‌پاشی AsA برای فتوسنتز خالص (Pn) و هدایت روزنه‌ای (Gs) در سطح پنج درصد بود. مقایسه میانگین برهمکنش شوری و محلول‌پاشی برای فتوسنتز (جدول ۳) نشان داد که در سطوح مختلف تنش شوری، بیشترین میزان Pn و Gs در محلول‌پاشی با ۵ میلی‌مولار AsA و کمترین میزان فتوسنتز در محلول‌پاشی با آب‌مقطر و در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلریدسدیم بود. با افزایش شوری میزان تعرق (E) و دی‌اکسیدکربن زیرروزنه‌ای (Ci) کاهش پیدا کرد (جدول ۲). تیمار محلول‌پاشی با AsA باعث افزایش معنی‌دار E و Ci گردید به‌طوری‌که بیشترین میزان این پارامترها در سطح ۵ میلی‌مولار AsA اندازه‌گیری شد (جدول ۴). به‌طور کلی، تبادلات گازی به‌عنوان شاخصی مهم برای رشد گیاهان شناخته می‌شود زیرا ارتباط مستقیمی با تولید مواد در گیاهان دارد. اثبات شده است که Pn، Gs، E و Ci پارامترهایی هستند که تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرند (Sudhir and Murthy, 2004). همان‌طور که نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد، افزایش غلظت کلریدسدیم باعث کاهش معنی‌دار این پارامترها می‌شود (جدول ۳).

Table 2. Mean comparison of main effects of ascorbic acid and salinity stress on studied traits in tomato

Treatments		Stem fresh weight (gr)	Root fresh weight (gr)	Stem fresh weight (gr)	Root dry weght (gr)	Yield (kg plant^{-1})
Salinity (mM)	0	375.28^{a}	62.61^{a}	41.53^{a}	7.05^{a}	3.97^{a}
	25	334.37^{b}	56.64^{a}	39.66^{a}	6.56^{a}	3.77^{b}
	50	269.99^{c}	49.54^{b}	34.17^{b}	5.58^{b}	3.14^{c}
	100	189.21^{d}	30.36^{c}	26.88^{c}	3.99^{c}	2.66^{d}
Foliar spray of ascorbic acid	AsA0^{mM}	263.63^{b}	41.13^{b}	31.94^{b}	4.91^{b}	2.93^{c}
	AsA2.5^{mM}	297.70^{a}	52.17^{a}	36.84^{a}	6.03^{a}	3.48^{b}
	AsA5^{mM}	315.30^{a}	56.08^{a}	37.90^{a}	6.44^{a}	3.74^{a}
C.V. (%)		10.89	18.69	11.85	18.61	5.50

Means with the same letter in each column represent non significant at 5% probability level.

Table 3. Mean comparison interaction effects of ascorbic acid and salinity stress on net photosynthesis, stomata conductance, chlorophyll a and total chlorophyll in tomato

Salinity (mM)	Foliar spray of ascorbic acid	Net photosynthesis (umol CO_2 m^{-2} s^{-1})	Stomata conductance (mmol H_2O m^{-2} s^{-1})	Chlorophyll a (mg g^{-1}Fw)	Total chlorophyll (µmol g^{1}Fw)
0	$AsA0^{mM}$	12.38^{bc}	137.60^{ab}	1.04^{abc}	1.40^{ab}
	$AsA2.5^{mM}$	13.94^{a}	147.63^{a}	1.08^{abc}	1.49^{a}
	$AsA5^{mM}$	12.11^{bc}	134.40^{bc}	1.04^{bc}	1.43^{a}
25	$AsA0^{mM}$	11.26^{cde}	118.20^{de}	1.01^{bc}	1.30^{bc}
	$AsA2.5^{mM}$	12.76^{abc}	131.47^{bc}	1.09^{ab}	1.39^{ab}
	$AsA5^{mM}$	13.07^{ab}	139.20^{ab}	1.13^{a}	1.45^{a}
50	$AsA0^{mM}$	8.98^{fg}	96.10^{g}	0.79^{ef}	1.00^{ef}
	$AsA2.5^{mM}$	10.37^{def}	109.83^{ef}	0.90^{cd}	1.14^{d}
	$AsA5^{mM}$	11.62^{bcd}	123.80^{cd}	1.00^{bc}	1.25^{c}
100	$AsA0^{mM}$	5.16^{h}	65.27^{i}	0.63^{g}	0.79^{g}
	$AsA2.5^{mM}$	7.84^{g}	81.83^{h}	0.73^{f}	0.94^{f}
	$AsA5^{mM}$	9.80^{ef}	101.60^{fg}	0.85^{de}	1.08^{de}
C.V. (%)		8.29	6.63	4.71	4.17

Means with the same letter in each column represent non significant at 5% probability level.

Table 4. Mean comparison of main effects of ascorbic acid and salinity stress on studied traits in tomato

Treatments		Total soluble sugars (mg g^{-1}fw)	Transpiration (E) (mmol H_2Om^{-2} s^{-1})	Internal CO_2 concentration (ppm)	Chlorophyll b (mg g^{-1}fw)
Salinity (mM)	0	6.70^{c}	3.11^{a}	291.33^{a}	0.39^{a}
	25	6.78^{c}	2.82^{b}	266.78^{b}	0.31^{b}
	50	7.57^{b}	2.16^{c}	212.44^{c}	0.23^{c}
	100	8.50^{a}	1.65^{d}	146.11^{d}	0.20^{d}
Foliar spray of ascorbic acid	$AsA0^{mM}$	8.07^{a}	2.64^{a}	215.42^{c}	0.26^{b}
	$AsA2.5^{mM}$	7.13^{b}	2.48^{a}	227.25^{b}	0.29^{a}
	$AsA5^{mM}$	6.96^{b}	2.19^{b}	244.83^{a}	0.30^{a}
C.V. (%)		8.44	11.17	4.96	6.91

Means with the same letter in each column represent non significant at 5% probability level.

بسته شدن روزنه‌ها در پاسخ به تنش شوری معمولاً به دلیل کاهش تورژسانس برگ و فشار بخار هوا همراه با سیگنال‌های شیمیایی تولیدشده توسط ریشه است (Chaves et al., 2009). بسیاری از پژوهشگران اظهار داشتند که روزنه‌ها مبادله CO_2 و بخارآب بین برگ و اتمسفر را تنظیم می‌کنند. کنترل هدایت‌روزنه‌ای برای جذب منابع CO_2 و جلوگیری از خشک‌شدن ضروری است (Hnilickova et al., 2017). تأثیر تنش شوری بر میزان فتوسنتز می‌تواند ناشی از اثر بر هدایت روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای (مانند هدایت مزوفیلی) یا هر دو عامل باشد (Saibo et al., 2009). همچنین اظهارشده که اثرات تنش اسمزی نمک، می‌تواند بر فعالیت تعدادی از آنزیم‌های استرومائی که در آسیمیلاسیون CO_2 نقش دارند، تأثیر منفی بگذارد (Hnilickova et al., 2017). یافته‌های این تحقیق مطابق با یافته‌های Shahbazi et al. (2015) در سویا و Wang et al. (2014) برنج است. در غیاب مکانیسم محافظتی، ROS می‌تواند به ساختار و عملکرد کلروپلاست آسیب برساند (Wang et al., 2014). AsA می‌تواند از طریق برگ جذب‌شده و در آوند آبکش برگ‌ها بارگذاری و سپس به سایر بافت‌ها منتقل شود (Tedone et al., 2004). آزمایش‌ها نشان داده است که AsA خارجی، میزان AsA داخلی را افزایش و سطوح H_2O_2 و پراکسیداسیون لیپیدهای غشا را کاهش می‌دهد، به‌این‌ترتیب موجب کاهش آسیب ناشی از تولید بیش‌ازحد ROS توسط تنش شوری می‌گردد. در کلروپلاست‌ها، AsA به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم می‌تواند پراکسیدهیدروژن، اکسیژن یگانه، هیدروکسیل و دیگر ROSها را از بین ببرد (Wang et al., 2014). احتمالاً AsA با کاهش اثرات

منفی تنش شوری و اکسیداتیو بر سیستم فتوسنتز و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی باعث بهبود پارامترهای تبادلات گازی شده است.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

نتایج تجزیه واریانس دادها نشان داد که برهم‌کنش شوری و محلول‌پاشی AsA برای کلروفیل a و کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. شوری موجب کاهش معنی‌دار کلروفیل b در مقایسه با گیاهان شاهد شد (جدول‌های ۳ و ۴). کلروفیل با افزایش شوری کاهش پیدا کرد و در ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم در مقایسه با کنترل بیشترین میزان کاهش را نشان داد. کاربرد خارجی AsA باعث افزایش کلروفیل b و کل به میزانی شد که به‌طور کلی بالاتر از مقادیر شاهد بود. AsA همچنین کلروفیل a و کل گیاهان تحت تنش کلرید سدیم را بهبود بخشید و مقادیر در همه موارد به‌طور معنی‌داری بالاتر از گیاهان تحت تنش بود. کارآمدترین تیمار ۵ میلی‌مولار AsA بود که منجر به بالاترین مقدار کلروفیل شد (جدول ۳).

نتایج این تحقیق موافق با یافته‌های دیگر محققین در مورد سویا (Shahbazi et al., 2015)، نخود زراعی (Chenarani et al., 2015)، لوبیا (Saeidi-Sar et al., 2013) و کلزا (Dolatabadian et al., 2008) است. استرس شوری منجر به افزایش رادیکال‌های آزاد در کلروپلاست‌ها و تخریب مولکول‌های کلروفیل توسط ROS می‌شود که باعث کاهش فتوسنتز و رشد می‌گردد (Dolatabadian et al., 2008). اتم‌های اکسیژن یگانه و سوپراکسید به‌طور عمده ترکیبات دارای باندهای دوگانه (مانند اسیدهای چرب اشباع‌نشده و کلروفیل) را موردحمله و تخریب قرار می‌دهند، درنتیجه باعث آسیب به سیستم غشای کلروپلاست و مراکز واکنش فتوسنتزی می‌شوند (Zhang et al. 2003). این به‌نوبه خود باعث انتشار کلروفیل از غشای تیلاکوئید می‌شود. در چنین شرایطی، برای جلوگیری از آسیب سلولی به‌وسیله اثرات نوری، کلروفیل باید سریعاً تخریب شود. عدم تخریب کلروفیل می‌تواند مقدار ROS تولیدشده را تا حد زیادی افزایش دهد به‌طوری‌که از ظرفیت سمیّت‌زدایی سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی بیشتر شود (Dolatabadian et al., 2008). مهار بیوسنتز کلروفیل در گیاهان تحت تنش نمک قبلاً گزارش شده است (Sinha et al., 2003). در گیاهان معمولاً رابطه مستقیمی بین میزان سبزینگی برگ و غلظت اسیدآسکوربیک در آن وجود دارد (Souri, 2016) و هر عاملی که بتواند سبزینگی برگ را کاهش یا افزایش دهد، می‌تواند احتمالاً بر میزان اسیدآسکوربیک برگ نیز مؤثر باشد (Souri and Aslani, 2018).

همچنین AsA یک سم‌زدایی کننده و خنثی‌کننده رادیکال‌های سوپراکسید و دیگر گونه‌های اکسیژن یگانه است که با پیشگیری از فعالیت رادیکال‌های آزاد می‌تواند از تخریب کلروفیل جلوگیری کرده و بیوسنتز آن‌را افزایش دهد (Alhasnawi et al., 2015).

پرولین

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش سطوح شوری میزان پرولین در تمام تیمارها نسبت به شاهد افزایش یافت و در غلظت‌های یکسان کلرید سدیم تیمارهایی که تحت تأثیر AsA قرارگرفته بودند، در مقایسه با گیاهانی که فقط تحت تأثیر کلرید سدیم بودند کاهش معنی‌داری در میزان پرولین نشان دادند (جدول ۱) که با نتایج Dolatabadian et al. (2008) در مورد کلزا مطابقت دارد اما با نتایج Ghorbanli (2012) در زیره سبز و Ejaz et al. (2012) در نیشکر در تقابل است. پیشنهاد شده است که گیاهان مقدار بیشتری پرولین را به‌عنوان یک استراتژی محافظتی در برابر شرایط استرس‌زا تجمع می‌دهند (Khedr et al., 2003; Turan et al., 2009). تجمع پرولین در ارتباط با تنش ممکن است به‌عنوان یک حلال سازگار به‌منظور حفظ تعادل اسمزی باشد که اجازه می‌دهد تا گیاهان به شرایط محیطی نامساعد سازگار گردند (Vinocur and Altman, 2005; Bandehagh et al., 2008). پرولین همچنین علاوه بر یک واسطه تنظیم اسمزی به‌عنوان یک جزء از سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی عمل می‌کند (Molinari et al., 2007). در مطالعه حاضر، تنش شوری باعث افزایش

میزان پرولین برگ شد و استفاده از AsA باعث جلوگیری از بیوسنتز پرولین اضافی شد. غلظت این متابولیت معمولاً در پاسخ به استرس نمک افزایش می‌یابد (Dolatabadian et al., 2008) و کاهش میزان آن در تیمار AsA احتمالاً به دلیل کاهش اثرات تنش شوری است.

قندهای محلول

شوری باعث افزایش معنی‌دار قندهای محلول کل در برگ گردید درحالی‌که اسید آسکوربیک باعث کاهش میزان قندهای محلول در گیاهان تحت تنش شوری در مقایسه با تیمارهای بدون محلول‌پاشی AsA شد (جدول ۴). تغییر در متابولیسم قندها و تبدیل پلی ساکاریدها به قندهای ساده در شرایط تنش اسمزی در تحمل تنش دارای نقش تعیین‌کننده‌ای است. افزایش غلظت قندهای محلول، علاوه بر این‌که باعث منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی در سیتوپلاسم می‌شود، در حفاظت اسمزی غشاها و پروتئین‌ها و همچنین جاروب‌کردن ROSها نیز نقش دارد (Daneshmand, 2013). بیان شده است که AsA با وجود این‌که یک ملکول کوچک است دارای توان فیزیولوژیک بالا می‌باشد و می‌تواند فرآیند ماده‌سازی و به‌ویژه ساخت قندها را در جهتی القا کند که درنهایت به رشد گیاه منجر شود (Smirnoff, 2011). درنتیجه، کاهش قندهای محلول در تیمار AsA ممکن است به دلیل افزایش رشد باشد. این احتمال نیز وجود دارد که AsA با کاهش اثرات مضر تنش شوری نیاز به افزایش قندهای محلول را کاهش داده باشد (Daneshmand, 2013).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد اسید آسکوربیک برون‌زا موجب بهبود رشد گیاهان در هر دو شرایط تنش و غیرتنش شد. اسید آسکوربیک با کاهش اثرات تنش شوری موجب کاهش میزان اسمولیت‌های محلول (پرولین و قندهای محلول) و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و پارامترهای تبادلات گازی گردید که منتج به افزایش معنی‌دار رشد در گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری شد. این اثرات بهبود رشد و عملکرد در غلظت ۵ میلی‌مولار اسید آسکوربیک بیشتر دیده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد اسید آسکوربیک برون‌زا با توجه به این‌که فشار اسمزی کمی دارد و برای گیاه سمی نیست، می‌تواند به‌طور موفقیت‌آمیزی موجب افزایش تحمل به شوری در گوجه‌فرنگی گردد.

سپاس‌گزاری

نویسندگان از گروه علوم و مهندسی باغبانی و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان برای حمایات از پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌کنند.

References

Ahmadi, M. and Souri, M. K. (2018). Growth and mineral elements of coriander (*Corianderum sativum* L.) plants under mild salinity with different salts. *Acta Physiologia Plantarum, 40*(11), 94-99.

Akram, N. A., Shafiq, F. and Ashraf, M. (2017). Ascorbic acid-A potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science, 8*(613), 1-17.

Alhasnawi, A. N., Kadhimi, A. A., Yusoff, W. M. W., Zain, C. R. C. M., Isahak, A. and Alhasnawi, A. N. (2015). Exogenous application of ascorbic acid ameliorates detrimental effects of salt stress in rice (MRQ74 and MR269) seedlings. *Asian Journal of Crop Science, 7*(3), 186-196.

Aly, A. A., Khafaga, A. F. and Omar, G. N. (2012). Improvement the adverse effect of salt stress in Egyptian clover (*Trifolium alexandrinum* L.) by AsA application through some biochemical and RT-PCR markers. *Journal of Applied Phytotechnology in Environmental Sanitation, 1*(2), 91-102.

Arafa, A. A., Khafagy, M. A. and El-Banna, M. F. (2009). The effect of glycinebetaine or ascorbic acid on grain germination and leaf structure of sorghum plants grown under salinity stress. *Australian Journal of Crop Science, 3*(5), 294-304.

Ashraf, M. and Harris, P. J. C. (2013). Photosynthesis under stressful environments, an overview. *Photosynthetica, 51*(1), 163-190.

Athar, H. R., Khan, A. and Ashraf, M. (2008). Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. *Environmental and Experimental Botany, 63*(1-3), 224-231.

Athar, H. R., Khan, A. and Ashraf, M. (2009). Inducing salt tolerance in wheat by exogenously applied ascorbic acid through different modes. *Journal of Plant Nutrition, 32*(11), 1799-1817.

Azarmi, R. and Chaparzadeh, N. (2018). The effect of salinity and fruit ripening stage on some quantitative and quantitative characteristics of tomato in hydroponics. *Plant Productions, 41*(2), 91-102. [In Farsi]

Bandehagh, A., Toorchi, M., Mohammadi, A. and Kasemnia, H. (2008). Growth and osmotic adjustment of canola genotypes in response to salinity. *Journal of Food Agriculture and Environment, 6*(2), 201-208.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Tear, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil, 39*(1), 205- 207.

Chandna, R., Azooz, M. M. and Ahmad, P. (2013). Recent advances of metabolomics to reveal plant response during salt stress. In P. Ahmad, M. M. Azooz, and M. N. V. Prasad (Eds.), *Salt stress in plants: signalling, omics and adaptations* (pp: 1-14), New York: Springer Science+Business Media.

Chaves, M. M., Flexas, J. and Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany, 103*(4), 551-560.

Chenarani, M., Safipour Afshar, A. and Saeed Nematpour, F. (2015). Physiological and biochemical responses of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to ascorbic acid under salinity stress. *Iranian Journal of Plan Physiology and Biochemistry, 1*(1), 63-76. [In Farsi]

Cuartero, J. and Munoz, R. F. (1999). Tomato and salinity. *Scientia Horticulture, 78*(1-4), 83-125.

Daneshmand, F. (2013). The effect of ascorbate pre-treatment on tomato plant under drought stress: oxidative stress, osmolytes, phenolics and protein. *Iranian Journal of Plant Biology, 5*(18), 53-66. [In Farsi]

Dolatabadian, A., Modarres-Sanavy, S. and Ahmadian-Chashmi, N. (2008). The effects of foliar application of ascorbic acid (vitamin c) on antioxidant enzymes activities, lipid peroxidation and proline accumulation of canola (*Brassica napus* L.) under conditions of salt stress. *Journal of Agronomy and Crop Science, 194*(3), 206-213.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry, 28*(3), 350- 356.

Ejaz, B., Sajid, Z. A. and Aftab, F. (2012). Effect of exogenous application of ascorbic acid on antioxidant enzyme activities, proline contents, and growth parameters of *Saccharum* spp. hybrid cv. HSF-240 under salt stress. *Turkish Journal of Biology, 36*(1), 630-640.

El-Tohamy, W. A., El-Abagy, H. M. and El-Greadly, N. H. M. (2008). Studies on the effect of putrescine, yeast and vitamin C on growth, yield and physiological responses of eggplant (*Solanum melongena* L.) under sandy soil conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2*(2), 296-300.

Epstein, E. (1972). *Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives*. New York: Wiley.

Farokhzad, A. and Asghari, M. (2016). Effect of foliar spray with ascorbic acid on some qualitative characteristics and improving color of apple fruit (*Malus domestica*). *Plant Productions, 39*(3), 113-125. [In Farsi].

Ghorbanli, M., Ahmadi, F., Monfared, A. and Bakhshi Khaniki, Gh. (2012). Effect of salt stress and its interaction with ascorbate on catalase, ascorbate peroxidase activity, proline and malondialdehyde in

Cuminum cyminum L. four weeks after germination. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 28*(1), 14-27. [In Farsi]

Hnilickova, H., Hnilicka, F., Martinkova, J. and Kraus, K. (2017). Effects of salt stress on water status, photosynthesisand chlorophyll fluorescence of rocket. *Plant, Soil and Environment, 63*(8), 362-367.

Kaur, H. and N. Gupta. (2018). Ameliorative Effect of Proline and Ascorbic Acid on Seed Germination and Vigour Parameters of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Under Salt Stress. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7*(*1*), 3523-3532.

Khan, T. A., Mazid, M. and Mohammad, F. (2011). A review of ascorbic acid potentialities against oxidative stress induced in plants. *Journal of Agrobiology, 28*(2), 97-111.

Khedr, A. H. A., Abbas, M. A. and Wahid, A. A. (2003). Proline induces the expression of salt-stress-responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancratium maritimum* L. to salt-stress. *Journal of Experimental Botany, 54*(392), 2553-2562.

Lichtenthaler, H. K. and Buschmann, C. (2001). Extraction of photosynthetic tissues: Chlorophylls and carotenoids. In Wrolstad, R. E., Acree, T. E., Decker, E. A., Penner, M. H., Reid, D. S. and Schwarts, S. J. (Eds.), *Current protocols in food analytical chemist*ry (pp. F4.2.1–F4.2.6). New York: John Wiley and Sons.

Mimouni, H., Wasti, S., Manaa, A., Gharbi, E. and Chalh, A. (2016). Does salicylic acid (SA) improve tolerance to salt stress in plants? A study of SA effects on tomato plant growth, water dynamics, photosynthesis, and biochemical parameters. *Omics A Journal of Integrative Biology, 20*(3), 180-90.

Molinari, H. B. C., Marur, C. J. and Daros, E. (2007). Evaluation of the stress-inducible production of proline in transgenic sugarcane (*Saccharum* spp.), osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence and oxidative stress. *Physiologia Plantarum, 130*(2), 218-229.

Munns, R. and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology, 59*(1), 651-681.

Saeidi-Sar, S., Abbaspour, H., Afshari, H. and Yaghoobi, S. R. (2013). Effects of ascorbic acid and gibberellin GA_3 on alleviation of salt stress in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum, 3*5(1), 667-677.

Saibo, N. J. M., Lourenco, T. and Oliveira, M. M. (2009). Transcription factors and regulation of photosynthetic and related metabolism under environmental stresses. *Annals of Botany, 103*(4), 609-623

Shahbazi Zadeh, E., Movahhedi Dehnavi, M. and Balouchi, H. (2015). Effects of foliar application of salicylic and ascorbic acids on some physiological characteristics of soybean (cv. Williams) under salt stress. *Journal of Plant Process and Function, 4*(11), 13-22. [In Farsi]

Shalata, A. and Meumann, P. M. (2001). Exogenous ascorbic acid (vitamin C) increases resistance to salt stress and reduces lipid peroxidation. *Journal of Experimental Botany, 52*(364), 2207-2211.

Sinha, S., Bhatt, K., Pandey, K., Singh, S. and Saxena, R. (2003): Interactive metal accumulation and its toxic effects under repeated exposure in submerged plant *Najas indica* Cham. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 70*(1), 696-704.

Smirnoff, N. (2011). Vitamin C: the metabolism and functions of ascorbic acid in plants. *Advances in Botanical Research, 59*(1), 107-177.

Souri, M. K. (2016). Aminochelate fertilizers: the new approach to the old problem; a review. *Open Agriculture, 1*(1), 118-123.

Souri, M. K. and Aslani, M. (2018). Beneficial effects of foliar application of organic chelate fertilizers on French bean production under field conditions in a calcareous soil. *Advances in Horticultural Science, 32*(2), 265-272.

Sudhir, P. and Murthy, S. D. S. (2004). Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis. *Photosynthetica, 42*(4), 481-486.

Tanaka, A. and Makino, A. (2009). Photosynthetic research in plant science. *Plant and Cell Physiology, 50*(4), 681-683.

Tedone, L., Hancock, R. D., Alberino, S., Haupt, S. and Viola, R. (2004). Long-distance transport of L-ascorbic acid in potato. *BMC Plant Biology, 4*(16), 1-8.

Turan, M. A., Elkarim, A. H. A. and Taban, N. (2009). Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations on maize plant. *African Journal of Agricultural Research, 4*(9), 893-897.

Vinocur, B. and Altman A. (2005). Recent advances in engineering plant tolerance to aboitic stress: achievements and limitations. *Current Opinion in Biotechnology, 16*(2), 123-132.

Wang, R., Liu, Sh., Zhou, F., Ding, Ch. and Hua, Ch. (2014). Exogenous ascorbic acid and glutathione alleviate oxidative stress induced by salt stress in the chloroplasts of *Oryza sativa* L. *Journal of Biosciences, 69*(5-6), 226-236.

Younis, M. E., Hasaneen, M. N. A. and Kazamel, A. M. S. (2010). Exogenously applied ascorbic acid ameliorates detrimental effects of NaCl and mannitol stress in *Vicia faba* seedlings. *Protoplasma, 239*(1-4), 39-48.

Zhang, P., Senge, M. and Dai, Y. (2017). Effect of salinity stress at different growth stages on tomato growth, yield and water use efficiency. *Reviews in Agricultural Science, 48*(6), 624-634.

Zhang, S., Weng, J., Pan, J., Tu, T., Yao, S. and Xu, C. (2003). Study on the photogeneration of superoxide radicals in Photosystem II with EPR spin trapping techniques. *Photosynthesis Research, 75*(1), 41-48.

© 2020 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)