دو فصلنامه علمی- پژوهشی علوم سبزی‌ها
سال ۴- شماره ۸- پاییز و زمستان ۱۳۹۹- صفحات (۵۱-۳۵)

Journal of Vegetables Sciences
Vol 4, No 8, Autumn & Winter 2021, Pages (35-51)
DOI: 10.22034/iuvs.2021.131965.1114

تأثیر کافئیک اسید بر رشد و کاهش اثرات مخرب تنش شوری در خیار گلخانه‌ای

مریم حقیقی[1]* و زینب معصومی[2]

۱- دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

* نویسنده مسئول: mhaghighi@cc.iut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۴- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۸)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کافئیک اسید بر رشد و صفات فیزیولوژیکی خیار (*Cucumis sativus* var. Super daminos) تحت شرایط تنش شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۹۷ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل شوری در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار از نمک کلرید سدیم) و کافئیک اسید در چهار سطح شامل (صفر، دو، چهار و شش میلی‌گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد در تمام سطوح شوری، تیمارهای فاقد کافئیک اسید، پایین‌ترین مقدار فتوسنتز را نشان دادند. محتوای نسبی آب در تیمارهای فاقد شوری با افزایش غلظت کافئیک اسید به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ اما در بالاترین سطح شوری، کاربرد دو میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید سبب افزایش محتوای نسبی آب گردید. در سطح شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، کاربرد کافئیک اسید سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی نسبت به شاهد شد. به‌طوری‌که بیشترین مقدار در تیمارهای ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و دو میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید (۰/۲۷ درصد) و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و شش میلی‌گرم در لیتر (۰/۲۵ درصد) مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد که کافئیک اسید در غلظت‌های پایین باعث بهبود خصوصیات رشد و فیزیولوژیکی خیار می‌شود؛ اما در غلظت‌های بالا اثر سمی دارد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش شوری، فنول، کلروفیل فلورسانس.

مقدمه

تنش‌های غیرزیستی همانند شوری، خشکی و دمای پایین معمولاً اثرات نامطلوبی را بر رشد و توسعه گیاه دارند و سبب کاهش عملکرد آن می‌گردند (Nakashima *et al*., 2009). از آن‌جا که از وسعت ۱۶۵ میلیون هکتاری ایران، حدود ۱۲۰ میلیون هکتار آن دارای اقلیم خشک و بیابانی بوده و حدود ۲۵ میلیون هکتار شوره‌زار و کویر است. برآورد شده است که ۱۵ درصد کل ایران، ۳۰ درصد دشت‌ها و بیش از ۵۰ درصد اراضی آبی تحت تأثیر تنش شوری هستند (Koushafar *et al*., 2011). گیاهانی که در خاک‌های شور رشد می‌کنند، به‌دلیل خواص اسمزی، علاوه بر تنش شوری با تنش کم‌آبی نیز مواجه شده‌اند که این عامل سبب کاهش سرعت رشد گیاه می‌شود. تنش شوری موجب اختلال در تقسیم سلول و بزرگ شدن سلول‌ها شده و تمام واکنش‌های متابولیک گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Kaya *et al*., 2006). تجمع نمک در آپوپلاست برگ‌ها منجر به از دست دادن آب و کاهش فشار تورژسانس و در نهایت مرگ سلول و

بافت می‌گردد (Howladar, 2014). هر چند که به‌منظور حفظ فشار تورژسانس و برقراری تعادل اسمزی این مقدار سدیم سمی موجود در سیتوپلاسم بایستی با تجمع در واکوئل‌ها بی‌اثر گردد (Shabala, 2013). فتوسنتز از جمله فرآیندهایی است که به‌شدت تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد (Sudhir & Murthy, 2004). معمولاً با کاهش رنگدانه کلروفیل (Rady, 2011) ممانعت از فعالیت آنزیم روبیسکو (Kahrizi *et al*., 2012)، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فشار دی‌اکسید کربن موجود در روزنه‌ها همراه میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد (Howladar, 2014).

خیار با نام علمی (*Cucumis sativus* L.) گیاهی یک‌ساله و از تیره کدوئیان است که یکی از رایج‌ترین و گسترده‌ترین محصولات صیفی جهان می‌باشد (Alsadon, 2006). در ایران سرانه مصرف این محصول بالغ بر ۳۰ کیلوگرم به ازای هر نفر در سال است و از نظر سطح زیر کشت، ایران رتبه دوم آسیا و چهارم جهان را داراست (Aroiee *et al*., 2017). این گیاه جزء گیاهان نیمه‌حساس به شوری طبقه‌بندی می‌شود که شوری باعث کاهش رشد و عملکرد آن می‌گردد (Alsadon, 2006). در پژوهشی روی گیاه خیار در شرایط گلخانه مشخص شد که شوری باعث کاهش ارتفاع گیاه شده و وزن تر و خشک ریشه و شاخساره نیز کاهش یافت (Abu-Zinada, 2015). نتایج آزمایشی روی اسفناج (*Spinacia oleracea*) نشان داد در اثر تنش شوری میزان فتوسنتز حدود ۱۰ درصد و هدایت روزنه‌ای حدود ۷۰ درصد کاهش یافته بود. تحت شرایط شور، در نتیجه فعالیت فتوسنتزی پتانسیل آب برگ کاهش می‌یابد (Razzaghi *et al*., 2011). محققان با انجام پژوهش روی گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) به این نتیجه رسیدند که با افزایش سطح شوری به‌ویژه در سطوح بالا، کاهش معنی‌داری در تعداد برگ لوبیا مشاهده شد در نتیجه میزان فاکتورهای فتوسنتزی به‌شدت کاهش یافت (Hossein *et al*., 2008). ترکیبات فنولی از اجزاء سیستم دفاعی غیرآنزیمی و آنتی‌اکسیدانی سلول‌های گیاهی می‌باشند که مهار اکسیداسیون لیپیدها، تجزیه رادیکال‌های آزاد اکسیژن و پراکسیدها را به عهده دارند. قرار دادن گیاه در معرض تنش شوری منجر به افزایش محتوای مواد فنولی محصول برنج (*Oryza sativa* L.) گردید (Daiponmaka *et al*., 2010).

گیاهان به‌منظور ایجاد سازگاری با تنش‌ها مکانیسم‌های خاصی را در سطح مولکولی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در پیش می‌گیرند. ترکیبات فنولی موجود در گیاه دارای نقش دفاعی بوده که تحت شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی غلظت آن‌ها در گیاهان افزایش می‌یابد (Misra & Saxena, 2009). یکی از ترکیبات فنولی موجود در گیاه کافئیک اسید است که به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی در ریحان (*Ocimum basilicum* L.) شناخته شده است که با تنش شوری و خشکی افزایش می‌یابد (Kim *et al*., 2005). علاوه بر این به‌عنوان سیگنال تنش نیز می‌توانند در گیاه منتقل شوند که خود باعث فعال یا غیرفعال شدن چرخه‌های آنزیمی جهت افزایش مقاومت به تنش در گیاهان می‌گردد (Misra & Saxena, 2009). از سوی دیگر، سلول‌های گیاهی در برابر تنش‌های مکانیکی، شیمیایی و یا پاتوژن‌ها با تولید مشتقات سینامیک اسید و ساخت لیگنین به روش بیوشیمیایی واکنش نشان می‌دهند که فرآیند ساخت لیگنین توسط کافئیک اسید و مشتقات آن نیز تحریک می‌گردد (Jimenez-Arias *et al*., 2015).

به‌دلیل نیاز روزافزون برای تولید غذا و گسترش فزاینده خاک‌های تحت تأثیر شور، تحقیق در مورد

واکنش‌های گیاهان به تنش شوری در دهه‌های اخیر به‌سرعت در حال گسترش بوده است. بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور بررسی کاربرد خاکی اسید آلی کافئیک اسید بر خصوصیات رشد و فتوسنتزی گیاه خیار در شرایط تنش شوری و نقش آن در کاهش تنش شوری به‌عنوان اولین گزارش انجام گرفته است؛ تا امکان استفاده از کافئیک اسید و اثرات آن بر گیاه نمونه و حساس خیار در مناطق شور بررسی شود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری و کافئیک اسید بر خصوصیات رشدی و فیزیولوژیک خیار، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف شوری صفر (عدم تنش شوری؛ S1)، ۵۰ (تنش شوری کم؛ S2)، ۱۰۰ (تنش متوسط شوری؛ S3) و ۱۵۰ (تنش شدید شوری؛ S4) میلی‌مولار کلرید سدیم و سطوح مختلف کافئیک اسید شامل صفر شاهد (CA1)، دو (CA2)، چهار (CA3) و شش (CA4) میلی‌گرم در لیتر بود.

نشاهای یکنواخت خیار با سه برگ حقیقی به گلدان‌های دو کیلویی با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر و قطر دهانه ۲۲ سانتی‌متر (هر گلدان یک نشا) منتقل شده و پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها که به‌طور تقریبی چهار برگ داشتند، تیمار شوری به‌صورت تدریجی و با فاصله هر چهار روز در چهار مرحله به گلدان‌ها داده شد. پس از اعمال تیمار شوری، تیمار کافئیک اسید با سطوح مشخص ذکر شده به‌مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر به‌صورت کاربرد خاکی (لومی سیلتی) به گلدان‌ها داده شد. پس از گذشت ۲۸ روز از اعمال تیمارها شاخص‌های رشد و فتوسنتزی اندازه‌گیری شد.

به‌منظور اندازه‌گیری وزن تر شاخساره و ریشه، شاخساره و ریشه از محل طوقه از هم جدا و با کمک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردید. سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک هر بخش به‌صورت جداگانه داخل پاکت‌های کاغذی قرار گرفت و در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده و مجدداً با کمک ترازو وزن شد. شاخص سبزینگی برگ توسط دستگاه کلروفیل‌سنج (SPAD؛ مدل ۵۰۲ ساخت شرکت مینولتا، ژاپن) اندازه‌گیری شد.

به‌منظور اندازه‌گیری میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ، میزان تعرق و غلظت دی‌اکسید کربن درون روزنه‌ای از دستگاه پرتابل سنجش فتوسنتز (LI, 6100 شرکت لای‌کور، ایالات‌متحده آمریکا) استفاده شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۱ صبح و در شدت نور معادل ۱۲۰۰-۱۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه انجام شد. در هر تیمار صفات مورد نظر از سه برگ میانی کاملاً توسعه یافته با سه تکرار اندازه‌گیری شد، داده‌ها ۳۰ ثانیه پس از قرار دادن برگ در داخل محفظه دستگاه اعداد ثبت گردید (Yarami & Sepaskhah, 2015).

اندازه‌گیری فنول نیز به شیوه فولین سیو کالتئو بر پایه میزان گالیک اسید در هر گرم وزن تازه شاخساره با استفاده از اسپکتروفتومتر (V-530، شرکت جاسکو، ژاپن) در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر انجام گرفت. سپس با استفاده از نمودار استاندارد، میزان فنول نمونه به‌دست آمد (Sing *et al.*, 2002). به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب ۱۰ عدد از دیسک‌های برگی به قطر یک سانتی‌متر از برگ سوم جدا شد. سپس وزن تر دیسک‌های برگی به‌دست آمد. بلافاصله دیسک‌های برگی در

پتری‌دیش حاوی آب مقطر به‌مدت ۲۴ ساعت در محیطی تاریکی نگهداری شد. آب سطحی برگ‌ها با استفاده از دستمال خشک گرفته و وزن اشباع دیسک‌های برگی توزین شدند سپس به‌مدت ۴۸ ساعت دیسک‌های برگی در آون ۸۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و وزن خشک دیسک‌های برگی اندازه‌گیری شد. در نهایت محتوای نسبی آب برگ از رابطه ۱ محاسبه گردید (Barrs & Weatherley, 1962).

رابطه (۱)

$$\text{رطوبت نسبی (درصد)} = \frac{\text{وزن خشک}-\text{وزن تر}}{\text{وزن خشک}-\text{وزن آماس}}$$

اندازه‌گیری پرولین به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد. جهت تهیه محلول‌های پرولین استاندارد از پرولین خالص استفاده گردید. برای کالیبره کردن دستگاه اسپکتروفتومتر (V-530، شرکت جاسکو، ژاپن) از غلظت‌های مختلف پرولین و از تولوئن خالص به‌عنوان شاهد استفاده گردید و منحنی استاندارد رسم گردید. پس از تهیه نمونه‌ها میزان جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد و غلظت پرولین نمونه‌ها بر حسب میکرومول در گرم وزن‌تر نمونه محاسبه و بیان گردید (Bates *et al*., 1973).

میزان غلظت عنصر پتاسیم و سدیم از نمونه‌های گیاهی خشک استفاده و در مدت ۲۴ ساعت در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر شدند. برای هضم نمونه‌ها از اسید کلریدریک دو مولار استفاده شد و در نهایت حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. در نهایت با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (JENWAY, PFP-7) اندازه‌گیری شد (Hamada & El-Enany, 1994).

به‌منظور اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان ابتدا از گیاهان خشک شده در آون عصاره‌گیری شد. سپس برای اندازه‌گیری آنتی‌اکسیدان برگ به شیوه DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-600A ساخت کشور انگلستان) استفاده شد و غلظت نهایی بر اساس رابطه ۲ محاسبه شد (Kahrizi *et al*., 2012).

رابطه (۲)

$$\text{درصد ممانعت کنترلی} = \frac{\text{جذب کنترل} - \text{جذب نمونه}}{\text{جذب کنترل}}$$

داده‌های این آزمایش در نرم‌افزار اکسل طبقه‌بندی و با برنامه آماری Statestix 8 آنالیز شدند و مقایسه میانگین داده‌ها به کمک آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد محاسبه شد.

نتایج و بحث

با اعمال تنش شوری، وزن تر و خشک شاخساره بوته خیار کاهش یافت. بیشترین وزن تر و خشک شاخساره (به‌ترتیب ۱۰/۵۸ و ۰/۹۱ گرم در بوته) با کاربرد غلظت دو میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید تحت شرایط عدم تنش شوری مشاهده شد که با عدم کاربرد کافئیک اسید تفاوت معنی‌داری نداشت. تحت شرایط تنش شدید شوری (۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم)، کاربرد کافئیک اسید باعث کاهش وزن تر و خشک شاخساره شد. اما در سطوح شوری کم (۵۰ میلی‌مولار) و متوسط (۱۰۰ میلی‌مولار) کاربرد شش میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید باعث افزایش وزن خشک شاخساره به‌ترتیب ۲۱/۲۵ و ۲۴/۷۵ درصد در مقایسه با عدم کاربرد کافئیک اسید شد (جدول ۱).

بیشترین مقدار شاخص سبزینگی (۱۲/۲۳) با کاربرد دو میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید تحت شرایط عدم تنش شوری مشاهده شد و با افزایش سطوح شوری از شاخص سبزینگی کاسته شد. کاربرد غلظت بالای کافئیک اسید (چهار و شش میلی‌گرم در لیتر) تحت شرایط تنش شوری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کلرید سدیم موجب

افزایش شاخص کلروفیل در برگ‌های خیار گردید (جدول ۱).

تحت شرایط عدم تنش شوری، محتوای نسبی آب با افزایش غلظت کافئیک اسید مورد استفاده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. اما تحت شرایط تنش شدید شوری (۱۵۰ میلی‌مولار)، کاربرد دو میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید، سبب افزایش محتوای نسبی آب و در نتیجه حفظ مقادیر آب بیشتری در بافت‌ها نسبت به شاهد گردیده است؛ اما با افزایش غلظت کافئیک اسید از محتوای نسبی آب بافت کاسته شد. کاربرد کافئیک اسید تحت شرایط شوری کم و متوسط (به‌ترتیب ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) نسبت به تیمارهای فاقد شوری تفاوت معنی‌دار ایجاد نکرد. بیشترین میزان تعرق در تیمار شوری صفر و کاربرد چهار میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید حاصل شد (جدول ۱).

جدول ۱- تأثیر غلظت‌های مختلف کافئیک اسید بر وزن تر و خشک شاخساره، شاخص کلروفیل و تعرق خیار تحت شرایط تنش شوری

شوری (میلی‌مولار)	کافئیک اسید (میلی‌گرم در لیتر)	وزن تر شاخساره (گرم در بوته)	وزن خشک شاخساره (گرم در بوته)	شاخص کلروفیل	محتوای نسبی آب (درصد)	تعرق (میکرو مول CO_2 بر مول آب)
۰	۰	۸/۸۴^{ab}	۰/۸۰۷^{ab}	۶/۱۵^{cdef}	۵۵/۶۶^{cd}	۰/۰۶^{f}
	۲	۱۰/۵۸^{a}	۰/۹۱۰^{a}	۱۲/۲۳^{a}	۴۲/۰۰^{ef}	۰/۱۰^{e}
	۴	۶/۴۵^{bcde}	۰/۵۸۰^{bcde}	۸/۰۴^{bcd}	۳۳/۳۳^{gh}	۰/۲۰^{a}
	۶	۸/۵۶^{abc}	۰/۷۸۳^{abc}	۹/۴۴^{ab}	۲۳/۳۳^{i}	۰/۰۴^{h}
۵۰	۰	۸/۸۷^{ab}	۰/۷۵۰^{abc}	۴/۲۳^{ef}	۴۳/۳۳^{def}	۰/۰۵^{g}
	۲	۹/۶۲^{ab}	۰/۷۲۰^{abcd}	۵/۴۸^{cdef}	۳۳/۳۳^{gh}	۰/۰۴^{h}
	۴	۷/۲۱^{abcd}	۰/۶۰۰^{abcde}	۸/۰۹^{bcd}	۳۶/۶۷^{fgh}	۰/۰۵^{g}
	۶	۱۰/۶۷^{a}	۰/۸۷۳^{ab}	۸/۱۱^{bcd}	۳۱/۶۷^{hi}	۰/۱۶^{c}
۱۰۰	۰	۸/۰۸^{abc}	۰/۷۰۳^{bcde}	۵/۲۵^{def}	۵۸/۳۳^{c}	۰/۱۰^{e}
	۲	۵/۸۹^{bcde}	۰/۵۲۰^{bcde}	۳/۶۵^{f}	۴۵/۰۰^{def}	۰/۱۷^{b}
	۴	۶/۲۴^{bcde}	۰/۵۱۳^{bcde}	۷/۰۸^{bcde}	۴۱/۶۶^{efg}	۰/۱۳^{d}
	۶	۹/۶۹^{ab}	۰/۸۷۷^{ab}	۸/۶۵^{bc}	۵۷/۵۴^{c}	۰/۱۷^{b}
۱۵۰	۰	۶/۹۳^{bcde}	۰/۶۱۰^{abcde}	۵/۳۵^{def}	۷۰/۰۰^{b}	۰/۱۳^{d}
	۲	۵/۲۰^{cde}	۰/۴۷۰^{cde}	۳/۷۱^{f}	۸۰/۰۰^{a}	۰/۱۰^{e}
	۴	۳/۵۰^{e}	۰/۳۵۳^{e}	۴/۱۴^{f}	۵۰/۰۰^{cde}	۰/۱۳^{d}
	۶	۴/۵۹^{de}	۰/۴۲۰^{de}	۵/۷۳^{cdef}	۳۸/۳۳^{fgh}	۰/۱۶^{c}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

به‌طور کلی شاخساره با افزایش سطوح شوری از مقدار وزن تر و خشک نسبت به تیمار شاهد کاسته شده است. همانند نتایج پژوهش دیگر روی خیار نیز نمایانگر آن است که با افزایش شوری در محلول غذایی میزان تولید زیست‌توده گیاه حتی در غلظت ۴۰ میلی‌مولار شوری کاسته شد (Colla *et al.*, 2012).

کاربرد اسید کافئیک باعث کاهش اثرات نامطلوب شوری در کاهش وزن تر و خشک شاخساره شـده است و اثـرات کاربرد کافئیک اسید

در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم باعث کاهش شده است. این امر می‌تواند به‌دلیل حفظ تعادل اسمزی توسط افزایش محتوای نسبی آب بافت و تجمع پرولین باشد که گیاه تحت این شرایط توانسته است به فعالیت‌های طبیعی خود ادامه دهد (Amari *et al*., 2014)؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد زمانی که شوری افزایش بیشتری می‌یابد (تیمارهای ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) حتی کاربرد کافئیک اسید هم نتوانسته است از اثرات مخرب شوری بکاهد.

غلظت شش میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید سبب کاهش وزن خشک شاخساره گردید و به‌نظر می‌رسد که کافئیک اسید در غلظت بالا دارای اثر بازدارندگی بر رشد و توسعه شاخساره دارد (جدول ۱). دیده شده است که با کاربرد هورمون‌های گیاهی و اسیدهای آلی و یا سایر محرک‌های رشد در غلظت‌های بالا اثربازدارندگی بر رشد و نمو گیاه بر جای می‌ماند. در شرایطی که مقادیر بالایی از تنظیم‌کننده‌های رشد و یا محرک‌های رشد استفاده شود با محدودیت متابولیسم‌های گیاه می‌توانند اثرات محدودکننده بر توسعه بافت‌های گیاهی بر جای گذارند (Amari *et al*., 2014).

به‌طور معمول انتظار می‌رود که با افزایش شوری و آسیب به رنگدانه‌های فتوسنتزی از مقدار شاخص کلروفیل کاسته شود. گیاهان به‌طور معمول به دو طریق نسبت به تنش شوری واکنش نشان می‌دهند واکنش اول سریع به‌دلیل تنش اسمزی محیط بیرونی می‌باشد و واکنش دوم به زمان نیاز دارد و به‌دلیل اثرات سمی نمک ایجاد می‌شود و توانایی گیاه در انتقال نمک اضافی به خارج از سیتوپلاسم مقاومت به شوری را تعیین می‌کند (Munns, 2005). در پژوهشی ثابت شده است که خیار زمانی واکنش دوم را نشان می‌دهد که اثر سمیت نمک مانع از رشد شده باشد و در نتیجه آن رشد و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (Colla *et al*., 2012). به‌نظر می‌رسد که کافئیک اسید در شرایط تنش شوری به‌ویژه تیمار شش میلی‌گرم در لیتر می‌تواند با کاهش آسیب به رنگدانه کلروفیل و افزایش شاخص سبزینگی به فتوسنتز کمک نموده و رشد و نمو گیاه را در حد بالایی حفظ نماید. عمده جذب نور و کارایی رنگدانه‌ها معمولاً در غشا گراناها انجام می‌گیرد که با کمک اسیدهای آلی و حفظ غشاها از آسیب‌دیدگی رنگدانه‌ها نیز از آسیب حفاظت شده و عملکرد خود را انجام می‌دهند (Gunes *et al*., 2007).

نتایج نشان داد که محتوای نسبی آب بافت در تیمار شاهد با غلظت ۵۰ میلی‌مولار شوری تفاوت معنی‌داری نداشت اما سایر تیمارها افزایش محتوای نسبی آب بافت را با افزایش شوری نشان دادند (جدول ۱). این مشاهدات ممکن است حاکی از تغییرات روابط آبی گیاه و حفظ آب بیشتر در بافت‌ها به‌منظور برقراری تعادل اسمزی باشد. همچنین به‌دلیل محدودیت ایجاد شده در فتوسنتز آسیمیلات‌های ساخته شده کاهش یافته و برگ‌ها محتوای کربوهیدراتی پایین‌تری داشته و رشد آن‌ها محدود شده و برای حفظ شادابی خود آب بیشتری را در بافت‌ها حفظ می‌کنند (Colla *et al*., 2006 a; b).

وزن تر ریشه‌ها در تیمارهای شاهد و ۵۰ میلی‌مولار شوری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند و تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار شوری با ۲۵ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد کمترین مقدار وزن تر ریشه را نشان داد. لیکن با تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم دارای تفاوت معنی‌داری نبود (جدول ۲). وزن خشک ریشه نیز روند مشابهی را نشان داد میان تیمار شاهد و تیمار ۵۰ میلی‌مولار شوری تفاوت معنی‌داری دیده نشد و تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم با ۳۷ درصد کاهش کمترین مقدار را نشان داد در حالی‌که تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار

کلرید سدیم با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲).

وزن تر و خشک ریشه‌ها نیز در تیمار شاهد و پایین‌ترین غلظت کافئیک اسید بالاترین مقدار را نشان دادند. بعد از آن تیمارهای چهار و شش میلی‌گرم در لیتر به‌طور تقریبی با ۱۵ درصد کاهش نسبت به شاهد پایین‌ترین مقدار را نشان دادند (جدول ۱) و همانند نتایج وزن شاخساره، احتمالاً غلظت بالای کافئیک اسید رشد و نمو ریشه‌ها را محدود کرده است.

دیده شده است که با کاربرد هورمون‌های گیاهی و اسیدهای آلی و یا سایر محرک‌های رشد در غلظت‌های بالا اثر بازدارندگی بر رشد و نمو گیاه بر جای می‌ماند. گیاهان در شرایط تنش شوری از طریق بستن روزنه‌ها (عوامل روزنه‌ای) و تغییر در فعالیت آنزیم‌ها (عوامل غیرروزنه‌ای) فرآیندهای فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

از نظر مقدار دی‌اکسید کربن زیر روزنه در میان تیمارهای اعمال شده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در این پژوهش بالاترین نرخ فتوسنتز در تیمار تنش شوری شدید مشاهده شد که در مقایسه با تیمار عدم تنش سپس به‌ترتیب با ۲۹، ۳۷ و ۳۸ درصد افزایش در تیمارهای ۱۰۰، ۱۵۰ و ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده گردید (جدول ۲).

تنش‌ها از جنبه‌های بیوشیمیایی متفاوتی همانند فتوسنتز، ساخت رنگدانه‌ها و تراوایی غشا و فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Dias *et al*., 2013; Colla *et al*., 2010). احتمال می‌رود که کاهش نرخ فتوسنتز به‌دلیل کاهش فعالیت روبیسکو بوده باشد. زیرا تغییری از نظر غلظت دی‌اکسید کربن موجود در دسترس گیاهان مشاهده نشد. به‌نظر می‌رسد که با افزایش سمیت سدیم، کلر موجود در سلول‌ها، نرخ تثبیت دی‌اکسید کربن در سلول‌ها کاهش می‌یابد. همچنین کاهش نرخ فتوسنتز به‌دلیل محدودیت رشد برگ‌ها و کاهش سطح برگ‌ها نیز رخ می‌دهد (Colla *et al*., 2012; Fang *et al*., 2014).

میزان دی‌اکسید کربن زیر روزنه تحت تأثیر سطوح مختلف کافئیک اسید مورد استفاده قرار نگرفت و تفاوت معنی‌داری میان تیمارها مشاهده نشد (جدول ۲). در نتیجه محدودیت فتوسنتزی ناشی از کاهش مقدار دی‌اکسید کربن موجود در روزنه‌ها نبوده است و احتمالاً عوامل غیرروزنه‌ای در آن دخیل هستند. کاربرد اسیدهای آلی می‌تواند در برقراری تعادل اسمزی با کاهش پتانسیل آب و جذب و حفظ آب بیشتری در بافت‌ها دخیل باشد و احتمالاً به‌دلیل افزایش غلظت کافئیک اسید مورد استفاده پتانسیل اسمزی کاهش یافته و گیاه به حفظ آب بیشتر تمایل نشان داده است (Munns, 2005).

کلروفیل فلورسانس در واقع بیانگر توانایی گیاه در تبدیل انرژی فتوسنتزی به زیست‌توده می‌باشد. گیاهان تحت شرایط تنش با تغییر در این توانایی خود واکنش‌های متفاوتی را نشان می‌دهند (Amari *et al*., 2014). حداقل فلورسانس از لحاظ عددی با افزایش غلظت کافئیک اسید تحت شرایط عدم تنش شوری کاهش یافت. اما این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود و تنها تفاوت معنی‌داری در تیمار شوری شدید (۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و دو میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید با بیشترین مقدار و تیمار شوری متوسط (۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و دو میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید با کمترین مقدار مشاهده شد (جدول ۳).

در تحقیقات پیشین نشان داده شده است که اندازه‌گیری کارایی فتوسیستم دو رابطه مستقیمی با توانایی گیاه در تثبیت کربن دی‌اکسید و انتقال الکترون دارد (Amari *et al*., 2014).

جدول ۲- تأثیر سطوح شوری بر وزن تر و خشک ریشه و دی‌اکسید زیر روزنه گیاه خیار

شوری (میلی‌مولار)	وزن تر ریشه (گرم در بوته)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته)	دی‌اکسید کربن زیر روزنه (میکرومول CO_2 بر مترمربع در ثانیه)
۰	۱/۱۹^{ab}	۰/۰۸^{a}	۳۶۷/۳^{a}
۵۰	۱/۳۸^{a}	۰/۰۸^{a}	۲۸۱/۳^{a}
۱۰۰	۰/۹۰^{c}	۰/۰۵^{b}	۲۸۸/۲^{a}
۱۵۰	۱/۰۹^{bc}	۰/۰۶^{ab}	۲۶۷/۵^{a}
کافئیک اسید (میلی‌گرم در لیتر)			
۰	۱/۸۵^{ab}	۰/۰۸^{a}	۲۸۶/۰^{a}
۲	۱/۲۹^{a}	۰/۰۹^{a}	۱۲۴/۸^{a}
۴	۱/۰۱^{b}	۰/۰۵^{b}	۲۳۲/۰^{a}
۶	۱/۰۷^{ab}	۰/۰۶^{ab}	۲۶۴/۶^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

در پژوهش حاضر شاخص کارایی فتوسیستم دو در شوری صفر با تیمار شش میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد بهبود یافت. به‌طوری‌که بالاترین مقدار آن در تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کافئیک اسید دو میلی‌گرم در لیتر دیده شد لیکن تفاوت معنی‌داری نبود و بیشترین میزان کلروفیل فلورسانس در تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کافئیک اسید دو میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد (جدول ۳).

به‌طور کلی کافئیک اسید اعمال شده در میان سطح مختلف شوری روند مشخصی را طی نکرده و تغییرات معنی‌داری را در میان تیمارها ایجاد نکرد. شاخص حداکثر فلورسانس در تیمارهای شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کافئیک اسید دو میلی‌گرم در لیتر و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و کافئیک اسید دو میلی‌گرم در لیتر دارای بیشترین مقدار و کمترین مقدار آن با کاربرد دو میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید تحت شرایط تنش متوسط شوری (۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) دیده شد (جدول ۳). تنها سه تیمار ذکر شده با هم تفاوت معنی‌داری داشتند و در میان سایر تیمارهای اعمال شده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. هر چند نتایج به‌دست آمده از این پژوهش در تضاد با نتایج (Huang *et al.*, 2013; 2014) که کاهش شاخص‌های فلورسانسی گیاهان را با افزایش شدت شرایط خشکی و شوری مشاهده نمودند.

حداکثر مقدار فتوسنتز (۲۲/۵۸ میکرومول دی اکسید کربن بر مترمربع در ثانیه) با کاربرد دو میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید تحت شرایط عدم تنش شوری مشاهده شد. به‌طور کلی در تمام سطوح شوری اعمال شده در تیمارهایی که فاقد کافئیک اسید بودند پایین‌ترین مقدار فتوسنتز را نشان دادند (شکل ۱). کافئیک اسید به‌ویژه در غلظت‌های چهار و شش میلی‌گرم در لیتر با کاهش اثرات مخرب شوری و یا احتمالاً با حفاظت از غشاها به حفظ فتوسنتز خیار کمک کرده است (شکل ۱).

زمانی‌که کارایی فتوسیستم‌ها چندان تحت تأثیر شرایط تنش قرار نگرفته باشند معمولاً محدودیت فتوسنتزی به‌دلیل عوامل روزنه‌ای بوده است (Efeoglu *et al.*, 2009). اسیدهای آلی از جمله

کافئیک اسید با کمک به برقراری تعادل اسمزی ممکن است به باز بودن روزنه‌ها و ادامه یافتن فرآیندهای فتوسنتزی کمک کرده باشند (Gunes *et al.*, 2007).

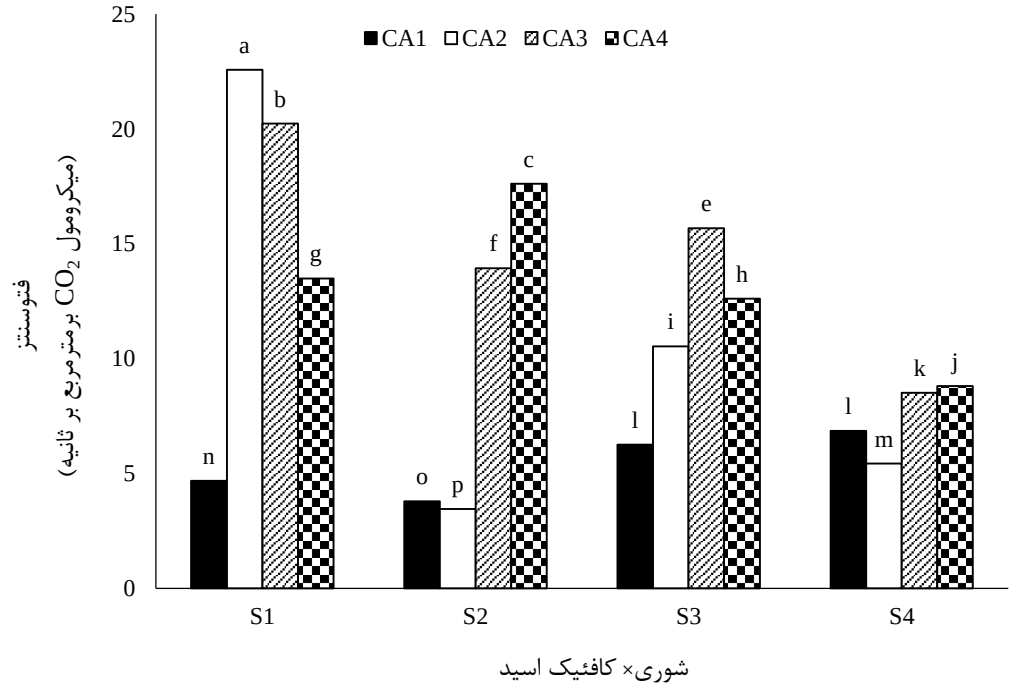
گیاهان در شرایط تنش شوری از طریق بستن روزنه‌ها (عوامل روزنه‌ای) و تغییر در فعالیت آنزیم‌ها (عوامل غیرروزنه‌ای) فرآیندهای فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. تنش‌ها از جنبه‌های بیوشیمیایی متفاوتی همانند فتوسنتز، ساخت رنگدانه‌ها و تراوایی غشا و فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Dias *et al.*, 2013; Colla *et al.*, 2010).

جدول ۳- تأثیر غلظت‌های مختلف کافئیک اسید بر وزن تر و خشک شاخساره، شاخص کلروفیل و تعرق خیار تحت شرایط تنش شوری

شوری (میلی‌مولار)	کافئیک اسید (میلی‌گرم در لیتر)	فلورسانس حداقل (F0)	فلورسانس پایدار (Ft)	فلورسانس حداکثر (Fm)	کلروفیل فلورسانس (Fv/Fm)
۰	۰	۶۱/۰۰^{abc}	۶۷/۶۶^{abc}	۲۱۸/۳^{ab}	۰/۷۱۷^{abc}
	۲	۶۰/۳۳^{bc}	۷۵/۰۰^{a}	۲۰۱/۷^{bc}	۰/۶۹۳^{c}
	۴	۵۸/۳۳^{abc}	۶۵/۰۰^{abc}	۲۱۵/a۰^{bc}	۰/۷۲۳^{abc}
	۶	۵۷/۰۰^{abc}	۶۲/۳۳^{bc}	۲۳۴/۷^{ab}	۰/۷۵۰^{a}
۵۰	۰	۵۵/۰۰^{bc}	۶۳/۶۷^{abc}	۲۰۷/۰^{bc}	۰/۷۳۰^{ab}
	۲	۵۸/۳۳^{abc}	۶۰/۰۰^{c}	۲۱۹/۰^{ab}	۰/۷۲۷^{abc}
	۴	۵۳/۶۶^{abc}	۷۳/۶۶^{ab}	۲۱۶/۳^{abc}	۰/۷۴۳^{ab}
	۶	۶۲/۳۳^{abc}	۷۴/۳۳^{ab}	۲۳۳/۰^{ab}	۰/۷۳۰^{ab}
۱۰۰	۰	۵۷/۳۳^{abc}	۶۴/۶۷^{abc}	۲۴۶/۳^{a}	۰/۷۴۳^{ab}
	۲	۵۱/۳۳^{c}	۵۷/۶۶^{c}	۱۸۰/۰^{c}	۰/۷۰۹^{bc}
	۴	۵۷/۰۰^{abc}	۶۹/۳۳^{abc}	۲۱۹/۳^{ab}	۰/۷۳۶^{ab}
	۶	۶۲/۶۶^{abc}	۷۳/۰۰^{ab}	۲۳۵/۳^{ab}	۰/۷۳۰^{ab}
۱۵۰	۰	۷۱/۰۰^{a}	۷۵/۰۰^{a}	۲۴۸/۷^{a}	۰/۷۱۳^{bc}
	۲	۵۳/۳۳^{bc}	۵۸/۳۳^{c}	۲۰۱/۳^{bc}	۰/۷۳۳^{ab}
	۴	۵۳/۶۷^{bc}	۵۹/۶۷^{c}	۲۲۴/۰^{ab}	۰/۷۴۳^{ab}
	۶	۶۵/۶۷^{ab}	۶۸/۳۳^{abc}	۲۳۴/۰^{ab}	۰/۷۱۷^{abc}

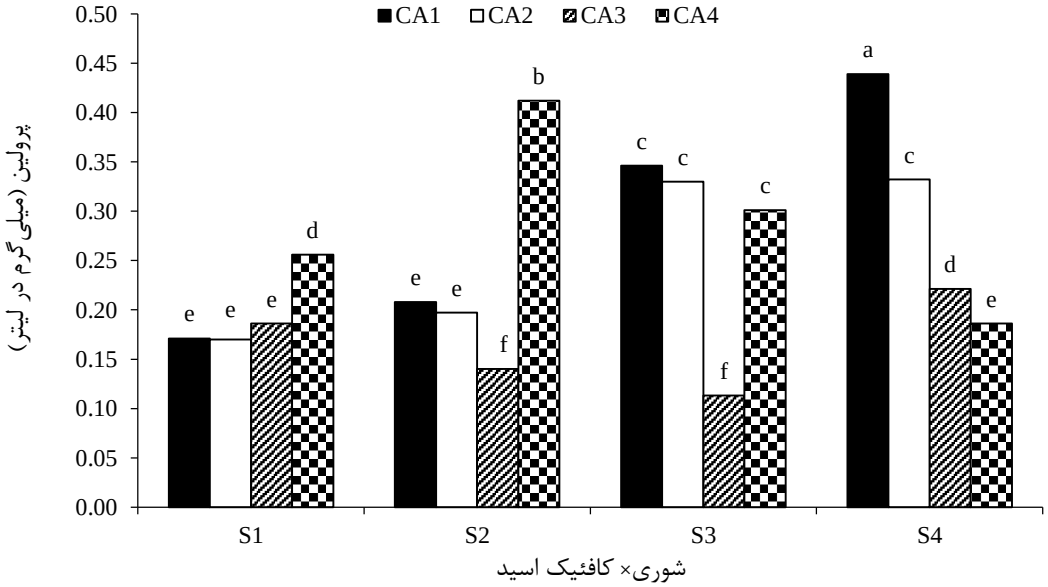
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

در پژوهش انجام شده به‌طور کلی با اعمال شوری محتوای پرولین در برگ‌های خیار افزایش یافت. اما کاربرد شش میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید تحت شرایط شوری کم (شوری ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) سبب افزایش پرولین گردید. به‌نظر می‌رسد که در سطوح پایین‌تر شوری کاربرد کافئیک اسید تأثیر بیشتری در ساخت این آمینواسید سازگار و القا مقاومت به شوری داشته است. لیکن در سطح شوری شدید (۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) با افزایش غلظت کافئیک اسید مورد استفاده از محتوای پرولین طی یک روند نزولی به‌طور معنی‌داری کاسته شد (شکل ۲).



شکل ۱- تأثیر غلظت‌های مختلف کافئیک اسید بر مقدار فتوسنتز برگ خیار تحت شرایط تنش شوری

(S1، S2، S3 و S4 به‌ترتیب صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار؛ CA1، CA2، CA3 و CA4: به‌ترتیب صفر، دو، چهار و شش میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید).



شکل ۲- تأثیر غلظت‌های مختلف کافئیک اسید بر مقدار پرولین برگ خیار تحت شرایط تنش شوری

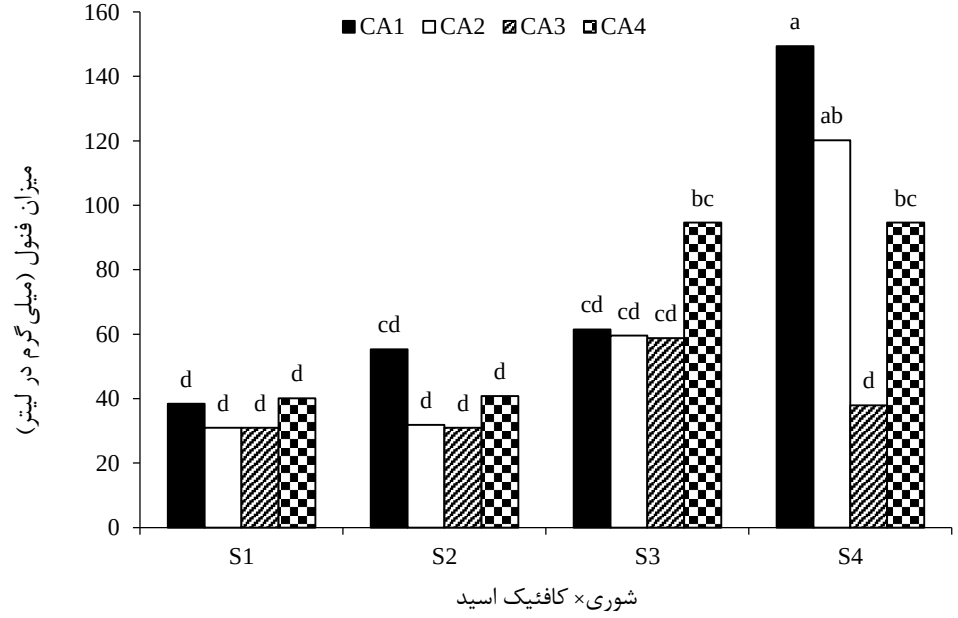
(S1، S2، S3 و S4 به‌ترتیب صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار؛ CA1، CA2، CA3 و CA4: به‌ترتیب صفر، دو، چهار و شش میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید).

پرولین از جمله مواد سازگار می‌باشد که معمولاً تحت شرایط تنش در اکثر گیاهان ساخته می‌شود و به حفظ تعادل اسمزی در گیاه کمک می‌کند. با توجه به این‌که تیمار شاهد نیازی به برقراری تعادل اسمزی ندارد پایین‌ترین محتوای پرولین را نشان داد. به‌نظر می‌رسد که تیمار ۵۰ میلی‌مولار شوری بیشترین تأثیر را در تحریک ساخت آمینواسید پرولین داشته است و با توجه به نتایج به‌دست آمده و پژوهش‌های دیگر بر روی کدو و هندوانه رشد گیاه و تولید زیست‌توده به‌دلیل توانایی ساخت پرولین و تعادل اسمزی پایدارتر دچار محدودیت کمتری شده است (Colla *et al.*, 2006 a,b).

تحت شرایط تنش شوری معمولاً متابولیسم ساخت پرولین، تجمع اسمولیت و ساخت ترکیبات ثانویه تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Misra & Saxena, 2009).

تحت شرایط تنش شدید (۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) کاربرد کافئیک اسید به‌طور قابل‌توجهی سبب افزایش ترکیبات فنولی و حفاظت بیشتر از گیاه شد (شکل ۴).

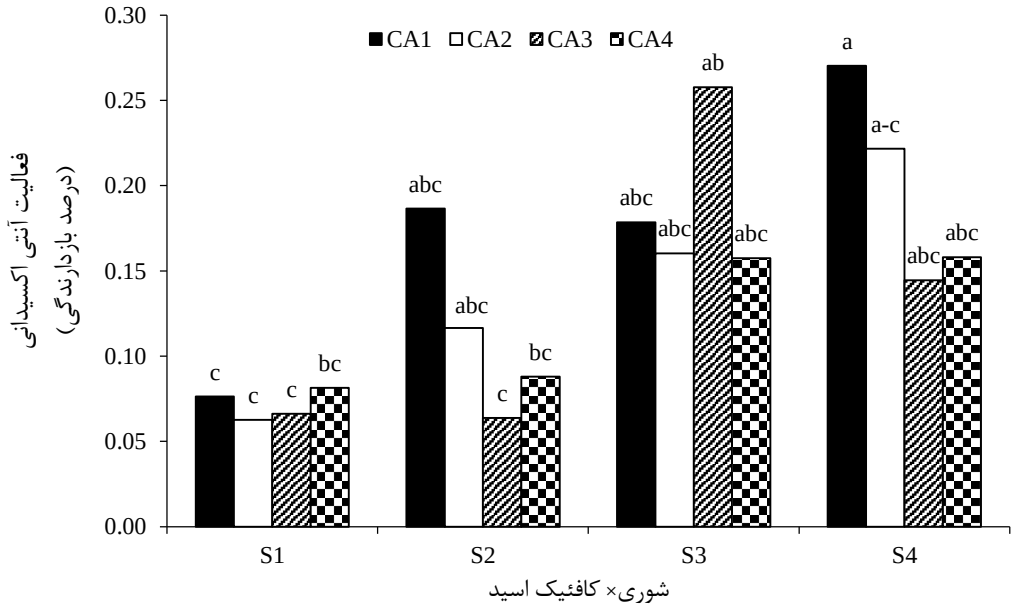
به‌طور معمول تحت شرایط تنش علاوه بر تنش محیطی با آزاد شدن گونه‌های فعال اکسیژن تنش اکسیداتیو نیز به گیاه وارد می‌شود؛ که بر اجزا سلول‌ها و متابولیسم گیاه تأثیر می‌گذارد. این گونه‌های آزاد اکسیژن با تخریب غشاها و پراکسیداسیون لیپیدها سبب نشت مواد موجود در سلول و در نهایت مرگ سلولی می‌شوند. با کاربرد برخی اسیدهای آلی فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافته و از ساخت پراکسید هیدروژن ممانعت به‌عمل می‌آید و مقاومت غشاها را تحت شرایط تنش افزایش می‌دهد (Gunes *et al.*, 2007). ترکیبات فنولی از جمله متابولیت‌های ثانویه هستند که انتظار می‌رود غلظت آن‌ها تحت شرایط تنش افزایش یابد این ترکیبات فنولی با افزایش ساخت لیگنین‌ها به افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها کمک می‌کند.



شکل ۴- تأثیر غلظت‌های مختلف کافئیک اسید بر غلظت پتاسیم تحت شرایط تنش شوری

(S1، S2، S3 و S4 به‌ترتیب صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار؛ CA1، CA2، CA3 و CA4: به‌ترتیب صفر، دو، چهار و شش میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سطوح شوری صفر و ۵۰ میلی‌مولار چندان تحت تأثیر قرار نگرفته است. اما در سطح شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار، کاربرد کافئیک اسید سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی نسبت به شاهد شد اما روند مشخصی را نشان نداد. به‌طوری‌که بیشترین مقدار در تیمارهای شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کافئیک اسید صفر میلی‌گرم در لیتر و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و کافئیک اسید چهار میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد و سایر تیمارها با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۵). افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی برای کاهش اثرات مخرب گونه‌های آزاد اکسیژن و همچنین حفاظت از سیستم فتوسنتزی گیاه افزایش می‌یابد (Pospisil, 2012). که به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش شوری در پژوهش حاضر این فرآیند حفاظتی گیاه فعال شده است. به‌طوری‌که درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی در همه سطوح شوری اعمال شده نسبت به شاهد افزایش یافت.

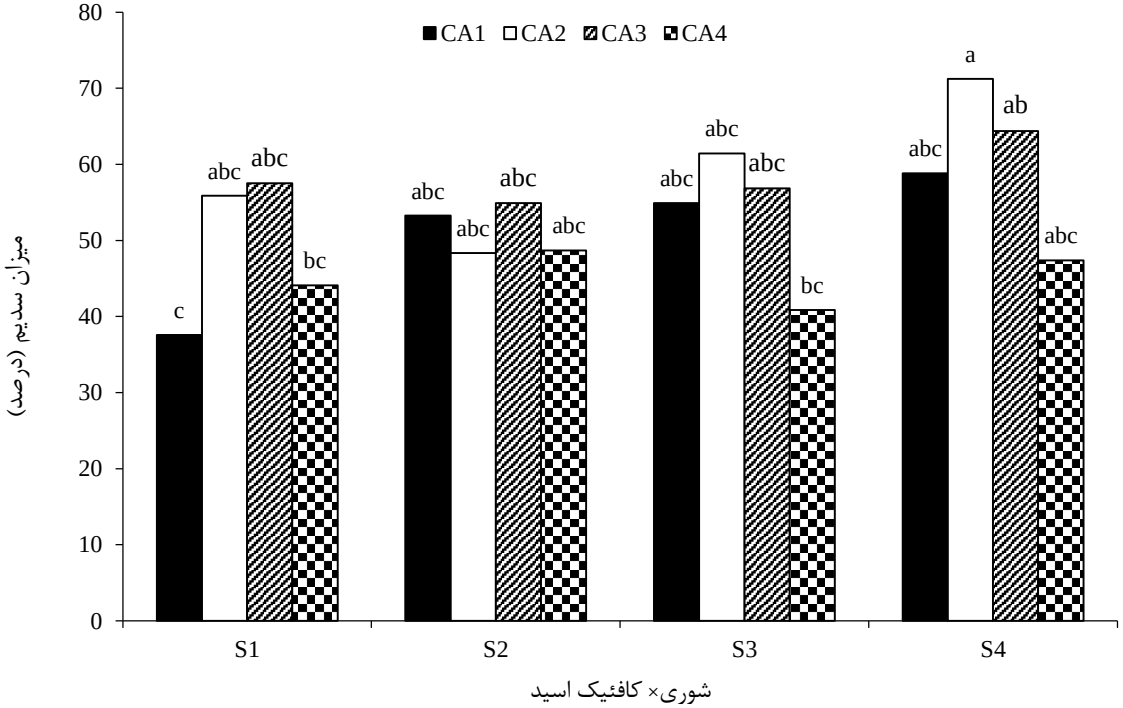


شکل ۵- تأثیر غلظت‌های مختلف کافئیک اسید بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی خیار تحت شرایط تنش شوری

(S1، S2، S3 و S4 به‌ترتیب صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار؛ CA1، CA2، CA3 و CA4: به‌ترتیب صفر، دو، چهار و شش میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید).

بیشترین مقدار سدیم با کاربرد دو میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید تحت شرایط شوری متوسط (۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) مشاهده شد. که ممکن است به‌دلیل محتوای نسبی آب بالاتر و جذب آب بیشتر در این تیمار بوده باشد. کمترین مقدار سدیم نیز در تیمار شاهد مشاهده شد و در محتوای سدیم سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶).

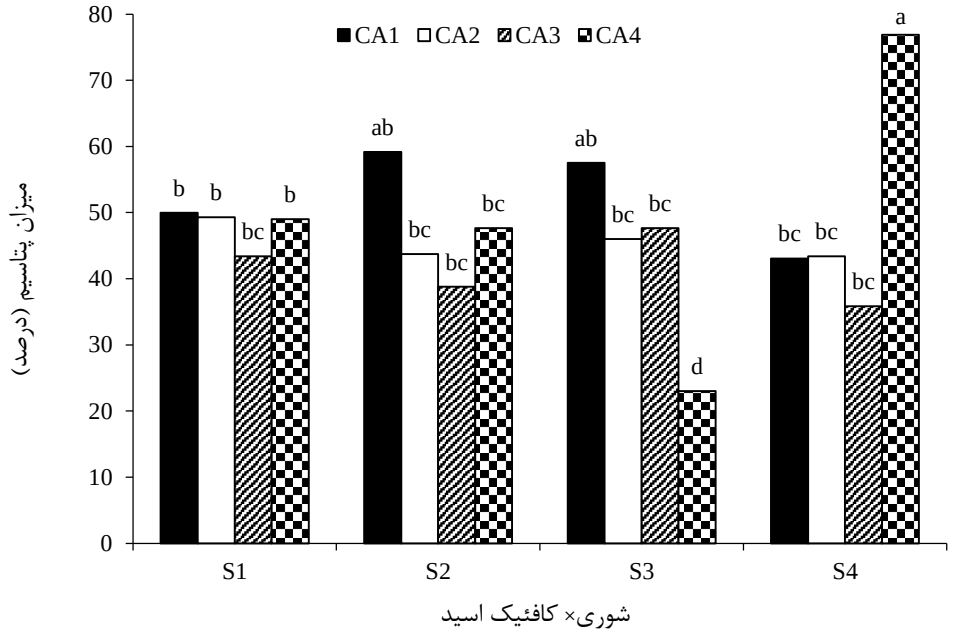
برخلاف نتایج به‌دست آمده روی گیاه ذرت مشاهده شده است که با افزایش سطوح شوری محتوای سدیم بیشتری در بافت‌ها تجمع می‌یابد (Misra & Saxena, 2009). اما در حضور کافئیک اسید میزان سدیم با وجود شوری تفاوت معنی‌داری نشان نداد.



شکل ۶- تأثیر غلظت‌های مختلف کافئیک اسید بر غلظت سدیم خیار تحت شرایط تنش شوری

(S1، S2، S3 و S4 به‌ترتیب صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار؛ CA1، CA2، CA3 و CA4: به‌ترتیب صفر، دو، چهار و شش میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید).

بر اساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش بیشترین مقدار پتاسیم تحت شرایط تنش شدید شوری (۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) با کافئیک اسید شش میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل ۷). به‌نظر می‌رسد که شش میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید تحت شرایط شوری بالا قادر به تحریک گیاه برای جذب پتاسیم بیشتر به‌منظور حفظ تعادل اسمزی می‌باشد. اما با توجه به این‌که تحت شرایط شوری متوسط (۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) کاربرد شش میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید دارای کمترین محتوای پتاسیم بوده است (شکل ۷). می‌توان بیان کرد که تأثیر کافئیک اسید در القا جذب پتاسیم و حفظ تعادل اسمزی و فعالیت آنزیم‌ها بستگی به سطح شوری دارد. تحریک ساخت پرولین و سایر مواد سازگار توسط سیگنال‌های انتقال یافته در گیاه که می‌توانند اسیدهای آلی باشند صورت می‌گیرد. به‌منظور برقرار تعادل اسمزی این سیگنال‌ها به کاهش جذب سدیم و افزایش جذب یون‌های دیگری همانند پتاسیم و منیزیم می‌انجامد (Misra & Gupta, 2005)، در پژوهش حاضر به‌نظر می‌رسد که در خیار این فرآیند انجام گرفته است.



شکل ۷- تأثیر غلظت‌های مختلف کافئیک اسید بر غلظت پتاسیم تحت شرایط تنش شوری

(S1، S2، S3 و S4 به‌ترتیب صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار؛ CA1، CA2، CA3 و CA4: به‌ترتیب صفر، دو، چهار و شش میلی‌گرم در لیتر کافئیک اسید).

گیاهان به‌طور معمول تحت شرایط تنش شوری به کمک ریشه‌ها مکانیسم‌های جذبی خاصی را مانند تمایل به جذب پتاسیم بیشتری برای برقراری تعادل اسمزی داخل بافت و کمک به باز و بسته شدن روزنه‌ها را اعمال می‌کنند (Yang *et al.*, 2014). این امر نمایانگر این است که خیار در این غلظت‌های شوری مکانیسم جذبی خاص را اعمال کرده است. این‌که کارایی فتوسیستم‌ها تحت غلظت‌های شوری بالا تحت تأثیر چندانی قرار نگرفته به‌دلیل سازگاری گیاه در پایان آزمایش و یا پایین بودن غلظت‌های شوری برای آسیب آنزیمی و پروتئینی گیاه تحت تنش بوده باشد. در غلظت‌های اعمال شده سیستم انتقال الکترون آسیب دیده است و در صورتی‌که آسیب آنزیمی به گیاه وارد نشده باشد و دی‌اکسید کربن کافی در اختیار گیاه باشد. قابلیت فتوسنتزی گیاه حفظ شده و می‌تواند شرایط تنش را پشت سر بگذارد (Lui *et al.*, 2015). افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش مقاومت غشاها توانایی مقابله گیاه در برابر آسیب‌های غشایی را افزایش می‌دهد. همچنین ساخت ترکیبات لیگنینی که در نتیجه استفاده کافئیک اسید و افزایش فنول گیاه ایجاد می‌شود در القا مقاومت گیاه نقش دارند (Gunes *et al.*, 2007).

نتیجه‌گیری کلی

به‌نظر می‌رسد که کافئیک اسید در غلظت‌های پایین باعث بهبود خصوصیات رشد و فیزیولوژیکی خیار می‌شود اما در غلظت‌های بالا اثر سمی دارد.

References

- Abu-Zinada, I. A. (2015). Effect of salinity levels and application stage on cucumber and soil under greenhouse condition. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 8(1), 73-80.

- Alsadon, A. A., Wahb-Allah, M. A. & Khalil, S. O. (2006). Growth, yield and quality of three greenhouse cucumber cultivars in relation to two types of water applied at different growth stages. *Journal of King Saud University*, 18, 89-102.
- Amari, T., Ghnaya, T., Debez, A., Taamali, M., Youssef, N. B., Lucchini, G. & Abdelly, C. (2014). Comparative Ni tolerance and accumulation potentials between *Mesembryanthemum crystallinum* (halophyte) and *Brassica juncea*: metal accumulation, nutrient status and photosynthetic activity. *Journal of Plant Physiology*, 171(17), 1634-1644.
- Aroiee, H., Farhadi, A., Nemati, H., Salehi, R. & Giuffrida, F. (2017). The effects of grafting to improve salinity tolerance in greenhouse *cucumber* cv. Spadana. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture-Isfahan University of Technology*, 8(3), 121-138.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
- Barrs, H. D. & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity techniques for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15, 413-428.
- Colla, G., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Massa, D., Salerno, A. & Rea, E. (2006a). Yield, fruit quality and mineral composition of grafted melon plants grown under saline conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81(1), 146-152.
- Colla, G., Roupahel, Y., Cardarelli, M. & Rea, E. (2006b). Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants. *HortScience*, 41(3), 622-627.
- Colla, G., Rouphael, Y., Leonardi, C. & Bie, Z. (2010). Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 147-155.
- Colla, G., Rouphael, Y., Rea, E. & Cardarelli, M. (2012). Grafting cucumber plants enhance tolerance to sodium chloride and sulfate salinization. *Scientia Horticulturae*, 135, 177-185.
- Daiponmak, W., Theerakulpisut, P., Thanonkao, P., Vanavichit, A. & Prathepha, P. (2010). Changes of anthocyanin cyanidin-3-glucoside content and antioxidant activity in Thai rice varieties under salinity stress. *Science Asia*, 36, 286-291.
- Dias, M. C., Monteiro, C., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Gonçalves, B. & Santos, C. (2013). Cadmium toxicity affects photosynthesis and plant growth at different levels. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(4), 1281-1289.
- Efeoglu, B., Ekmekci, Y. N., & Cicek, N. N. (2009). Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. *South African Journal of Botany*, 75(1), 34-42.
- Fang, T., Cao, Z., Li, J., Shen, W. & Huang, L. (2014). Auxin-induced hydrogen sulfide generation is involved in lateral root formation in tomato. *Plant Physiology and Biochemistry*, 76, 44-51.
- Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Bagci, E. G. & Cicek, N. (2007). Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *Journal of Plant Physiology*, 164(6), 728-736.
- Hamada, A. & El-Enany, A. (1994). Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Plant Biology*, 36, 75-81.

- Hossein, M. M., Shaaban, M. M. & El-Saady, A. K. (2008). Response of cowpea Grown under salinity stress to PK-flior applications. *Journal of American Plant Physiology*, 4, 1-8.
- Howladar, S. M. (2014). A novel Moringa oleifera leaf extract can mitigate the stress effects of salinity and cadmium in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 100, 69-75.
- Huang, C., Zhao, S., Wang, L., Anjum, S. A., Chen, M., Zhou, H. & Zou, C. (2013). Alteration in chlorophyll fluorescence, lipid peroxidation and antioxidant enzymes activities in hybrid ramie (*Boehmeria nivea* L.) Under drought stress. *Australian Journal of Crop Science*, 7(5), 594.
- Huang, C., Wei, G., Jie, Y., Wang, L., Zhou, H., Ran, C. & Anjum, S. A. (2014). Effects of concentrations of sodium chloride on photosynthesis, antioxidative enzymes, growth and fiber yield of hybrid ramie. *Plant Physiology and Biochemistry*, 76, 86-93.
- Jimenez-Arias, D., Borges, A. A., Luis, J. C., Valdés, F., Sandalio, L. M. & Perez, J. A. (2015). Priming effect of menadione sodium bisulphite against salinity stress in Arabidopsis involves epigenetic changes in genes controlling proline metabolism. *Environmental and Experimental Botany*, 120, 23-30.
- Kahrizi, S., Sedighi, M. & Sofalian, O. (2012). Effect of salt stress on proline and activity of antioxidant enzymes in ten durum wheat cultivars. *Annals of Biological Research*, 3(8), 3870-3874.
- Kaya, M. D., Okcu, G., Atak, M., Cıkılı, Y. & Kolsarıcı, O. (2006). Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24(4), 291-295.
- Kim, H. J., Chen, F., Wang, X. & Rajapakse, N. C. (2005). Effect of chitosan on the biological properties of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(9), 3696-3701.
- Koushafar, M., Khoshgoftarmanesh, A. H., Moezzi, A. & Mobli, M. (2011). Effect of dynamic unequal distribution of salts in the root environment on performance and Crop Per Drop (CPD) of hydroponic-grown tomato. *Scientia Horticulturae*, 131, 1-5.
- Liu, Y. F., Zhang, G. X., Qi, M. F. & Li, T. L. (2015). Effects of calcium on photosynthesis, antioxidant system, and chloroplast ultrastructure in tomato leaves under low night temperature stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34(2), 263-273.
- Misra, N. & Gupta, A. K. (2005). Effect of salt stress on proline metabolism in two high yielding genotypes of green gram. *Plant Science*, 169(2), 331-339.
- Misra, N. & Saxena, P. (2009). Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress. *Plant Science*, 177(3), 181-189.
- Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist*, 167(3), 645-663.
- Nakashima, K., Ito, Y. & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2009). Transcriptional regulatory networks in response to abiotic stresses in Arabidopsis and grasses. *Plant Physiology*, 149(1), 88-95.
- Pospisil, P. (2012). Molecular mechanisms of production and scavenging of reactive oxygen species by photosystem II. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1817(1), 218-231.

- Rady, M. M. (2011). Effect of 24-epibrassinolide on growth, yield, antioxidant system and cadmium content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under salinity and cadmium stress. *Scientia Horticulturae*, 129(2), 232-237.
- Razzaghi, F., Ahmadi, S. H., Adolf, V. I., Jensen, C. R., Jacobsen, S. E. & Andersen, M. N. (2011). Water relations and transpiration of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(5), 348-360.
- Shabala, S. (2013). Learning from halophytes: physiological basis and strategies to improve abiotic stress tolerance in crops. *Annals of Botany*, 112(7), 1209-1221.
- Singh, R. P., Chidambara Murthy, K. N. & Jayaprakasha, G. K. (2002). Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(1), 81-86.
- Sudhir, P. & Murthy, S. D. S. (2004). Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis. *Photosynthetica*, 42(2), 481-486.
- Yang, C., Zhao, L., Zhang, H., Yang, Z., Wang, H., Wen, S. & Liu, B. (2014). Evolution of physiological responses to salt stress in hexaploid wheat. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(32), 11882-11887.
- Yarami, N. & Sepaskhah, A. R. (2015). Physiological growth and gas exchange response of saffron (*Crocus sativus* L.) to irrigation water salinity, manure application and planting method. *Agricultural Water Management*, 154, 43-51.

Effect of Caffeic Acid on Growth and Reducing the Destructive Effects of Salinity on Greenhouse Cucumber (*Cucumis sativus* var. Super daminos)

Maryam Haghighi[*1] and Zeinab Masoumi[2]

1- Associate Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
2- M.Sc. Graduate, Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

*Corresponding author: mhaghighi@cc.iut.ac.ir
(Received: August. 4, 2020, Accepted: November. 28, 2020)

Abstract

To investigate the effect of different levels of salinity and caffeic acid on growth and physiological characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* var. Super daminos), a factorial experiment was conducted in completely randomized design with three replications with salinity treatments 0, 50, 100, 150 mM NaCl and caffeic acid 2, 4 and 6 $mg.L^{-1}$ in research greenhouse of Isfahan University of Technology. The results showed that shoot dry weight at a concentration of 6 $mg.L^{-1}$ reduced. In all salinity levels, treatments lacking caffeic acid showed the lowest amount of photosynthesis that the lowest amount observed in 50 mM NaCl × 4 $mg.L^{-1}$ caffeic acid treatment. Relative water content in lacking saline treatments decreased significantly with increasing caffeic acid concentration, but at the highest salinity level, 4 $mg.L^{-1}$ caffeic acid application increased the relative water content. Caffeic acid application increased salinity levels of 100 and 150 $mg.L^{-1}$ and increased antioxidant activity than control so that the highest amount was observed in 150 mM NaCl × 2 $mg.L^{-1}$ caffeic acid (0.27 %) and 100 mM NaCl × 6 $mg.L^{-1}$ caffeic acid (0.25 %) treatments. It seems that caffeic acid at low concentrations improves the growth and physiological characteristics of cucumber, but has a toxic effect in high concentrations.

Keywords: Caffeic acid, Chlorophyll fluorescence, Phenol, Proline, Salinity stress.