

تأثیر محلول پاشی برگی یدات پتاسیم بر تحمل به شوری توت فرنگی

قادر حبیبی^{۱*} و شبنم الیاقی^۲۱ و ۲. دانشیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۲۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۵)

چکیده

در این پژوهش، تأثیر محلول پاشی برگی یدات پتاسیم (۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر KIO_3) بر بهبود تحمل به شوری (۵۰ میلی‌مولار) در گیاه توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa* Duch) در قالب طرح کامل تصادفی مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده، شوری از طریق کاهش پارامترهای دخیل در انتقال الکترون فتوسنتزی شامل شارش انتقال الکترون (ϕE_o) و فعالیت کمپلکس آزادکننده اکسیژن (F_v/F_o) باعث افت شاخص کارایی فتوسنتزها (PI_{abs}) به دلیل افزایش مقدار مالون‌دی‌آلدهید (MDA)، گردید. گیاهان تیمار شده با غلظت‌های پایین یدات پتاسیم (۵ میلی‌گرم بر لیتر)، افزایش معنی‌دار وزن خشک برگ، پروتئین کل و قندهای محلول را در شرایط شوری نشان دادند. غلظت پایین یدات پتاسیم از طریق افزایش فنل کل و فعالیت آنزیم کاتالاز باعث بهبود فعالیت سیستم پاداکسایشی گردید. در مقایسه، تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر یدات نه تنها نتوانست باعث تخفیف تنش شوری شود بلکه خود باعث آسیب سیستم فتوسنتزی شد و فعالیت کمپلکس آزادکننده اکسیژن را کاهش داد. در نتیجه با این‌که غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر باعث بهبود عملکرد فتوشیمیایی و فعالیت سیستم پاداکسایشی در شرایط شوری شد ولی نتایج این تحقیق برای اولین بار نشان داد که کاربرد غلظت بالای یدات باعث سمیت و کاهش عملکرد فتوشیمیایی فتوسنتز گردید.

واژه‌های کلیدی: پاداکساینده، تنش شوری، واکنش‌های فتوشیمیایی، مالون‌دی‌آلدهید.

Effect of foliar application of potassium iodate on strawberry tolerance to salinity stress

Ghader Habibi^{1*} and Shabnam Elyaghi²1, 2. Associate Professor and Former M. Sc. Student, Department of Biology, Payame Noor University (PNU), 19395-3697 Tehran, Iran
(Received: Apr. 10, 2018 - Accepted: May 26, 2018)

ABSTRACT

In this study, to evaluate the effect of foliar-applied iodate (5 and 50 mg/l KIO_3) on the improvement of tolerance to salt stress (50 mM NaCl) in strawberry plants (*Fragaria × ananassa* Duch.), an experiment was under taken in complete randomized block design (RBD). The photosynthetic apparatus of strawberry was damaged at 50 mM NaCl, as indicated by a decrease in performance index (PI_{abs}) coupled with lower values of photosynthetic electron transport chain components including the electron transport flux (ϕE_o) and the inferred oxygen evolving complex activity (F_v/F_o) as well as higher levels of malondialdehyde (MDA). Plants treated with a low concentration of KIO_3 (5 mg/l) showed an increase in the leaf dry weight, total protein and soluble sugars content with respect to no KIO_3 supply under salinity stress. Additionally, low concentration of KIO_3 raised free radical scavenging activities of strawberry leaf because of an enhancement of total phenolic content as well as CAT activity. In contrast, plants supplemented by 50 mg/l KIO_3 exhibited an extreme stress for the photosynthetic parameters of strawberry, as demonstrated by the changes in the F_v/F_o as well as higher levels of MDA was similar to that observed in salt treatments. While KIO_3 at 5 mg/l could increase photosystem performance index under salt-stress conditions in addition to the stimulation of antioxidant system, KIO_3 at 50 mg/l could not ameliorate the negative effect of salt on strawberry and led to toxicity and caused damage to photochemical reactions, which is mainly overlooked by other authors.

Keywords: Antioxidants, malondialdehyde, photochemical reactions, salt stress.

* Corresponding author E-mail: gader.habibi@gmail.com

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل تنش‌زا و محدودکننده بهره‌وری گیاهان زراعی است. بخش قابل توجهی از زمین‌های کشاورزی در جهان تحت تأثیر تنش شوری قرار دارند (Munns *et al.*, 2006). با گسترش شوری، هر ساله ۱/۵ میلیون هکتار به زمین‌های غیرقابل کشت در جهان افزوده می‌شود (Hasanuzzaman *et al.*, 2013). شناسایی روش‌هایی که موجب کاهش اثر تنش شوری شده و تا حد ممکن از افت عملکرد گیاهان جلوگیری نمایند، می‌تواند یکی از روش‌های مقابله با این معضل باشد (Munns *et al.*, 2006). اثر تنش شوری بر گیاهان به غلظت نمک و زمان قرار گرفتن در معرض نمک، ژنوتیپ گیاه و عوامل محیطی بستگی دارد. سازوکارهای تحمل به شوری هنوز به‌طور کامل شناخته نشده و تلاش برای بهبود عملکرد در شرایط تنش شوری، به دلیل منشأ چندژنی پاسخ‌های سازگاری، تا حد زیادی ناموفق بوده است. با این حال، یافتن و معرفی تخفیف‌دهنده‌های تنش یکی از وظایف زیست‌شناسان است. در دهه‌های اخیر اثر تخفیف‌دهنده‌های مهمی از جمله ترکیبات سازگار اسمزی (پرولین، گلايسین‌بتائین و تراهالوز)، هورمون‌های گیاهی (جبرلیک‌اسید، جاسمونیک‌اسید، براسینواستروئیدها و سالیسیلیک‌اسید)، پاداکساینده‌ها (آسکوربیک‌اسید، گلوتاتیون و توکوفرول)، مولکول‌های علامت‌دهنده (نیتریک‌اسید و پراکسید هیدروژن)، پلی‌آمین‌ها (اسپرمیدین، اسپرمین و پوترسین) و عناصر مفید (سلنیم و یدات) برای کاهش آسیب‌های ناشی از شوری در گیاه مورد مطالعه قرار گرفته است (Hasanuzzaman & Fujita, 2011; Iqbal *et al.*, 2012). گزارش‌ها در مورد تأثیر کاربرد ید بر پاسخ گیاه به تنش شوری بسیار نادر است (Leyva *et al.*, 2011). کاهش تنش شوری توسط ید اغلب از طریق افزایش توان سیستم پاداکساینده، بهبود روابط آبی (Leyva *et al.*, 2011) و تحریک متابولیسم فنل‌ها (Blasco *et al.*, 2013) انجام می‌گیرد. تأثیر ید بر پتانسیل پاداکسایشی برخی گونه‌های گیاهی، به منابع ید، غلظت و نوع کاربرد آن بستگی دارد (Blasco *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای روی سویای رشدیافته در ظروف حاوی خاک و کمپوست، مشخص شد که KIO_3 در

غلظت‌های ۲۰، ۴۰ و ۸۰ میکرومولار باعث افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و آسکوربات‌پراکسیداز (APX) گردید (Gupta *et al.*, 2015). در گوجه فرنگی، گزارش شده است که استفاده از KIO_3 در محدوده ۷/۹ میکرومولار، محتوای اسیدآسکوربیک و ترکیبات فنل کل را افزایش داد (Smolén *et al.*, 2015). استفاده از KI باعث انباشته‌شدن فنل‌ها، اسید آسکوربیک و همچنین افزایش پتانسیل پاداکسایشی در گیاه کاهوی کشت‌شده در محیط هیدروپونیک شد (Blasco *et al.*, 2011, 2013). همچنین استفاده از یدات باعث افزایش غلظت اسیدآسکوربیک و فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) ولی کاهش غلظت گلوتاتیون (GSH) و فعالیت SOD گردید (Leyva *et al.*, 2011; Blasco *et al.*, 2013). فعالیت آسکوربات‌پراکسیداز (APX) به‌وسیله KIO_3 به‌طور مؤثرتری نسبت به KI افزایش نشان می‌دهد. استفاده از غلظت کمتر از ۴۰ میکرومولار یدات، باعث افزایش فعالیت پاداکساینده‌های آنزیمی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و APX و همچنین پاداکساینده‌های غیرآنزیمی مانند گلوتاتیون (GSH) و اسیدآسکوربیک گردید (Blasco *et al.*, 2013). بررسی تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که غلظت‌هایی در محدوده ۲۰ میکرومولار KIO_3 ، غلظت‌های بهینه در شرایط نرمال و شرایط تنش محسوب می‌شوند؛ در حالی که غلظت‌های بالای ۱۲۰ میکرومولار باعث بروز سمیت می‌شوند (Leyva *et al.*, 2011; Blasco *et al.*, 2016; Medrano-Macías *et al.*, 2013). از این‌رو، در این تحقیق به‌منظور تخفیف تنش از غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر استفاده شد. همچنین برای بررسی بیشتر سازوکار بروز سمیت در غلظت‌های بالا، از غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر KIO_3 نیز استفاده گردید. توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa* Duch.) گیاهی است چندساله علفی که به‌طور متوسط ۳-۵ سال عمر می‌کند و نسبت به شوری حساس است (Sun *et al.*, 2015). در پژوهش انجام‌شده در سال ۲۰۱۷ انباشت یدات، در برگ، ساقه و میوه توت‌فرنگی در شرایط غیرشور نشان داده شده است (Li *et al.*, 2017). یکی از روش‌هایی که برای رفع کمبود ید در

NaCl آبیاری شدند. در نهایت پس از گذشت ۱۰ روز از اعمال شوری، برداشت نمونه‌ها انجام شد.

سنجش پارامترهای فلورسانس کلروفیل و تست JIP
جهت تعیین فلورسانس کلروفیل، از دستگاه فلوئورسانس سنج (PEA, Hansatech Instruments Ltd., (King's Lynn, Norfolk, PE 32 1JL, England استفاده شد. پارامترهای فلوئورسانس کلروفیل در برگ‌های سازش‌یافته به تاریکی (به مدت حداقل ۲۰ دقیقه) شامل F_0 (فلوئورسانس پایه) و F_m (فلوئورسانس بیشینه) اندازه‌گیری شد. برای رسم منحنی فلورسانس از تست JIP بهره گرفته شد (PEA Plus V1.10 software). تست JIP، داده‌های ثبت‌شده اولیه توسط دستگاه فلورسانس سنج را به پارامترهای بیوفیزیکی تبدیل می‌کند و کمیت مراحل جریان انرژی را طی فتوسیستم II تعیین می‌کند. برای تولید منحنی فلورسانس OJIP، از نور قرمز با طول موج ۶۲۷ نانومتر و شدت ۳۵۰۰ میکرومول/مترمربع/ثانیه (برای اطمینان از رسیدن به پیک F_m) استفاده شد. شاخص‌های زیر در اندازه‌گیری‌های فلورسانس اولیه مورد استفاده قرار گرفت: شدت فلورسانس بیشینه (F_m)، شدت فلورسانس در $50\mu s$ (به‌عنوان F_0 در نظر گرفته می‌شود)، شدت فلورسانس در $300\mu s$ ($F_{300\mu s}$) جهت محاسبه شیب اولیه (M_0) از نسبت فلورسانس متغیر (V) و شدت فلورسانس در $2ms$ (مرحله J) که نشانگر F_j است به‌کار برده می‌شود. سپس محاسبات لازم برای به‌دست آوردن سایر پارامترها از جمله شدت فلوئورسانس بیشینه (F_m)، شدت فلورسانس در 50 میکرو ثانیه (به‌عنوان F_0 در نظر گرفته شد)، شدت فلورسانس در 300 میکرو ثانیه ($F_{300\mu s}$)، شاخص کارایی فتوسیستم‌ها (PI_{ABS}) و بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) انجام شد (Strasser et al., 1995, 2004).

سنجش کربوهیدرات‌های محلول (قند محلول)

مقدار $0/01$ گرم ماده خشک گیاهی توزین شد و درون لوله‌های آزمایش مقدار 10 میلی‌لیتر اتانول 80% به آن اضافه شد. درب لوله‌ها با پارافیلیم محکم بسته شد و به مدت یک هفته در یخچال نگهداری شد.

غذاها توصیه می‌شود، تولید گیاهان غنی از ید می‌باشد. روش‌های مختلفی برای افزایش ید در گیاهان وجود دارد که از آن جمله می‌توان به‌روش افزودن ید به خاک، اسپری ید به برگ‌ها و افزودن ید به دانه‌ها اشاره کرد (Blasco et al., 2011). در نتیجه، در این تحقیق تلاش می‌شود ضمن افزایش انباشت ید در اندام هوایی توت‌فرنگی، تأثیر کاربرد ید در تخفیف تنش شوری در گیاه توت‌فرنگی مورد مطالعه قرار گیرد؛ بنابراین در این تحقیق برای اولین بار، سازوکارهای تخفیف تنش شوری توسط محلول‌پاشی برگی یدات در گیاه توت‌فرنگی بررسی می‌شود. همچنین با توجه به اینکه میزان تأثیر کاربرد یدات در شرایط شوری بر فعالیت فتوشیمیایی فتوسنتز در گیاهان مشخص نشده است، در این تحقیق برای اولین بار تأثیر کاربرد یدات بر فعالیت فتوشیمیایی فتوسنتز در توت‌فرنگی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

اعمال تیمارها

نشاهای هم‌اندازه توت‌فرنگی رقم گاویتا در داخل گلدان‌های حاوی پرلیت و در شرایط کنترل‌شده گلخانه با فتوپریود ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی، دمای روزانه 27 درجه سانتی‌گراد و شبانه 19 درجه سانتی‌گراد، رطوبت 78 درصد و شدت نور 20 ± 50 میکرومول بر متر مربع در ثانیه کشت شدند. گلدان‌ها ابتدا با محلول غذایی هوگلند تغییر یافته 50 درصد (Johnson et al., 1975)، و پس از گذشت سه روز با محلول غذایی هوگلند کامل آبیاری شدند (Li et al., 2017). pH محلول غذایی در $6/5$ تنظیم گردید. یدات در شکل یدات‌پتاسیم و در غلظت‌های 5 و 50 میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی شد و همزمان نمونه‌های شاهد با آب محلول‌پاشی شدند. پس از گذشت یک هفته، محلول‌پاشی دوباره تکرار شد. پس از گذشت 14 روز از اولین کاربرد یدات، تیمار شوری اعمال گردید. برای تیمار شوری، نمک NaCl در غلظت 50 میلی‌مولار در محلول غذایی هوگلند تغییر یافته حل و به گلدان‌ها داده شد (Sun et al., 2015). گیاهان شاهد با محلول هوگلند بدون

شد. یک واحد فعالیت آنزیم بر اساس غلظت پروتئین آنزیمی لازم برای تولید یک نانومول سینامیک اسید محاسبه شد.

سنجش فنل کل

از آنجایی که بیشترین ترکیبات فنلی گیاهان از نوع پلی‌فنل‌ها می‌باشد، برای سنجش فنل کل از روش معرف فنلی فولین سیوکالتو استفاده شد (Mavi *et al.*, 2004). برای این منظور، ۵ گرم بافت سبز برگ جداسازی شده و پس از پودر شدن توسط هاون در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۳۰ دقیقه جوشانده شد و با استفاده از کاغذ واتمن شماره ۴۲ صاف گردید. مقدار ۲۵۰ میکرولیتر معرف فولین با ۲۵ میکرولیتر عصاره و ۵۰۰ میکرولیتر محلول آبی کربنات سدیم ۲۰ درصد مخلوط شد. نمونه‌های شاهد فاقد عصاره بودند. پس از قراردادن نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه به مدت ۳۰ دقیقه، جذب آنها در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و غلظت فنل کل بر اساس منحنی استاندارد اسیدگالیک به دست آمد. برای هر عصاره این سنجش ۴ بار تکرار شد و میانگین فنل کل موجود در عصاره تیمارها به صورت میلی‌گرم اسید گالیک در گرم بافت بیان شد.

سنجش فلاونوئیدها

برای سنجش غلظت فلاونوئیدها، نمونه‌های برگ در متانول حاوی آلومینیوم کلراید دو درصد استخراج شده و پس از سانتریفیوژ، روشناور برداشت و جذب آن در طول موج ۴۱۵ نانومتر قرائت شد. از غلظت‌های مختلف کوئرستین (صفر تا ۱۶ میلی‌گرم در لیتر) به عنوان استاندارد استفاده گردید و غلظت فلاونوئیدها بر اساس واحد $\text{mg quercetin g}^{-1}$ FW محاسبه شد (Simon *et al.*, 1974).

سنجش فعالیت سایر آنزیم‌های پاداکساینده

فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده با استفاده از روش‌های توصیف شده پیشین (Habibi & Hajiboland, 2012) سنجش شدند. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) مطابق روش (Giannopolitis & Ries, 1977)

محلول لوله‌ها با کاغذ واتمن شماره یک صاف شدند که محلول حاصل حاوی قندهای محلول و کاغذ واتمن حاوی قندهای نامحلول می‌باشد. از این محلول برای سنجش قند محلول استفاده شد. مقدار ۲ میلی‌لیتر از رو شناور به لوله‌های مجزا منتقل شد و ۱ میلی‌لیتر محلول فنل ۵٪ به آنها اضافه شد. زیر هود و به وسیله پیپت ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۸٪ نیز به هر یک از نمونه‌ها افزوده شد. پس از ۳۰ دقیقه جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-VIS Scanning UV-3100PC، شرکت Mapada، تایلند) در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت شد. نمونه کنترل شامل ۱ میلی‌لیتر محلول فنل ۵٪ و ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۸٪ و ۲ میلی‌لیتر آب مقطر (به جای قند) بود. غلظت قند نمونه‌ها، با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز ترسیم شده با غلظت‌های ۱۰ تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، بر اساس روش (Cao *et al.*, 2013) به دست آمد.

اندازه‌گیری پروتئین کل

عصاره پروتئینی در بافر فسفات سدیم با غلظت mM ۵۰ و pH=۶/۸ استخراج شده و به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰g سانتریفیوژ شد. از محلول رویی برای سنجش پروتئین کل به روش Bradford (1976) استفاده به عمل آمد.

سنجش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لایاز

فعالیت فنیل آلانین آمونیا لایاز (PAL) مطابق روش Zucker (1965) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. ابتدا عصاره آنزیمی در بافر mM ۵۰ فسفات سدیم با pH ۷/۸ و حاوی اتیلن دی‌آمین تتراسدیک اسید (EDTA) با غلظت mM ۲، mM ۱۸ مرکاپتواتانول و ۰/۱ درصد تریتون X-100 استخراج شد. عصاره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۵۰۰۰g سانتریفیوژ شده و روشناور برای سنجش فعالیت مورد استفاده قرار گرفت. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره به یک میلی‌لیتر از محلول واکنشی شامل mM ۵۰ بافر سدیم‌بورات (pH=۸/۸) و mM ۵ فنیل آلانین-L اضافه شده و مخلوط حاصل به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه به منظور انجام واکنش قرار گرفت. جذب نمونه‌ها در ۲۹۰ nm توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری

پروتئین کل محلول نداشت. ولی محلول پاشی برگ‌های یدات پتاسیم در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث کاهش معنی‌دار پروتئین کل محلول برگ‌ها نسبت به برگ‌های شاهد شد. محلول پاشی برگ‌های یدات پتاسیم ۵ میلی‌گرم بر لیتر در شرایط شور از افت بیشتر وزن خشک و پروتئین کل محلول برگ‌ها ممانعت کرد. شوری نتوانست باعث افزایش معنی‌دار قند محلول برگ‌ها نسبت به برگ‌های شاهد شود (شکل ۱). هر چند محلول پاشی برگ‌های یدات پتاسیم در غلظت ۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در شرایط غیرشور اثری بر قند محلول برگ‌ها نداشت ولی محلول پاشی برگ‌های یدات پتاسیم در هر دو غلظت در شرایط شوری، قند محلول برگ‌ها را افزایش داد.

برای رسم منحنی فلورسانس از تست JIP بهره گرفته شد. بررسی تغییرات منحنی فلورسانس OJIP (محور عمودی شدت فلورسانس و محور افقی زمان بر اساس میکروثانیه) در گیاه توت‌فرنگی در شرایط شوری نشان داد که به‌طور کلی شدت فلورسانس در برگ‌های شوری دیده کاهش یافت (شکل ۲). اعمال شوری باعث تغییرات عمده‌ای در شکل منحنی فلورسانس OJIP شد. در شرایط شوری، شدت فلورسانس در فاز IP کاهش چشمگیری یافت و منحنی فلورسانس نسبت به حالت شاهد، شکل مسطحی پیدا کرد. کاربرد محلول پاشی برگ‌های یدات در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر باعث تخفیف اثرات شوری بر منحنی فلورسانس گردید و شدت فلورسانس در فاز IP را افزایش داد. در مقایسه، کاربرد محلول پاشی برگ‌های یدات در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نه تنها باعث تخفیف اثرات شوری بر منحنی فلورسانس نشد بلکه شدت فلورسانس در فاز IP را به‌صورت چشمگیری کاهش داد (شکل ۳).

بررسی پارامترهای شاخص کارایی فتوسیستم‌ها (PI_{abs}) و بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) در برگ‌های گیاهان شوری دیده نشان داد که هر چند مقدار بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در برگ‌های شوری دیده تفاوت معنی‌داری در مقایسه با برگ‌های شاهد نشان نداد ولی شاخص کارایی فتوسیستم‌های برگ‌های شوری دیده در مقایسه با برگ‌های شاهد، کاهش معنی‌دار نشان داد (شکل ۴).

و بر اساس درصد ممانعت از احیای NBT به ترکیب ارغوانی رنگ دی‌فورمازان به‌وسیله رادیکال سوپراکسید ($O_2^{\cdot-}$) حاصل از فتولیز ریپوفلاوین، توسط آنزیم موجود در عصاره مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) مطابق روش Simon (1974) و بر اساس کاهش جذب پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در ۲۴۰ nm مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD) از طریق تست گایاکول و تبدیل آن به تترآگایاکول به انجام رسید. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز مطابق روش Boominathan & Doran (2002) و بر اساس اکسیداسیون اسیدآسکوربیک و کاهش جذب در ۲۹۰ nm مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. فعالیت آنزیم با استفاده از ضریب خاموشی اسیدآسکوربیک ($2/6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) برحسب واحد $\mu\text{M} \text{ ascorbic acid mg}^{-1} \text{ protein min}^{-1}$ محاسبه گردید.

اندازه‌گیری متابولیت‌ها

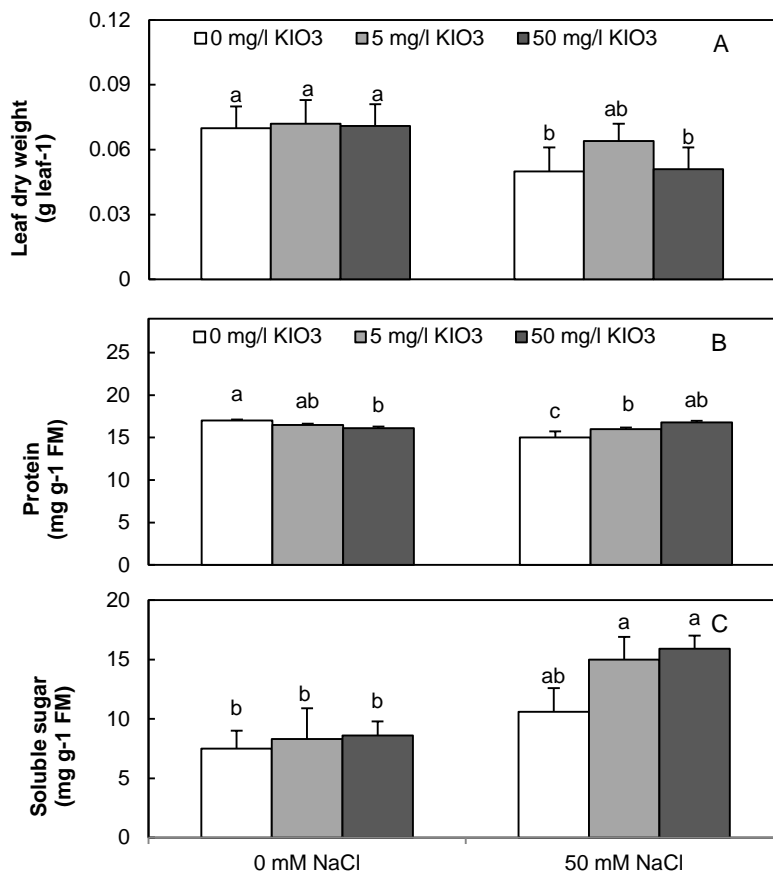
سنجش مالون‌دی‌آلدهید (MDA) به‌عنوان معیاری برای بررسی میزان پراکسیداسیون لیپیدها بر اساس روش Boominathan & Doran (2002) صورت گرفت. سنجش پراکسید هیدروژن (H_2O_2) مطابق روش توصیف‌شده توسط Hajiboland & Habibi (2012) انجام شد.

بررسی آماری نتایج

آزمایش‌ها به‌صورت طرح کامل تصادفی طرح‌ریزی و به اجرا در آمد. هر تیمار دارای ۴ تکرار مستقل بود. میانگین و انحراف معیار (SD) داده‌ها و همچنین رسم نمودارها به‌وسیله نرم‌افزار Excel (2007) به انجام رسید. برای گروه‌بندی میانگین‌ها نیز از نرم‌افزار Sigma Stat 3.5 با آزمون Tukey در سطح احتمال $p \leq 0/05$ استفاده شد.

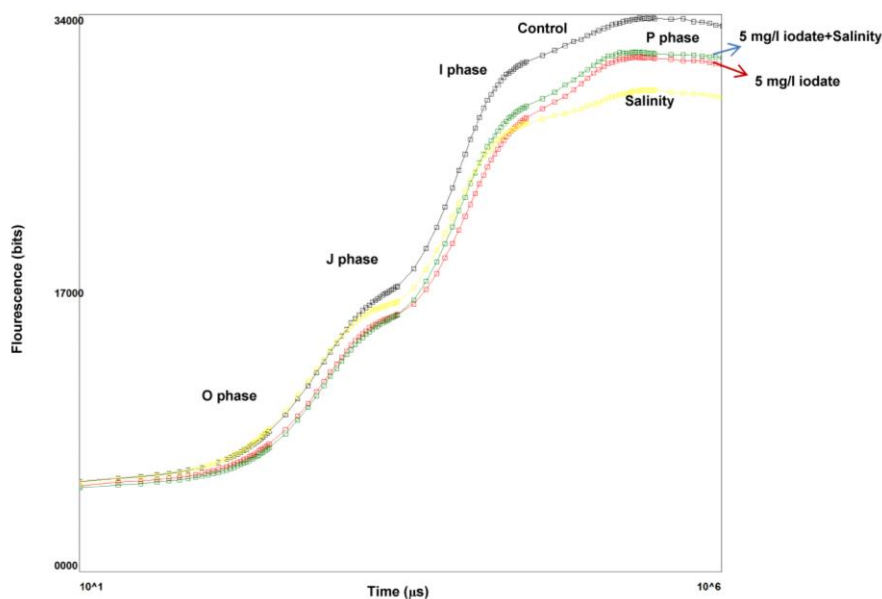
نتایج

شوری باعث افت معنی‌دار وزن خشک برگ و پروتئین کل محلول نسبت به برگ‌های شاهد شد (شکل ۱). محلول پاشی برگ‌های یدات پتاسیم در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر در شرایط غیرشور، اثری بر وزن خشک برگ و



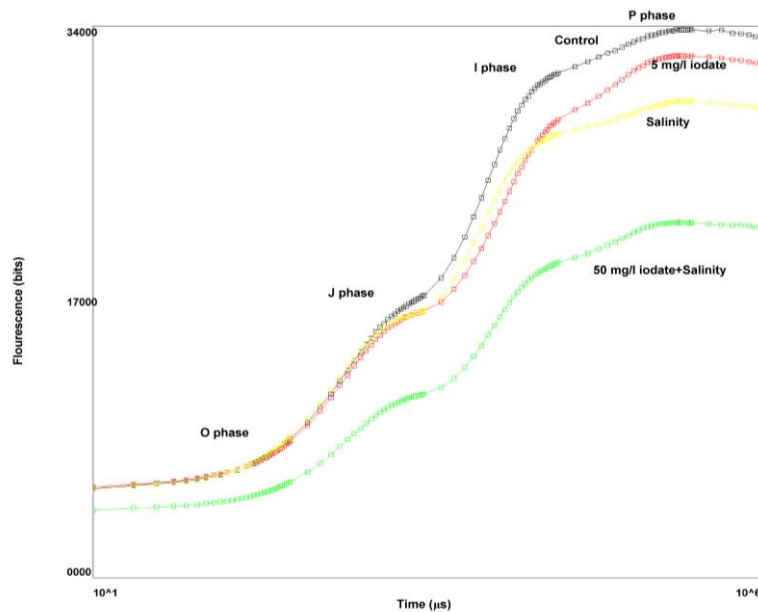
شکل ۱. تأثیر محلول‌پاشی برگ‌گی یدات بر وزن خشک برگ، پروتئین کل و قند محلول برگ‌های توت‌فرنگی در شرایط شوری (ستون‌هایی که حرف‌های مشترک دارند بر پایهٔ آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

Figure 1. The effect of foliar application of iodate on leaf dry weight (A), protein (B) and soluble sugar contents (C) in strawberry under salt stress (Values followed by different letters were significantly different according to Tukey's Test at $p < 0.05$).



شکل ۲. تأثیر محلول‌پاشی برگ‌گی یدات پتاسیم در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر بر تغییرات منحنی فلورسانس OJIP برگ‌های توت‌فرنگی در شرایط شوری

Figure 2. The effect of foliar application of iodate (5 mg/l) on chlorophyll *a* fluorescence induction curve of strawberry under salt stress



شکل ۳. تأثیر محلول پاشی برگ‌های یادت‌پتاسیم در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بر تغییرات منحنی فلورسانس OJIP برگ‌های توت‌فرنگی در شرایط شوری

Figure 3. The effect of foliar application of iodate (50 mg/l) on chlorophyll *a* fluorescence induction curve of strawberry under salt stress

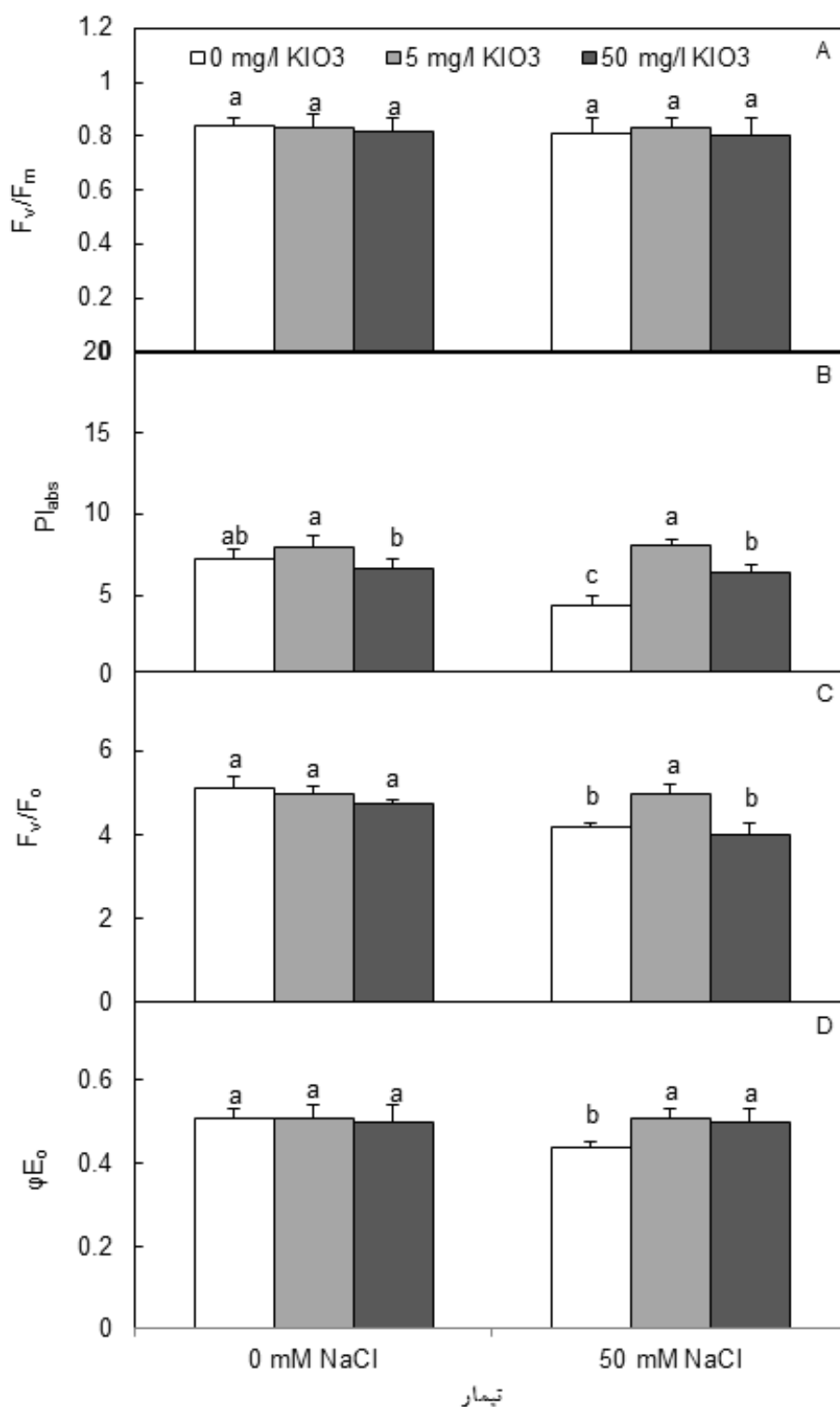
بر لیتر باعث افزایش معنی‌دار غلظت فنل کل نسبت به شاهد گردید. همچنین یادت‌پتاسیم ۵ میلی‌گرم بر لیتر به‌تنهایی توانست غلظت فنل کل را افزایش دهد (شکل ۵).

شوری به‌تنهایی بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز اثر نداشت (شکل ۶). هرچند محلول پاشی برگ‌های یادت‌پتاسیم ۵ میلی‌گرم نتوانست فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز برگ‌های توت‌فرنگی را در شرایط شور و غیرشور تغییر دهد، ولی محلول پاشی برگ‌های یادت‌پتاسیم ۵۰ میلی‌گرم، باعث مهار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در برگ‌های توت‌فرنگی در شرایط شور شد. بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمارهای شوری مشهود بود و یادت‌پتاسیم به‌تنهایی اثری بر فعالیت این آنزیم نداشت.

اعمال شوری باعث افزایش معنی‌دار غلظت پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و مالون‌دی‌آلدهید در برگ‌های توت‌فرنگی گردید (شکل ۷). اعمال یادت‌پتاسیم خارجی (۵ میلی‌گرم بر لیتر) در تیمار توأم شوری و یادت‌پتاسیم توانست از غلظت مالون‌دی‌آلدهید حاصل از پراکسیداسیون غشاها بکاهد.

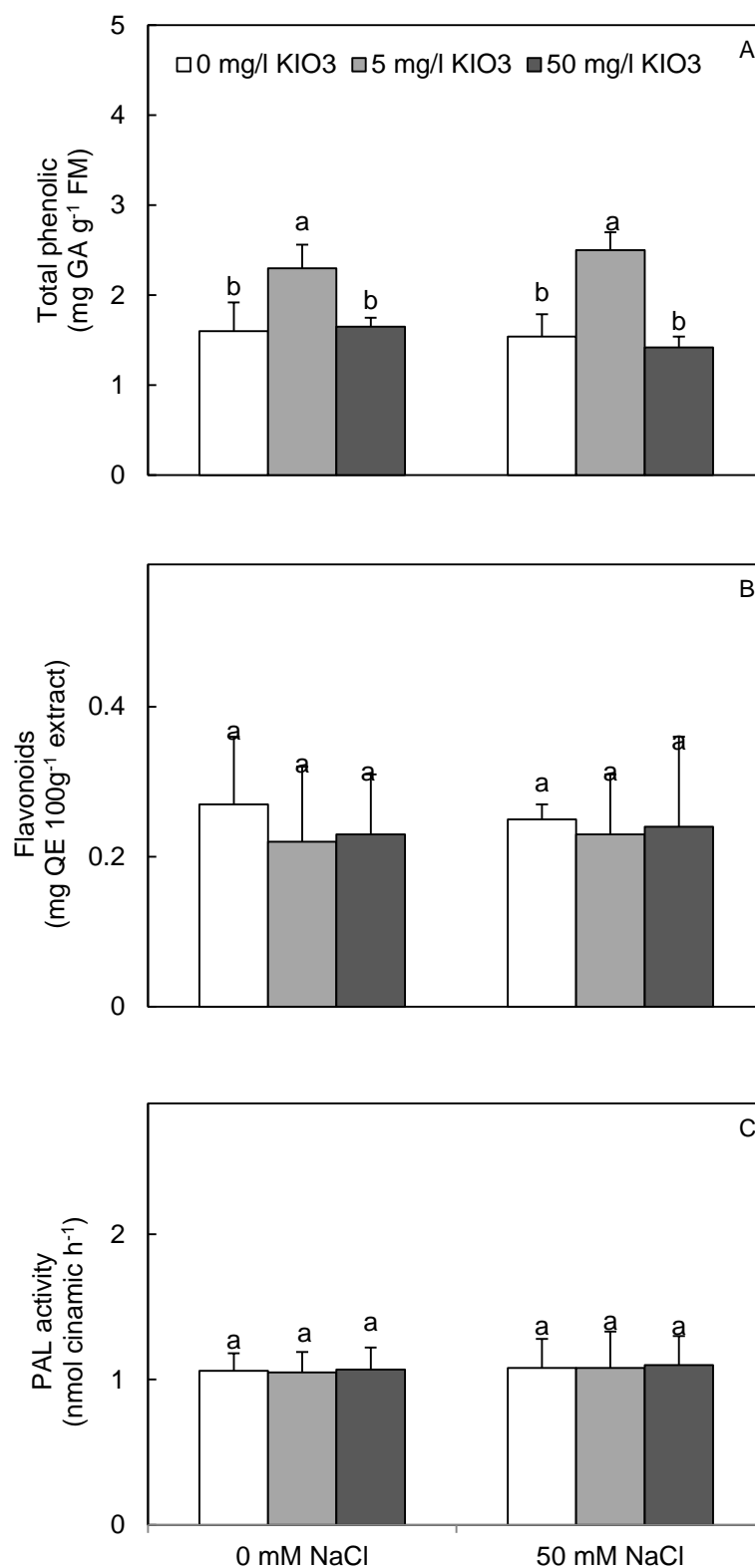
با اعمال تیمار برگ‌های یادت، به‌خصوص در غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر، شاخص کارایی فتوسیستم‌های برگ‌های شوری دیده افزایش معنی‌دار نشان داد و تأثیر منفی شوری بر کارایی فتوسیستم‌ها تخفیف یافت. هیچ‌کدام از تیمارهای کاربرد برگ‌های یادت، به‌تنهایی نتوانستند تغییر معنی‌داری در پارامتر بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II ایجاد کنند. شوری به‌تنهایی باعث کاهش عملکرد کوانتومی انتقال الکترون (ϕE_0)، فعالیت کمپلکس آزادکننده اکسیژن (F_v/F_0) و شاخص کارایی فتوسیستم‌ها (PI_{abs}) گردید. محلول پاشی برگ‌های یادت‌پتاسیم در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر در شرایط شوری از طریق افزایش فعالیت کمپلکس آزادکننده آب (F_v/F_0) باعث ترمیم شاخص کارایی فتوسیستم‌ها (PI_{abs}) گردید (شکل ۴). محلول پاشی برگ‌های یادت‌پتاسیم در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، مانند تیمار شوری باعث کاهش فعالیت کمپلکس آزادکننده آب (F_v/F_0) و در نتیجه کاهش شاخص کارایی فتوسیستم‌ها (PI_{abs}) گردید (شکل ۴).

شوری به‌تنهایی بر فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیا‌لیاز و غلظت فلاوونوئید برگ‌های توت‌فرنگی اثر نداشت. تیمار توأم شوری و یادت‌پتاسیم ۵ میلی‌گرم

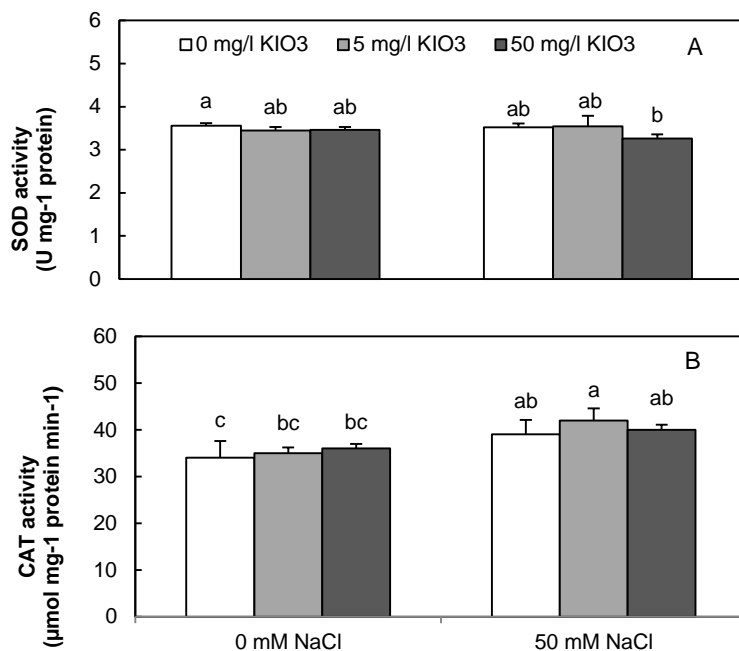


شکل ۴. تأثیر محلول‌پاشی برگ‌ی یدات بر شاخص کارایی فتوسیستم‌ها (PI_{abs})، بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m)، فعالیت کمپلکس آزادکننده اکسیژن (F_v/F_o) و عملکرد کوانتومی انتقال الکترون (ϕE_o) برگ‌های توت‌فرنگی در شرایط شوری (ستون‌هایی که حرف‌های مشترک دارند بر پایه آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

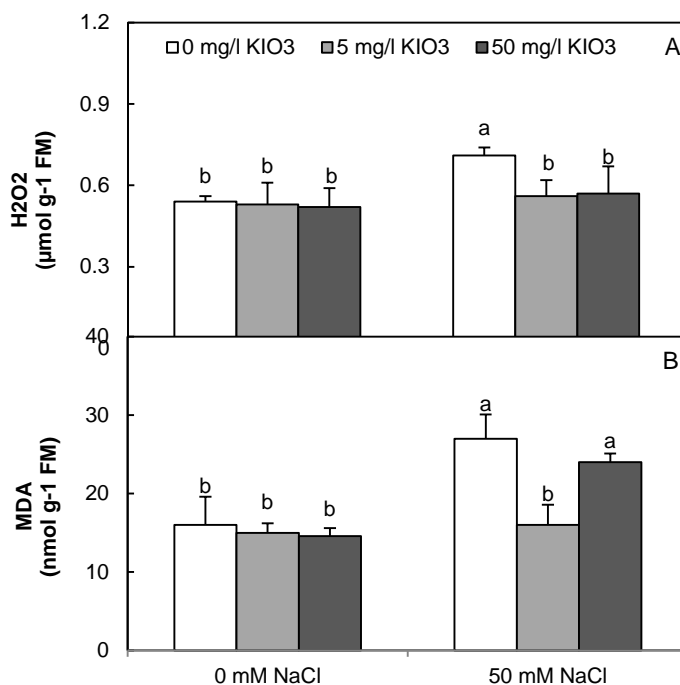
Figure 4. The effect of foliar application of iodate on maximal efficiency of PSII photochemistry (F_v/F_m) (A), photosystem performance index (PI_{abs}) (B), inferred oxygen evolving complex activity (F_v/F_o) (C) and quantum yield for electron transport (ϕE_o) (D) in strawberry under salt stress (Values followed by different letters were significantly different according to Tukey's Test at $p < 0.05$).



شکل ۵. تأثیر محلول پاشی برگ‌گی یدات بر غلظت فنل کل و فلاونوئید و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالایز برگ‌های توت‌فرنگی در شرایط شوری (ستون‌هایی که حرف‌های مشترک دارند بر پایه آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).
Figure 5. Effect of foliar application of iodate on the phenolic (A) and flavonoids (B) contents, and the activity of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) (C) in strawberry under salt stress (Values followed by different letters were significantly different according to Tukey's Test at $p < 0.05$).



شکل ۶. تأثیر محلول‌پاشی برگ‌ی یدات بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز برگ‌های توت‌فرنگی در شرایط شوری (ستون‌هایی که حرف‌های مشترک دارند بر پایهٔ آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).
 Figure 6. Effect of foliar application of iodate on the activity of superoxide dismutase (SOD) (A) and catalase (CAT) (B) in strawberry under salt stress (Values followed by different letters were significantly different according to Tukey's Test at $p < 0.05$).



شکل ۷. تأثیر محلول‌پاشی برگ‌ی یدات بر مقدار پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید برگ‌های توت‌فرنگی در شرایط شوری. (ستون‌هایی که حرف‌های مشترک دارند بر پایهٔ آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).
 Figure 7. Effect of foliar application of iodate on the content of hydrogen peroxide (H₂O₂) (A) and malondialdehyde (MDA) (B) in strawberry under salt stress. (Values followed by different letters were significantly different according to Tukey's Test at $p < 0.05$).

بحث

اثر شوری و یdates پتاسیم در تنظیم اسبزی گیاه

در بیشتر مطالعات از KI یا KIO_3 به عنوان منبع ید استفاده می‌شود. گزارش‌های از اثرات منفی KI وجود دارد، در حالی‌که اثرات مثبت KIO_3 ، به خصوص در تولید ترکیبات پاداکسایشی در بیشتر تحقیقات گزارش شده است (Kato et al., 2013). به همین دلیل در این تحقیق از KIO_3 به عنوان منبع ید استفاده شد.

بر اساس گزارش Sheteawi (2007) در گیاه سویا و تحقیقات Eleiwa et al. (2011) در گیاه گندم، تیمار شوری باعث کاهش پروتئین محلول می‌گردد. در تطابق با یافته‌های فوق، تیمار شوری باعث کاهش پروتئین محلول در توت‌فرنگی شد. هرچند کاربرد برگی یdates پتاسیم در شرایط شوری باعث افزایش پروتئین محلول گردید و توانست تأثیر شوری بر کاهش پروتئین محلول را تخفیف دهد. انباشت قندهای محلول در طی تنش شوری، نقش مهمی در تنظیم اسبزی گیاه به عنوان اسموتیکوم ایفا می‌کند و بین میزان تحمل گیاه به شوری و انباشت اسیدهای آمینه همبستگی مثبت وجود دارد (Eleiwa et al., 2011). کاربرد برگی یdates پتاسیم در هر دو غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث تشدید انباشت قندهای محلول در شرایط تنش شوری شد. تأثیر کاربرد برگی یdates پتاسیم در افزایش انباشت قندهای محلول در این تحقیق با نتایج تحقیق Smolen et al. (2014) در انطباق بود. آنها نشان دادند که کاربرد برگی یdates پتاسیم باعث افزایش معنی‌دار انباشت قندهای محلول در گیاه هویج می‌شود.

اثر شوری و یdates پتاسیم بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل

با اعمال شوری، منحنی فلورسانس برگ‌های توت‌فرنگی شکل مسطحی را نشان داد و شدت فلورسانس در فاز IP کاهش شدیدی را نشان داد. کاهش فاز IP با کاهش شدت فلورسانس بیشینه (F_m) در ارتباط می‌باشد نشان‌دهنده غیرفعال شدن پروتئین‌ها در ساختار فتوسیستم II می‌باشد که در همه برگ‌های توت‌فرنگی در پاسخ به شوری مشاهده شد (Hazrati et al.,

2016). کاربرد محلول‌پاشی برگی یdates در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر باعث تخفیف اثرات شوری بر شدت فلورسانس در فاز IP شد و شکل منحنی فلورسانس را به شکل منحنی فلورسانس شاهد نزدیک ساخت. بررسی تأثیر کاربرد محلول‌پاشی برگی یdates در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بر تغییرات منحنی فلورسانس در برگ‌های شوری دیده نشان داد که شدت فلورسانس در فاز II در برگ‌های تیمار شده با شوری و محلول‌پاشی برگی یdates ۵۰ کاهش یافته است. کاهش شدت فلورسانس در فاز II با افزایش ذخایر کوئینون A احیاء (QA_{H2}) و پلاستوکوئینون احیاء (PQH₂) مرتبط می‌باشد (Habibi, 2017). افزایش غیرنرمال ذخایر QA_{H2} و PQH₂ احتمالاً نشان می‌دهد که جریان انتقال در ناقل‌های بالادست بلوکه شده است (Van Heerden et al., 2007; Strasser et al., 2004). همچنین بررسی تغییرات پارامترهای دیگر فلورسانس کلروفیل نشان داد که علت مهار شاخص PI_{abs} توسط محلول‌پاشی برگی یdates ۵۰، تأثیر منفی این غلظت از یdates بر پارامتر مهم فعالیت کمپلکس آزادکننده اکسیژن (F_v/F_o) می‌باشد.

شاخص F_v/F_m یکی از شاخص‌های مهم جهت تعیین مقاومت به انواع تنش‌ها از جمله پاتوزنها (Xu et al., 2013) (Rousseau et al.)، خشکی و سرما (Ehlert & Hinch 2008) می‌باشد. سنجش F_v/F_m برگ‌های گیاه توت‌فرنگی نشان داد که این پارامتر در پاسخ به شوری تغییری نشان نداد. هر چند شاخص PI_{abs} در برگ‌های این گیاه در پاسخ به شوری، کاهش معنی‌دار نشان داد. این یافته با نتایج تحقیق Živčák et al. (2008) که نشان دادند پارامتر PI_{abs} در مقایسه با پارامتر F_v/F_m به تنش‌های محیطی حساس‌تر است، در انطباق می‌باشد. پارامتر PI_{abs} یک پارامتر کمپلکس است که با ظرفیت فتوسنتزی و میزان تثبیت دی‌اکسیدکربن در برگ‌ها همبستگی دارد (Van Heerden et al., 2007). مقدار بالای پارامتر PI_{abs} در برگ‌های تیمار شده با یdates در شرایط شور نسبت به برگ‌های تیمار نشده با یdates در شرایط غیرشور نشان داد که کاربرد یdates باعث ترمیم ظرفیت فتوسنتزی و سرعت تثبیت دی‌اکسیدکربن در

عدم تغییر در مقدار فنل کل و همچنین مهار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نتوانست باعث تخفیف تنش شوری شود.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و پراکسیداسیون لیپیدها در گیاه توت‌فرنگی تیمار شده با شوری ۵۰ میلی‌مولار (به‌تنهایی) نشان داد که این گیاه در برابر این شوری مقاوم نبوده و شوری باعث مهار نوری شده و میزان پراکسیداسیون لیپیدها را افزایش داده است. نتایج این تحقیق نشان داد که بررسی همزمان F_v/F_m یا PI_{ABS} با شاخص پراکسیداسیون لیپیدها (MDA)، تکنیک مناسبی برای ارزیابی رخداد مهار و آسیب نوری در گیاهان می‌باشد و با سنجش این دو شاخص می‌توان تحمل گیاهان به شوری را ارزیابی کرد. این نتایج نشان دادند که کاربرد محلول‌پاشی برگی یدات در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر، در تخفیف اثرات شوری بر واکنش‌های فتوشیمیایی مؤثر بود. کاربرد این تیمار همچنین از طریق افزایش قند محلول، فنل کل و ظرفیت پاداکسایشی، باعث توقف افزایش MDA حاصل از شوری گردید. با کاهش پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدید توسط کاربرد یدات، آسیب شوری بر ظرفیت فتوسنتزی و سنتز پروتئین تخفیف یافت و ظرفیت فتوشیمیایی فتوسیستم‌ها در شرایط شوری حفظ گردید. افزون بر فواید فوق که یدات را به‌عنوان یک عنصر مفید در تخفیف تنش شوری معرفی می‌کنند، کاربرد این عنصر باعث غنی‌شدن محصولات کشاورزی از یدات-پتاسیم و ترکیبات فنلی شده و بر کیفیت غذایی آنها می‌افزاید. هر چند غلظت بالای محلول‌پاشی یدات بخاطر کاهش فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده و همچنین مهار واکنش‌های فتوشیمیایی فتوسنتز نتوانست از میزان پراکسیداسیون لیپیدها در شرایط شوری بکاهد و اثرات مخرب تنش شوری را تخفیف دهد؛ در نتیجه با توجه به فواید کاربرد یدات پتاسیم برای گیاهان مناطق نسبتاً شور، و تأثیر این عنصر بر هم‌مؤسزای یون‌ها و روابط آبی گیاه، بررسی کاربرد یدات در غلظت‌های پایین بر خصوصیات باردهی توت‌فرنگی توصیه می‌شود.

برگ‌های شوری دیده شده است و تأثیر منفی شوری بر کارایی فتوسیستم‌ها را تخفیف داده است.

اثر شوری و یدات پتاسیم بر پتانسیل پاداکسایشی و متابولیسم فنلی

تأثیر ید بر پتانسیل پاداکسایشی برخی گونه‌های گیاهی، به منابع ید، غلظت و نوع کاربرد بستگی دارد. بر اساس گزارش Kim *et al.* (2008) و تحقیقات Leyva *et al.* (2011) در گیاه کاهو، تیمار کوتاه‌مدت شوری باعث افزایش انباشت فنل‌ها می‌گردد. هر چند در این تحقیق، تیمار شوری تغییری در فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیا لایز (آنزیم کلیدی بیوسنتز فنل‌ها) و غلظت فلاونوئید و فنل کل ایجاد نکرد. کاربرد برگی یدات در غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر، باعث افزایش غلظت فنل‌ها گردید که این افزایش غلظت فنل‌ها باعث مهار پراکسیداسیون لیپیدها شد. این نتایج با یافته‌های Smolén *et al.* (2015) در گوجه‌فرنگی در تطابق است. آنها گزارش کردند استفاده از KIO_3 در محدوده ۷/۹ میکرومولار ترکیبات فنل کل را افزایش می‌دهد. وقتی گیاهان در معرض تنش شوری قرار می‌گیرند تولید مولکول‌های اکسیژن فعال (Reactive Oxygen Species, ROS) در آنها افزایش می‌یابد (Munns & Tester, 2008). تنش شوری باعث تجمع انباشت انواع اکسیژن فعال در سلول و آسیب‌رساندن به لیپیدهای غشا و انباشت مالون‌دی‌آلدید، آسیب به پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود. افزایش مولکول‌های H_2O_2 و مالون‌دی‌آلدید می‌تواند باعث مهار رشد و کاهش توان سازگاری گیاه در برابر تنش شوری شود (Habibi, 2014). Blasco *et al.* (2011, 2013) گزارش کردند که استفاده از KIO_3 باعث افزایش غلظت اسیدآسکوربیک و فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) می‌شود. در این آزمایش، کاهش غلظت مالون‌دی‌آلدید به‌عنوان معیاری از پراکسیداسیون لیپیدها در تیمار توأم شوری و ۵ میلی‌گرم بر لیتر یدات-پتاسیم نسبت به تیمار شوری به احتمال زیاد به‌خاطر فعالیت مؤثر آنزیم کاتالاز بوده است. در مقایسه، غلظت بالای کاربرد برگی یدات (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) به‌خاطر

REFERENCES

- Blasco, B., Leyva, R., Romero, L. & Ruiz, J. M. (2013). Iodine effects on phenolic metabolism in lettuce plants under salt stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(11), 2591-2596.
- Blasco, B., Ríos, J. J., Leyva, R., Cervilla, L. M., Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M., Rosales, M. A., Ruiz, J. M. & Romero, L. (2011). Does iodine biofortification affect oxidative metabolism in lettuce plants? *Biological Trace Element Research*, 142(3), 831-842.
- Boominathan, R. & Doran, P.M. (2002). Ni induced oxidative stress in roots of the Ni hyperaccumulator, *Alyssum bertoloni*. *New Phytologist*, 156, 202-205.
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.
- Cao, S., Yang, Z. & Zheng, Y. (2013). Sugar metabolism in relation to chilling tolerance of loquat fruit. *Food Chemistry*, 136(1), 139-143.
- Ehlert, B. & Hinch, D. K. (2008). Chlorophyll fluorescence imaging accurately quantifies freezing damage and cold acclimation responses in *Arabidopsis* leaves. *Plant Methods*, 4(1), 1-12.
- Eleiwa, M. E., Bafeel, S. O. & Ibrahim, S. A. (2011). Influence of brassinosteroids on wheat plant (*Triticum aestivum* L.) production under salinity stress conditions. I. Growth parameters and photosynthetic pigments. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5, 58-651.
- Giannopolitis, C. N. & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutase: Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59, 309-314.
- Gupta, N., Bajpai, M., Majumdar, R. & Mishra, P. (2015). Response of iodine on antioxidant levels of *Glycine max* L. grown under Cd²⁺ stress. *Advances in Biological Research*, 1, 40-48.
- Habibi, G. (2014). Role of trace elements in alleviating environmental stress. In: *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance*. (pp. 313-342.) Springer Science.
- Habibi, G. (2017). Physiological, photochemical and ionic responses of sunflower seedlings to exogenous selenium supply under salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(10), 213.
- Habibi, G. & Hajiboland, R. (2012). Comparison of photosynthesis and antioxidative protection in *Sedum album* and *Sedum stoloniferum* (Crassulaceae) under water stress. *Photosynthetica*, 50 (4), 508-518.
- Hasanuzzaman, M. & Fujita, M. (2011). Selenium pretreatment upregulates the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system and confers enhanced tolerance to drought stress in rapeseed seedlings. *Biological Trace Element Research*, 143, 1758-1776.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K. & Fujita, M. (2013). Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. In: *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*. (pp. 25-87.) Springer New York.
- Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mokhtassi-Bidgoli, A. & Nicola, S. (2016). Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 106: 141-148.
- Iqbal, N., Masood, A. & Khan, N. A. (2012). Phytohormones in salinity tolerance: Ethylene and gibberellins cross talk. In: *Phytohormones and Abiotic Stress Tolerance in Plants*. Berlin, Germany, Springer.
- Johnson, C. M., Stout, P. R., Broyer, T. C. & Carlton, A. B. (1957). Comparative chlorine requirements of different plant species. *Plant Soil*, 8, 337-353.
- Kato, S., Wachi, T., Yoshihira, K., Nakagawa, T., Ishikawa, A., Takagi, D., Tezuka, A., Yoshida, H., Yoshida, S., Sekimoto, H. & Takahashi, M. (2013). Rice (*Oryza sativa* L.) roots have iodate reduction activity in response to iodine. *Frontiers in Plant Science*, 4, 227.
- Kim, H. J., Fonseca, J. M., Choi, J. H., Kubota, C. & Kwon, D. Y. (2008). Salt in irrigation water affects the nutritional and visual properties of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(10), 3772-3776.
- Lee, O.H., Lee, B.Y., Lee, J., Lee, H.B., Son, J.Y., Park, C.S., Shetty, K. & Kim, Y.C. (2009). Assessment of phenolics-enriched extract and fractions of olive leaves and their antioxidant activities. *Bioresource Technology*, 100(23), 6107-6113.
- Leyva, R., Sánchez-Rodríguez, E., Ríos, J. J., Rubio-Wilhelmi, M. M., Romero, L., Ruiz, J. M. & Blasco, B. (2011). Beneficial effects of exogenous iodine in lettuce plants subjected to salinity stress. *Plant Science*, 181(2), 195-202.
- Li, R., Liu, H. P., Hong, C. L., Dai, Z. X., Liu, J. W., Zhou, J., Hu, C. Q. & Weng, H. X. (2017). Iodide and iodate effects on the growth and fruit quality of strawberry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(1), 230-235.
- Mavi, A., Terzi, Z. & Ozgen, U. (2004). Antioxidant properties of some medicinal plants: *Prangos ferulacea* (Apiaceae), *Sedum sempervivoides* (Crassulaceae), *Malva neglecta* (Malvaceae), *Cruciata taurica* (Rubiaceae), *Rosa pimpinellifolia* (Rosaceae), *Galium verum* subsp. *Verum* (Rubiaceae), *Urtica dioica* (Urticaceae). *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 27, 702-705.

24. Medrano-Macías, J., Leija-Martínez, P., González-Morales, S., Juárez-Maldonado, A. & Benavides-Mendoza, A. (2016). Use of iodine to biofortify and promote growth and stress tolerance in crops. *Frontiers in Plant Science*, 7, p.1146.
25. Munns, R., James, R. A. & Läuchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1025-1043.
26. Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
27. Rousseau, C., Belin, E., Bove, E., Rousseau, D., Fabre, F. & Berruyer, R. (2013). High throughput quantitative phenotyping of plant resistance using chlorophyll fluorescence image analysis. *Plant Methods*, 9, 17.
28. Schachtman, D. P. & Hare, R. A. (2002). Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. *Plant Soil*, 247, 93-105.
29. Sheteawi, S. (2007). Improving growth and yield of salt-stressed soybean by exogenous application of jasmonic acid and ascobin. *International Journal of Agriculture and Biology*, 9, 473-478.
30. Simon, L. M., Fatrai, Z., Jonas, D. E. & Matkovics, B. (1974). Study of peroxide metabolism enzymes during the development of *Phaseolus vulgaris*. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*, 166(5-6), 387-392.
31. Smoleń, S., Sady, W., Ledwożyw-Smoleń, I., Strzetelski, P., Liszka-Skoczylas, M. & Rożek, S. (2014). Quality of fresh and stored carrots depending on iodine and nitrogen fertilization. *Food Chemistry*, 159, 316-322.
32. Smoleń, S., Wierzbńska, J., Sady, W., Kołton, A., Wiszniewska, A. & Liszka-Skoczylas, M. (2015). Iodine biofortification with additional application of salicylic acid affects yield and selected parameters of chemical composition of tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 188, 89-96.
33. Strasser, B. J. & Strasser, R. J. (1995). Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test. In: *Photosynthesis: From Light to Biosphere*. (pp. 977-980.) Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.
34. Strasser, R.J., Tsimilli-Michael, M. & Srivastava, A. (2004). Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: *Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis*. (pp. 321-362.) Springer, Dordrecht.
35. Sun, Y., Niu, G., Wallace, R., Masabni, J. & Gu, M. (2015). Relative salt tolerance of seven strawberry cultivars. *Horticulturae*, 1(1), 27-43.
36. Van Heerden, P. D. R., Swanepoel, J. W. & Krüger, G. H. J. (2007). Modulation of photosynthesis by drought in two desert scrub species exhibiting C₃-mode CO₂ assimilation. *Environmental and Experimental Botany* 61(2), 124-136.
37. Xu, H. G., Liu, G. J., Liu, G. T., Yan, B. F., Duan, W. & Wang, L. J. (2014). Comparison of investigation methods of heat injury in grapevine (*Vitis*) and assessment to heat tolerance in different cultivars and species. *BMC Plant Biology*, 14, 156.
38. Živčák, M., Brestič, M., Olšovská, K. & Slamka, P. (2008). Performance index as a sensitive indicator of water stress in *Triticum aestivum* L.. *Plant Soil Environ*, 54(4), 133-139.
39. Zucker, M. (1965). Induction of phenylalanine deaminase by light, its relation to chlorogenic acid synthesis in potato tuber tissue. *Physiologia Plantarum*, 40, 779-784.