

Benefit of iodine soil application for alleviating detrimental effects of salinity stress in strawberry

Ghader Habibi ^{1*}, Shabnam Elyaghi ¹, Masumeh Abedini ¹, Nasrin sabourmoghaddam ²

¹ Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran

² Department of Natural Resources and Environment, Payame Noor University, Tehran, Iran

Abstract

Since the photochemical mechanisms of iodine-mediated adaptation to salt stress is not yet clear, the present study was performed to address this issue. Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) plants were grown under controlled conditions, and soils of iodine treatment were fertilized with potassium iodate (KIO₃) (5 and 50 mg/kg soil) before filling the pots. Salt stress (50 mM) negatively affected protein synthesis and photochemical reactions of strawberry, as evaluated by a decrease in performance index (PI_{abs}) as well as higher levels of hydrogen peroxide (H₂O₂) and malondialdehyde, whereas application of KIO₃ (at both 5 and 50 mg/kg) alleviated the detrimental effect of sodium chloride (NaCl) stress. Plants treated with 50 mg/kg showed an increase in the soluble sugars content with respect to no KIO₃ supply under salinity stress. In salt-stressed plants, the OJIP chlorophyll fluorescence curve showed a quicker fluorescence decrease in the I-P phase. Notably, I-P phase in plants treated with KIO₃ was increased. These results indicated that KIO₃ application could protect the photosystem II from damage under salinity stress. Additionally, application of KIO₃ raised free radical scavenging activities of strawberry leaf because of an enhancement of catalase activity. These data provided the first evidence that the root-applied KIO₃ pretreatment alleviated salt stress in strawberry by decreasing reactive oxygen species production, resulting in better photochemical functioning under salt stress.

Keywords: Antioxidant system, NaCl stress, Photochemical function, Soil-applied iodine, Strawberry

* Corresponding Author: dr.habibi.pnu@gmail.com

فایده کاربرد خاکی پتاسیم یدات برای کاهش آثار مضر تنش شوری در توت‌فرنگی

قادر حبیبی^{۱*}، شبنم الیاقی^۱، معصومه عابدینی^۱، نسرین صبورمقدم^۲

^۱ گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

^۲ گروه منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

از آنجاکه سازوکارهای فتوشیمیایی درگیر در کاهش آثار مضر تنش شوری با یدات در گیاهان به‌خوبی شناسایی نشده‌اند، در پژوهش حاضر، این سازوکارها بررسی شدند. قبل از کشت نشاهای توت‌فرنگی (*Fragaria x ananassa* Duch.) در شرایط کنترل‌شده، خاک با تیمار پتاسیم یدات (KIO_3) با غلظت‌های ۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم غنی شد. تنش شوری با سدیم کلرید ۵۰ میلی‌مولار کاهش معنی‌دار سنتز پروتئین و شاخص کارایی فعالیت فتوشیمیایی فتوسیستم‌ها (PIabs) و همچنین افزایش معنی‌دار هیدروژن پراکسید (H_2O_2) و مالون‌دی‌آلدهید را باعث شد. کاربرد پتاسیم یدات در هر دو غلظت ۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک کاهش اثر منفی شوری و افزایش غلظت قند محلول و پروتئین کل را در گیاهان تیمار شده با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک یدات در تنش شوری سبب شد. گیاهان تیمار شده با شوری تنها، تغییر محسوسی در شکل نمودار فلورسانس کلروفیل (OJIP) نشان دادند و فاز فلورسانس I-P در این گیاهان کاهش چشمگیر نشان داد. کاربرد خاکی یدات از افت فاز I-P در گیاهان قرار گرفته در تنش شوری ممانعت کرد. همچنین کاربرد خاکی یدات با افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و غلظت فنل کل، عملکرد سیستم آنتی‌اکسیدان برگ‌های توت‌فرنگی را در تنش شوری بهبود داد. نتایج پژوهش حاضر برای نخستین بار نشان دادند کاربرد خاکی یدات با کاهش دادن تولید گونه‌های فعال اکسیژن بهبود عملکرد فتوشیمیایی فتوستنز را در تنش شوری و افزایش مقاومت گیاه توت‌فرنگی را به شوری موجب شد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، توت‌فرنگی، سیستم آنتی‌اکسیدان، عملکرد فتوشیمیایی، کاربرد خاکی

یدات

* نگارنده مسئول: نشانی پست الکترونیک: dr.habibi.pnu@gmail.com، شماره تماس: ۰۴۱۳۷۸۲۸۰۵۵

مقدمه

بهره‌وری کم گیاهان زراعی و باغی بیشتر به تنش‌های محیطی نسبت داده می‌شود. در بسیاری از نقاط دنیا گیاهان معمولاً با تنش‌های غیرزیستی مانند شوری، خشکی، دمای زیاد یا کم، مسموم‌شدن با فلزها، ازن، پرتو فرابنفش و علف‌کش‌ها مواجه‌اند که تهدید جدی برای تولید گیاهان به شمار می‌روند (Munns *et al.*, 2006). تنش شوری از عوامل مهم محدودکننده رشد رویشی و زایشی بیشتر گیاهان است (Mosleh Arany *et al.*, 2018; Fazeli *et al.*, 2018). سرعت گسترش شوری حدود ۱/۵ میلیون هکتار در هر سال تخمین زده شده است (Munns *et al.*, 2006).

در سال‌های گذشته برای کاهش آسیب‌های ناشی از شوری در گیاهان، ترکیبات مهمی مانند هورمون‌های گیاهی، مولکول‌های علامت‌دهنده (نیتریک اکسید، هیدروژن پراکسید و غیره)، پلی‌آمین‌ها (اسپرمیدین، اسپرمین و پوترسین) و عناصر کمیاب (سلنیوم، سیلیکون و ید) استفاده شده‌اند (Hasanuzzaman and Fujita, 2011). کاربرد عنصر ید در گیاهان شوری‌دیده، علاوه بر کاهش تنش شوری، غنی‌شدن اندام‌های گیاه را با عنصر ید نیز سبب می‌شود؛ از این رو به استفاده از این عنصر برای کاهش آثار منفی تنش شوری توجه شده است (Leyva *et al.*, 2011). ید از ریشه، روزنه‌ها و لایه کوتیکولی برگ جذب می‌شود. ید برای رشد گیاهان ضروری نیست؛ اما در برخی گیاهان آبی نقش مهمی در سوخت‌وساز دارد. ید پس از جذب، با بافت چوبی حمل می‌شود و میزان تجمع آن در برگ‌ها نسبت به میوه و دانه‌ها

بیشتر است (Smolen *et al.*, 2014). گیاهان یدات را به‌طور کارآمدتری نسبت به پتاسیم یدید از خاک جذب می‌کنند (Lawson *et al.*, 2015). گیاه ید را از کانال‌های یونی حمل‌ونقل‌کننده کلرید جذب می‌کند (White and Broadley, 2009)؛ بنابراین، امکان تداخل با آنیون‌های دیگر مانند نترات، تیوسیانات و پرکلرات وجود دارد (Voogt and Jackson, 2010). گزارش‌ها درباره تأثیر کاربرد ید بر پاسخ گیاه به تنش شوری بسیار نادر هستند (Leyva *et al.*, 2011). تأثیر کاربرد ید بر کاهش آثار مضر تنش شوری در گیاه کاهو بررسی شده است (Blasco *et al.*, 2011, 2013). در این گیاه کاهش تنش شوری با ید، بیشتر با افزایش توان آنتی‌اکسیدانی و بهبود روابط آبی انجام می‌شود. Blasco و همکاران (۲۰۱۱ و ۲۰۱۳) نشان داده‌اند استفاده از یدات، غلظت آسکوربیک اسید و فعالیت آنزیم کاتالاز را افزایش اما غلظت گلوکاتایون (GSH) و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز را کاهش می‌دهد. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با کاربرد پتاسیم یدات (KIO₃) به‌طور مؤثری نسبت به پتاسیم یدید افزایش می‌یابد.

توت‌فرنگی (*Fragaria x ananassa* Duch.) گیاه چندساله علفی است که به‌طور متوسط ۳ تا ۵ سال عمر می‌کند و نسبت به شوری حساس است (Karlidag *et al.*, 2009). این گیاه یدات را به‌خوبی جذب می‌کند و انباشت یدات در برگ، ساقه و میوه توت‌فرنگی در شرایط غیرشور نشان داده شده است (Li *et al.*, 2017). با توجه به اینکه تأثیر کاربرد ید بر کاهش تنش شوری در گیاه توت‌فرنگی و میزان تأثیر کاربرد یدات در تنش

سنجش شاخص‌های فلورسانس کلروفیل: برای تعیین فلورسانس کلروفیل، از دستگاه فلورسانس‌سنج (مدل Pocket PEA، شرکت Hansatech، انگلستان) استفاده شد. شاخص‌های فلورسانس کلروفیل در برگ‌های سازش‌یافته با تاریکی (به مدت حداقل ۲۰ دقیقه) شامل F_0 (فلورسانس پایه) و F_m (فلورسانس بیشینه) اندازه‌گیری شدند. برای رسم نمودار فلورسانس از آزمون JIP بهره گرفته شد. آزمون JIP داده‌های ثبت‌شده اولیه با دستگاه فلورسانس‌سنج را به شاخص‌های بیوفیزیک تبدیل می‌کند و کمیت مراحل جریان انرژی را در فتوسیستم II تعیین می‌کند. برای رسم نمودار فلورسانس OJIP، از نور قرمز با طول موج ۶۲۷ نانومتر و شدت ۳۵۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه (برای اطمینان از رسیدن به پیک F_m) استفاده شد. شاخص‌های زیر در اندازه‌گیری‌های فلورسانس اولیه استفاده شدند: شدت فلورسانس بیشینه (F_m)، شدت فلورسانس در ۵۰ میکروثانیه (F_0 در نظر گرفته شد)، شدت فلورسانس در ۳۰۰ میکروثانیه ($F_{300\mu s}$) و شدت فلورسانس در ۲ میلی‌ثانیه (مرحله J). برای رسم نمودار گذار فلورسانس کلروفیل از نرم‌افزار PEA Plus نسخه ۱/۱۰ استفاده شد. در نمودار گذار فلورسانس OJIP برگ‌ها، گذار فلورسانس کلروفیل از سطح پایه O (فلورسانس کمینه) به سطح J که حدود ۲ میلی‌ثانیه طول می‌کشد، مربوط به احیای Q_A با فتوسیستم PSII است. تداوم فلورسانس از سطح J به سطح I که حدود ۳۰ میلی‌ثانیه طول می‌کشد با احیای کامل ذخایر پلاستوکوئینون مرتبط است. گذار فلورسانس از

شوری بر فعالیت فتوشیمیایی فتوستنتز در گیاهان بررسی نشده است؛ بنابراین پژوهش حاضر برای نخستین بار سازوکارهای کاهش آثار منفی تنش شوری با کاربرد خاکی غلظت‌های مختلف یادت و نیز تأثیر یادت را بر فعالیت فتوشیمیایی فتوستنتز در گیاه توت‌فرنگی بررسی می‌کند.

مواد و روش‌ها

نشاهای هم‌اندازه توت‌فرنگی رقم گاویتا در گلدان‌های حاوی پرلیت و در شرایط کنترل‌شده گلخانه با دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی، دمای روزانه ۲۷ درجه سانتی‌گراد و دمای شبانه ۱۹ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۷۸ درصد و شدت نور ۲۵۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه کشت شدند. قبل از کشت نشاهای توت‌فرنگی در شرایط کنترل‌شده، خاک مربوط به تیمارهای یدین، با غلظت‌های ۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم یادت غنی شد. گلدان‌ها با محلول غذایی هوگلند تغییر یافته ۵۰ درصد (Johnson *et al.*, 1957) آبیاری شدند و pH محلول غذایی و کوکوپرلیت در ۶/۵ تنظیم شد. پس از گذشت یک ماه از حضور گلدان‌ها در گلخانه، تیمار شوری اعمال شد. برای تیمار شوری، نمک سدیم کلرید با غلظت ۵۰ میلی‌مولار در محلول غذایی هوگلند تغییر یافته حل و به گلدان‌ها داده شد. در نهایت پس از گذشت ۱۰ روز از اعمال شوری، نمونه‌ها برداشت شدند. سنجش شاخص‌های فلورسانس کلروفیل سومین برگ جوان، قبل از برداشت و توزین گیاهان و سنجش رنگیزه‌ها و متابولیت‌های نمونه‌های تازه برداشت‌شده یا نگهداری‌شده در ازت مایع انجام شد.

تجزیه نوری ریوفلاوین، با آنزیم موجود در عصاره اندازه‌گیری شد (Giannopolitis and Ries, 1977). نمونه‌ها بلافاصله پس از برداشت، در ازت مایع پودر شد و عصاره آنزیمی در بافر ۲۵ میلی‌مولار حاوی هیدروکسی اتیل پیرازین اتان سولفونیک اسید با $\text{pH}=7/8$ و اتیلن دی آمین ترا استیک اسید با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار استخراج شد. عصاره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۵۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ (مدل Universal 320 R، شرکت Hettich، آلمان) و روش‌های حاصل برای سنجش فعالیت استفاده شدند. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره به یک میلی‌لیتر از محلول واکنشی شامل هیدروکسی اتیل پیرازین اتان سولفونیک اسید ۲۵ میلی‌مولار با $\text{pH}=7/6$ ، اتیلن دی آمین ترا استیک اسید ۰/۱ میلی‌مولار، سدیم کربنات ۵۰ میلی‌مولار با $\text{pH}=10/2$ ، L-متیونین ۱۲ میلی‌مولار، نیتروبلوتترازولیوم ۷۵ میکرومولار و ریوفلاوین ۱ میکرومولار اضافه شد و مخلوط حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در شدت نور ۱۵۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه برای انجام واکنش قرار گرفت. برای تهیه نمونه‌های شاهد، مخلوط یادشده بدون افزودن عصاره آنزیمی تهیه و جذب نمونه‌ها در ۵۶۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. یک واحد فعالیت آنزیم براساس غلظت پروتئین آنزیمی لازم برای القای ۵۰ درصد ممانعت از احیای نیتروبلوتترازولیوم در مقایسه با نمونه‌های شاهد بدون عصاره آنزیمی محاسبه و به صورت واحد فعالیت بر میلی‌گرم پروتئین بیان شد.

فعالیت آنزیم کاتالاز مطابق روش Simon و همکاران (۱۹۷۴) براساس کاهش جذب هیدروژن

سطح I به سطح P نتیجه احیای جایگاه گیرنده الکترون فتوسیستم I است (Kalaji *et al.*, 2011). در نهایت، شاخص‌های کارایی کمپلکس آزادکننده اکسیژن (F_v/F_o)، میزان جذب نور در فتوسیستم II به‌ازای هر مرکز واکنش (ABS/RC)، عملکرد کوانتومی انتقال الکترون (ϕE_o)، میزان انتقال الکترون در واحد تهییج‌شده برگ‌ها (ET/CS)، شاخص کارایی فتوسیستم‌ها (PI_{abs}) و بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) بررسی شدند (Strasser and Strasser, 1995; Strasser *et al.*, 2004).

سنجش کربوهیدرات‌های محلول (قند محلول): ۰/۱ گرم ماده خشک گیاهی توزین و درون هر لوله آزمایش ریخته شد و مقدار ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد به آنها اضافه شد. درب لوله‌ها با پارافیلیم محکم بسته شد و لوله‌ها به مدت یک هفته در یخچال نگهداری شدند. محلول لوله‌ها با کاغذ واتمن شماره یک صاف و روش‌های سنجش قند محلول استفاده شد. ۲ میلی‌لیتر از روش‌های حاوی ۵ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۹۸ درصد افزوده شد. پس از ۳۰ دقیقه، جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-VIS Scanning UV-3100PC، شرکت Vertical، ساخت تایلند) در طول موج ۴۸۵ نانومتر خوانده شد و غلظت قند نمونه‌ها با نمودار استاندارد گلوکز ترسیم‌شده با غلظت‌های ۱۰ تا ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد (Cao *et al.*, 2013).

سنجش فعالیت آنزیم‌ها: فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز براساس درصد ممانعت از احیای نیتروبلوتترازولیوم به ترکیب ارغوانی‌رنگ دی فورمازان با رادیکال سوپراکسید ($O_2^{\cdot-}$) حاصل از

نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. در نهایت، غلظت مالون‌دی‌آلدهید نمونه‌ها برحسب نانومول بر گرم وزن تر محاسبه شد.

غلظت هیدروژن پراکسید براساس روش Velikova و همکاران (۲۰۰۰) به دست آمد. محلول استخراج برگ‌ها محلول تری کلرو استیک اسید (۰/۱ درصد وزنی به حجمی) بود. عصاره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۲۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند و روشناور استفاده شد. ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره به یک میلی‌لیتر از محلول واکنش شامل بافر پتاسیم فسفات ۱۰ میلی‌مولار (pH=۷) و پتاسیم یدید یک مولار اضافه شد و مخلوط حاصل به مدت ۶۰ دقیقه در تاریکی برای انجام واکنش قرار گرفت. جذب نمونه‌ها در ۳۹۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. مقادیر براساس نمودار استاندارد هیدروژن پراکسید در محدوده صفر تا ۵۰ نانومول محاسبه شدند.

سنجش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیاایاز: فعالیت فنیل آلانین آمونیاایاز مطابق روش Zucker (۱۹۶۵) اندازه‌گیری شد. ابتدا عصاره آنزیمی در بافر سدیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷/۸ حاوی اتیلن دی آمین تتراستیک اسید با غلظت ۲ میلی‌مولار و مرکاپتواتانول ۱۸ میلی‌مولار و تربیتون X-100 ۰/۱ درصد استخراج شد. عصاره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۵۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ و روشناورهای حاصل برای سنجش فعالیت استفاده شدند. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره به یک میلی‌لیتر از محلول واکنش شامل بافر سدیم بورات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۸/۸) و L-فنیل آلانین ۵ میلی‌مولار اضافه شد و مخلوط حاصل به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه برای انجام واکنش قرار گرفت.

پراکسید (H₂O₂) در ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. عصاره آنزیمی پس از پودر شدن نمونه‌ها در ازت مایع، در بافر فسفات با غلظت ۵۰ میلی‌مولار و pH=۷ استخراج و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد. برای سنجش فعالیت آنزیم غلظت مناسبی از عصاره به محلول واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷) و هیدروژن پراکسید ۱۰ میلی‌مولار افزوده شد و تغییرات جذب به مدت دو دقیقه با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شدند. در نهایت، فعالیت آنزیم براساس ضریب خاموشی هیدروژن پراکسید (۰/۰۴۱ بر میلی‌مولار بر سانتی‌متر) برحسب میکرومول هیدروژن پراکسید بر میلی‌گرم پروتئین در دقیقه محاسبه شد.

سنجش متابولیت‌های مرتبط با دفاع آنتی‌اکسیدان: سنجش مالون‌دی‌آلدهید که معیاری برای بررسی میزان پراکسیداسیون لیپیدها است براساس روش Boominathan و Doran (۲۰۰۲) انجام شد. عصاره برگ در محلول ۰/۱ درصد تری کلرو استیک اسید استخراج و به مدت پنج دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد. نسبت ۱ به ۴ از روشناور با محلول ۲۰ درصد از تری کلرو استیک اسید حاوی ۰/۵ درصد تیوباربتوریک اسید در لوله آزمایش با هم مخلوط شدند و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند؛ سپس لوله‌ها به سرعت در یخ سرد شدند و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شدند. هم‌زمان با عصاره‌های برگ، محلول‌های استاندارد در محدوده صفر تا ۱۰۰ نانومول از ۱، ۳، ۱، ۳ - ترا اتوکسی پروپان تهیه شدند و جذب نمونه‌ها در ۵۳۲

اندازه‌گیری پروتئین کل: عصاره پروتئینی در بافر سدیم فسفات با غلظت ۵۰ میلی‌مولار و pH=۶/۸ استخراج و به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۵۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد. از روشناور حاصل برای سنجش پروتئین کل با روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده شد.

تحلیل آماری: آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار Sigma Stat نسخه ۳/۵ با آزمون توکی در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج

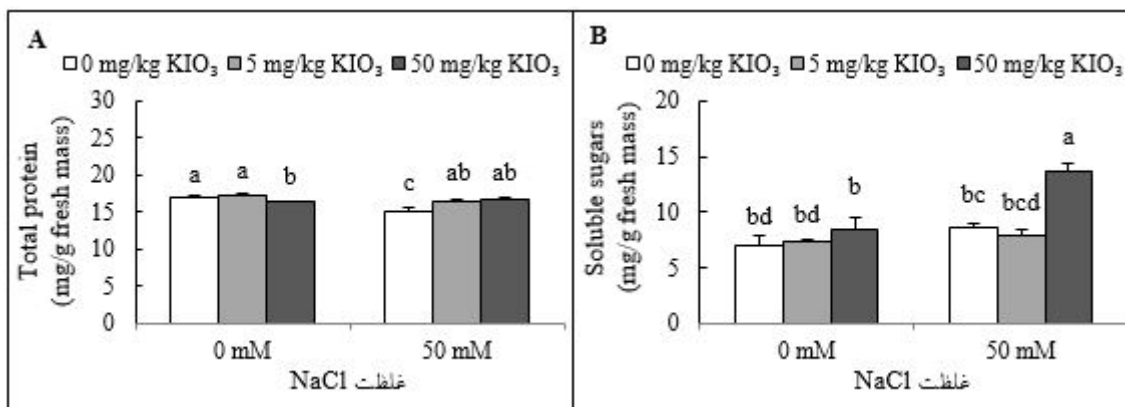
اثر شوری و کاربرد خاکی پتاسیم یدات بر پروتئین کل و قند محلول برگ‌ها: بررسی تأثیر کاربرد خاکی پتاسیم یدات بر پروتئین کل محلول برگ‌ها نشان داد پتاسیم یدات در تنش شوری از کاهش پروتئین کل محلول برگ‌ها جلوگیری کرد (شکل ۱). کاربرد خاکی پتاسیم یدات با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به تنهایی افزایش معنی‌دار قند محلول برگ‌ها را نسبت به برگ‌های شاهد باعث شد. همچنین کاربرد خاکی پتاسیم یدات با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در شرایط شوری افزایش قند محلول برگ‌ها را تشدید کرد.

اثر شوری و پتاسیم یدات بر تغییرات نمودار گذار فلورسانس OJIP برگ‌ها: برای رسم نمودار فلورسانس از آزمایش JIP بهره گرفته شد. بررسی تغییرات نمودار فلورسانس OJIP (محور عمودی، شدت فلورسانس و محور افقی، زمان براساس میکروثانیه را نشان می‌دهد) در گیاه توت‌فرنگی در تنش شوری نشان داد به‌طور کلی شدت فلورسانس

جذب نمونه‌ها در ۲۹۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. یک واحد فعالیت آنزیم براساس غلظت پروتئین آنزیمی لازم برای تولید یک نانومول سینامیک اسید محاسبه شد.

سنجش فنل کل: از آنجا که بیشترین ترکیبات فنلی گیاهان از نوع پلی‌فنل‌ها هستند، برای سنجش فنل کل از روش معرف فنلی فولین - سیوکالتو (Mavi *et al.*, 2004) استفاده شد. بدین منظور، ۵ گرم برگ پس از پودرشدن با هاون در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۳۰ دقیقه جوشانده و سپس با کاغذ واتمن شماره ۴۲ صاف شد. ۲۵۰ میکرولیتر معرف فولین با ۲۵ میکرولیتر عصاره و ۵۰۰ میکرولیتر محلول آبی سدیم کربنات ۲۰ درصد مخلوط شد. نمونه‌های شاهد، عصاره نداشتند. پس از قراردادن نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه به مدت ۳۰ دقیقه، جذب آنها در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و غلظت فنل کل براساس نمودار استاندارد گالیک اسید به دست آمد. این سنجش برای هر عصاره ۴ بار تکرار شد و میانگین فنل کل موجود در عصاره تیمارها به صورت میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم بافت بیان شد.

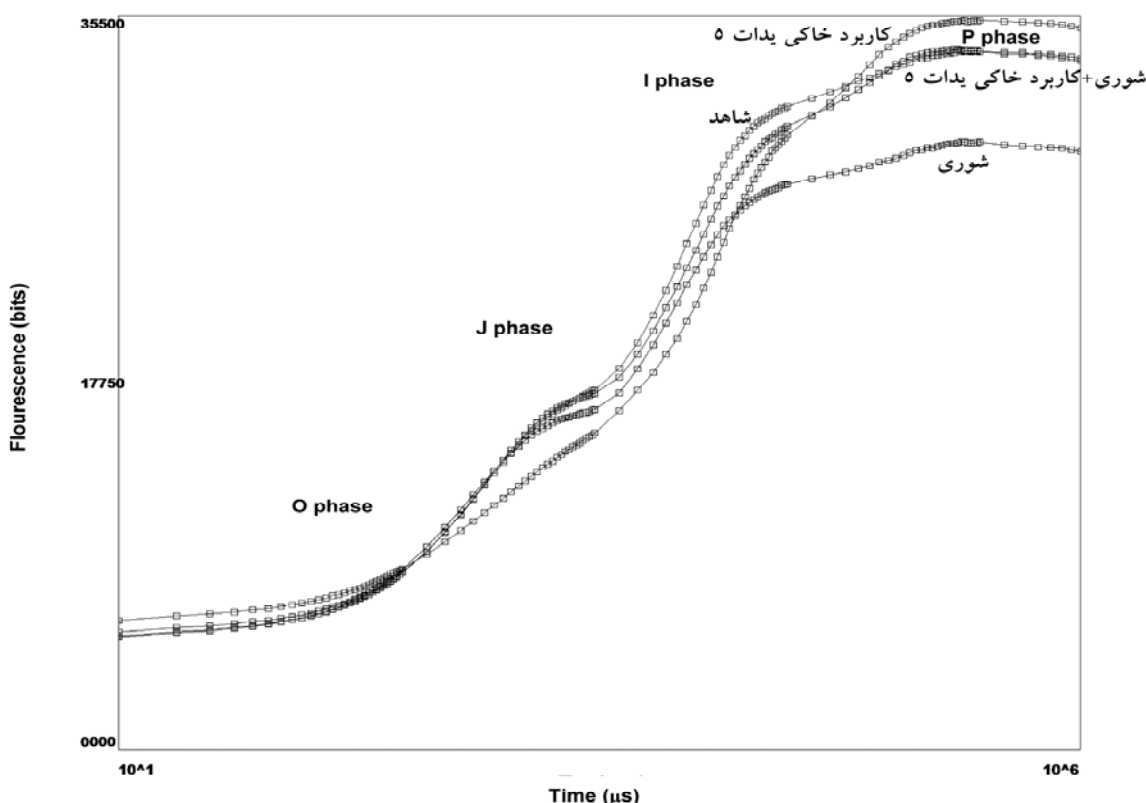
سنجش فلاونوئیدها: برای سنجش غلظت فلاونوئیدها، نمونه‌های برگ در متانول حاوی آلومینیوم کلراید دو درصد ساییده شد و پس از سانتریفیوژ، روشناور برداشت و جذب آن در طول موج ۴۱۵ نانومتر خوانده شد. از غلظت‌های صفر تا ۱۶ میلی‌گرم بر لیتر کوئرستین برای استاندارد استفاده شد و غلظت فلاونوئیدها براساس واحد میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن تر محاسبه شد (Simon *et al.*, 1974).



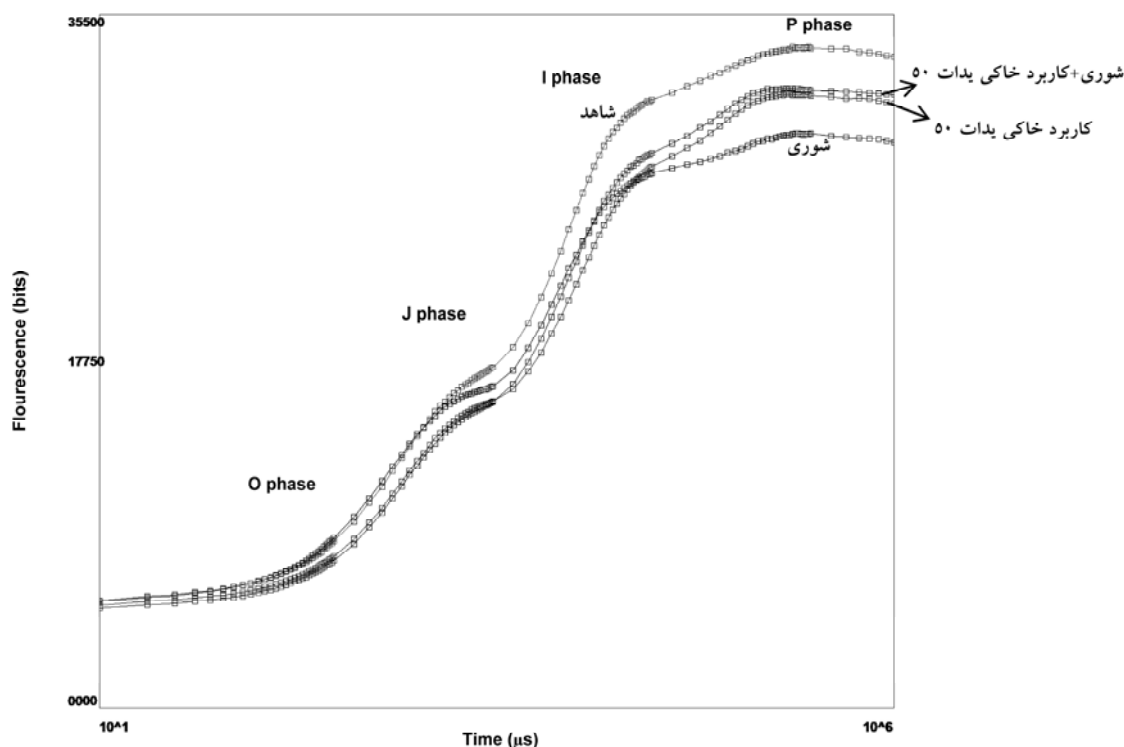
شکل ۱- تأثیر کاربرد خاکی پتاسیم یدات بر پروتئین کل (A) و قند محلول (B) برگ‌های توت‌فرنگی در تنش شوری- مقادیر، میانگین ۴ تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ هستند.

غلظت‌های ۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک آثار شوری را بر نمودار فلورسانس کاهش و شدت فلورسانس را در فاز IP افزایش داد.

در فاز IP کاهش چشمگیری یافت و نمودار فلورسانس نسبت به حالت شاهد شکلی مسطح پیدا کرد (شکل‌های ۲ و ۳). کاربرد خاکی یدات با



شکل ۲- تأثیر کاربرد خاکی پتاسیم یدات با غلظت ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بر تغییرات نمودار فلورسانس OJIP برگ‌های توت‌فرنگی در تنش شوری- برای تولید نمودار فلورسانس OJIP، از نور قرمز با طول موج ۶۲۷ نانومتر و شدت ۳۵۰۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه (برای اطمینان از رسیدن به پیک F_m) استفاده شد.

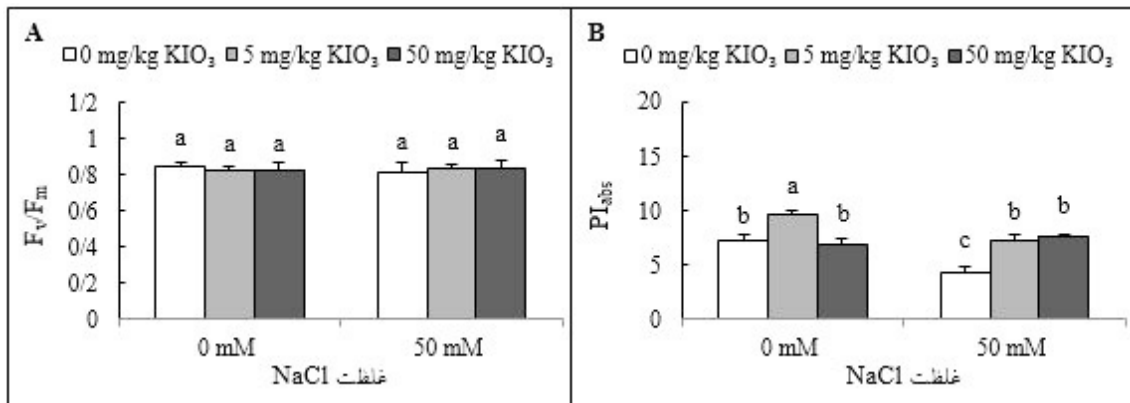


شکل ۳- تأثیر کاربرد خاکی پتاسیم یدات با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بر تغییرات نمودار فلورسانس OJIP برگ‌های توت‌فرنگی در تنش شوری- برای تولید نمودار فلورسانس OJIP، از نور قرمز با طول موج ۶۲۷ نانومتر و شدت ۳۵۰۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه (برای اطمینان از رسیدن به پیک F_m) استفاده شد.

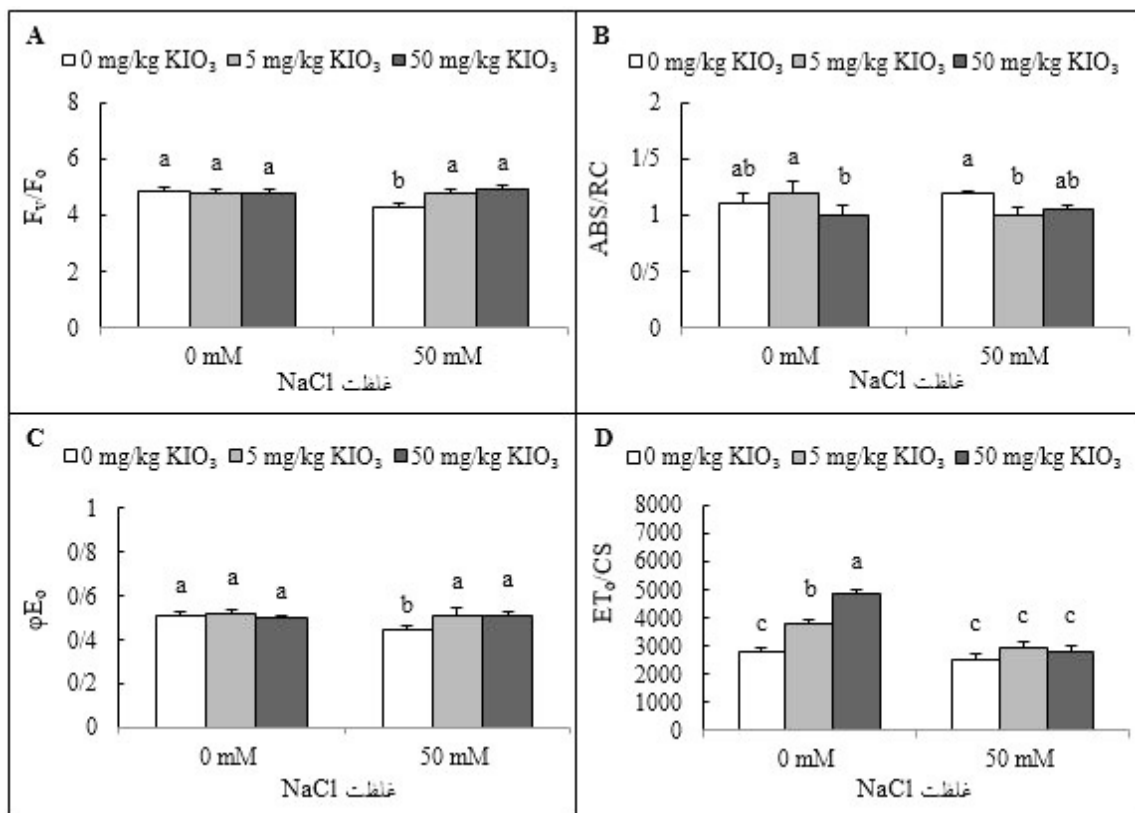
را بر کارایی فتوسیستم‌ها موجب شد (شکل ۴). بررسی جزئی‌تر اثر شوری و پتاسیم یدات بر سایر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل نشان داد شوری کاهش معنی‌دار کارایی فعالیت کمپلکس آزادکننده اکسیژن (F_v/F_0) و عملکرد کوانتومی انتقال الکترون (ϕE_0) را در برگ‌های توت‌فرنگی باعث شد؛ هرچند کاربرد یدات با غلظت‌های ۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از افت این شاخص‌ها ممانعت کرد (شکل ۵). تیمار یدات با غلظت‌های ۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در شرایط شوری میزان جذب نور را در فتوسیستم II به‌ازای هر مرکز واکنش (ABS/RC) تغییر نداد. تیمار یدات با غلظت‌های ۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک تنها در شرایط غیرشور افزایش

اثر شوری و پتاسیم یدات بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل: بررسی شاخص کارایی فتوسیستم‌ها (PI_{abs}) و بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) در برگ‌های شوری‌دیده نشان داد، هرچند مقدار بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در برگ‌های شوری‌دیده تفاوت معنی‌داری با برگ‌های شاهد نداشت، شاخص کارایی فتوسیستم‌های برگ‌های شوری‌دیده در مقایسه با برگ‌های شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد. کاربرد خاکی یدات در غلظت ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش معنی‌دار شاخص کارایی فتوسیستم‌ها را در مقایسه با شاهد باعث شد. همچنین کاربرد خاکی یدات در هر دو غلظت ۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاهش تأثیر منفی شوری

معنی‌دار میزان انتقال الکترون را در واحد تهییج‌شده برگ‌ها (ET₀/CS) باعث شد.



شکل ۴- تأثیر کاربرد خاکی پتاسیم یدات بر بیشینه عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (A) (F_v/F_m) و شاخص کارایی فتوسیستم‌ها (B) (PI_{abs}) در برگ‌های توت‌فرنگی در تنش شوری- مقادیر، میانگین ۴ تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار در سطح P<۰/۰۵ هستند.



شکل ۵- تأثیر کاربرد خاکی پتاسیم یدات بر کارایی کمپلکس آزادکننده اکسیژن (A) (F_v/F₀)، میزان جذب نور در فتوسیستم II به‌ازای هر مرکز واکنش (B) (ABS/RC)، عملکرد کوانتومی انتقال الکترون (C) (φE₀) و میزان انتقال الکترون در واحد تهییج‌شده برگ‌های توت‌فرنگی در تنش شوری- مقادیر، میانگین ۴ تکرار ± انحراف معیار هستند. حروف متفاوت بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار در سطح P<۰/۰۵ هستند.

بر کیلوگرم، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز و غلظت فنل کل و فلاونوئید برگ‌های توت‌فرنگی را در شرایط شور و غیرشور تغییر نداد.

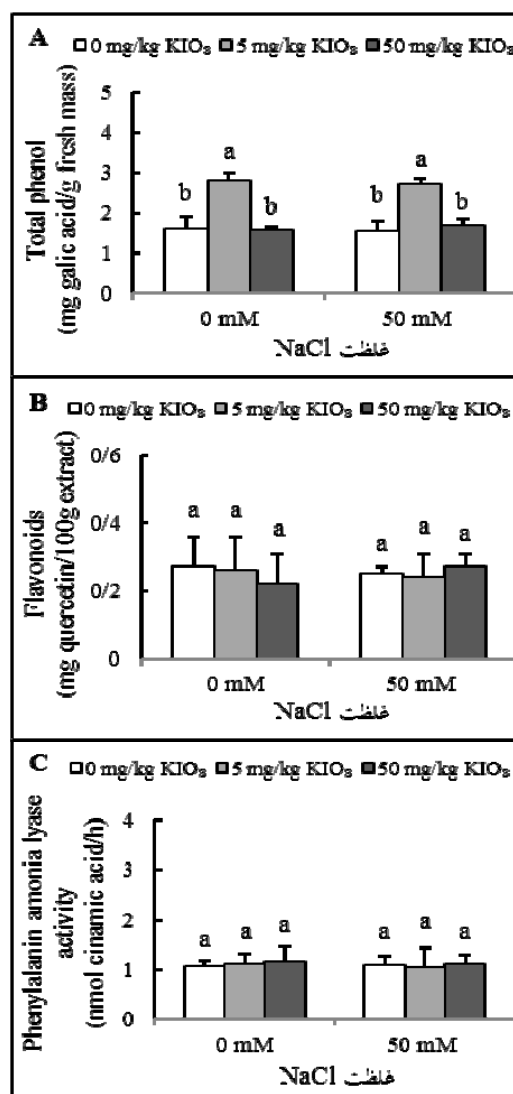
اثر شوری و پتاسیم یدات بر فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدان: هیچ‌کدام از تیمارهای شوری و کاربرد خاکی پتاسیم یدات، بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز اثر نداشتند (شکل ۷)؛ هرچند تیمار هم‌زمان پتاسیم یدات با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و شوری، افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز برگ‌های توت‌فرنگی را در شرایط شور باعث شد.

اعمال شوری افزایش معنی‌دار غلظت هیدروژن پراکسید و مالون‌دی‌آلدهید را در برگ‌های توت‌فرنگی باعث شد (شکل ۸). کاربرد تیمار پتاسیم یدات خارجی در هر دو غلظت ۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک هم‌زمان با شوری، افزایش غلظت هیدروژن پراکسید و همچنین مالون‌دی‌آلدهید حاصل از پراکسیداسیون غشاها را کاهش داد.

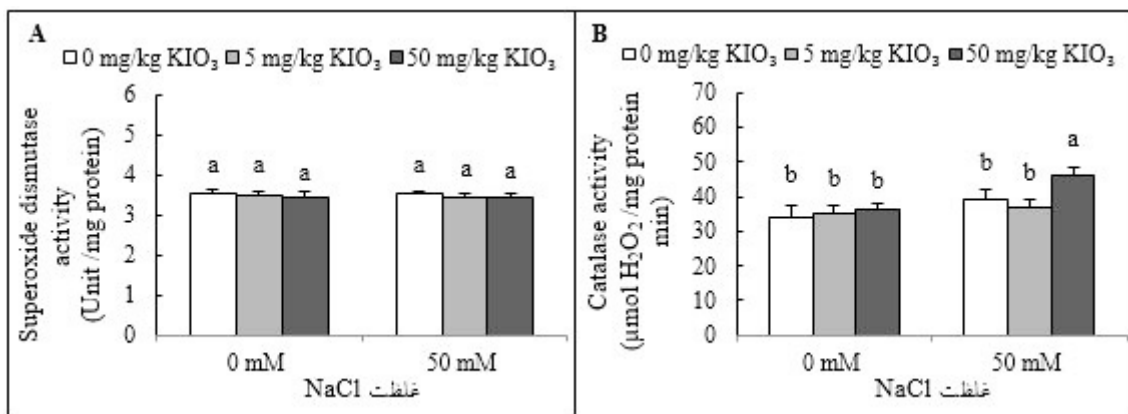
بحث

اثر شوری و پتاسیم یدات بر تنظیم اسمزی گیاه: براساس گزارش Sheteawi (۲۰۰۷) در گیاه لوبیا و پژوهش‌های Eleiwa و همکاران (۲۰۱۱) در گیاه گندم، تیمار شوری پروتئین محلول را کاهش داد. در تطابق با یافته‌های بالا، تیمار شوری کاهش پروتئین محلول را در توت‌فرنگی باعث شد؛ هرچند کاربرد خاکی پتاسیم یدات در شرایط شوری، افزایش پروتئین محلول را سبب شد و تأثیر شوری بر کاهش پروتئین محلول را کاهش داد.

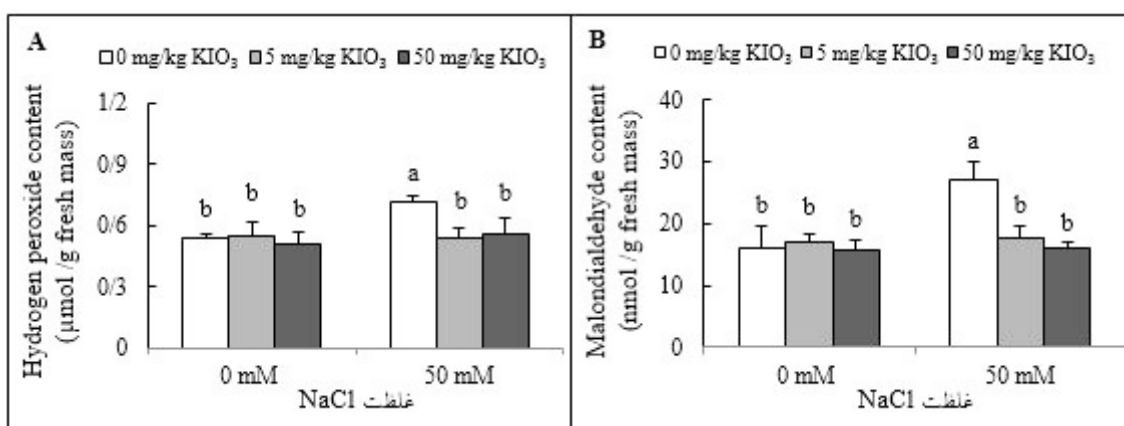
اثر شوری و پتاسیم یدات بر متابولیسم فنلی: شوری به‌تنهایی بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز و غلظت فنل کل و فلاونوئید برگ‌های توت‌فرنگی اثر نداشت؛ ولی تیمار کاربرد خاکی پتاسیم یدات ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش معنی‌دار غلظت فنل کل را نسبت به شاهد سبب شد (شکل ۶). کاربرد خاکی پتاسیم یدات ۵۰ میلی‌گرم



شکل ۶- تأثیر کاربرد خاکی پتاسیم یدات بر غلظت فنل کل (A)، غلظت فلاونوئید (B) و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز (C) برگ‌های توت‌فرنگی در تنش شوری-مقادیر، میانگین ۴ تکرار \pm انحراف معیار هستند. حروف متفاوت بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ هستند.



شکل ۷- تأثیر کاربرد خاکی پتاسیم یدات بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (A) و کاتالاز (B) برگ‌های توت‌فرنگی در تنش شوری- مقادیر، میانگین ۴ تکرار \pm انحراف معیار هستند. حروف متفاوت بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ هستند.



شکل ۸- تأثیر کاربرد خاکی پتاسیم یدات بر غلظت هیدروژن پراکسید (A) و مالون‌دی‌آلدهید (B) برگ‌های توت‌فرنگی در تنش شوری- مقادیر، میانگین ۴ تکرار \pm انحراف معیار هستند. حروف متفاوت بیان‌کننده تفاوت معنی‌دار در سطح $P < 0.05$ هستند.

می‌شود؛ هرچند در این بررسی تنها کاربرد خاکی یدات با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک افزایش معنی‌دار انباشت قندهای محلول را باعث شد؛ درحالی‌که یدات با غلظت ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک چنین اثری نداشت.

اثر شوری و پتاسیم یدات بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل: گذار فلورسانس از سطح I به سطح P نتیجه احیای جایگاه گیرنده الکترون فتوسیستم I است (Kalaji *et al.*, 2011). با اعمال شوری، نمودار فلورسانس برگ‌های توت‌فرنگی

انباشت قندهای محلول در تنش شوری که نقش محافظه‌ای اسمزی را دارند، در تنظیم اسمزی گیاه اهمیت دارد؛ به طوری که بین میزان تحمل گیاه به شوری و انباشت قندهای محلول همبستگی مثبت وجود دارد (Eleiwa *et al.*, 2011). افزایش انباشت قندهای محلول بر اثر تیمار پتاسیم یدات در پژوهش حاضر با نتایج پژوهش Smolen و همکاران (۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) انطباق داشت. آنها نشان دادند کاربرد خاکی پتاسیم یدات افزایش معنی‌دار انباشت قندهای محلول را در گیاه هویج موجب

آزمایش حاضر تیمار هم‌زمان پتاسیم یدات با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و شوری افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز برگ‌های توت‌فرنگی را باعث شد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج Gupta و همکاران (۲۰۱۵) در گیاه سویا و همچنین نتایج Blasco و همکاران (۲۰۱۱ و ۲۰۱۳) در گیاه کاهو انطباق داشتند. Gupta و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی بر سویای رشدیافته در ظروف حاوی خاک و کمپوست مشخص کردند پتاسیم یدات فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز را افزایش می‌دهد. Blasco و همکاران (۲۰۱۱ و ۲۰۱۳) با بررسی تأثیر ید بر متابولیسم آنتی‌اکسیدانی کاهوی کشت‌شده در محیط هیدروپونیک نشان دادند استفاده از این عنصر انباشته‌شدن فنل‌ها، آسکوربیک اسید و همچنین افزایش پتانسیل آنتی‌اکسیدان را موجب می‌شود.

براساس گزارش Kim و همکاران (۲۰۰۸) در گیاه کاهو، تیمار کوتاه‌مدت شوری افزایش انباشت فنل‌ها را سبب شد؛ هرچند در این بررسی، تیمار شوری تغییری در فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز که آنزیم کلیدی بیوستتاز فنل‌ها است و غلظت فلاونوئید و فنل کل ایجاد نکرد. باوجود افزایش نیافتن فنل‌ها پس از اعمال خاکی غلظت زیاد پتاسیم یدات (۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) در شرایط شوری، کاهش پراکسیداسیون لیپید در تیمار هم‌زمان شوری و پتاسیم یدات مشاهده شد؛ به‌عبارت‌دیگر این نتایج نشان می‌دهند، هرچند افزایش فنل‌ها در افزایش توان آنتی‌اکسیدان مؤثر است (Blasco et al., 2011, 2013) ولی باید

شکلی مسطح‌تر نشان داد و شدت فلورسانس در فاز I-P کاهش شدیدی یافت. کاهش فاز I-P که با کاهش شدت فلورسانس بیشینه (F_m) ارتباط دارد و نشان‌دهنده غیرفعال‌شدن پروتئین‌ها در ساختار فتوسیستم II است (Hazrati et al., 2016; Habibi, 2017)، در همه برگ‌های توت در پاسخ به شوری مشاهده شد. مقدار زیاد شاخص PI_{abs} در برگ‌های شوری‌دیده تیمار شده با یدات نسبت به برگ‌های شوری‌دیده تیمار نشده با یدات نشان داد کاربرد یدات ظرفیت فتوستتزی را در برگ‌های شوری‌دیده حفظ کرد. همچنین بررسی جزئی‌تر اثر شوری و پتاسیم یدات بر سایر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل نشان داد علت کاهش شاخص کارایی فتوسیستم‌ها در شرایط شوری، کاهش کارایی فعالیت کمپلکس آزادکننده اکسیژن (F_v/F_0) و عملکرد کوانتومی انتقال الکترون (ϕE_0) در برگ‌های توت‌فرنگی بود. از سوی دیگر، کاهش آثار شوری بر نمودار فلورسانس با کاربرد خاکی یدات با غلظت‌های ۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک با کاهش پراکسیداسیون لیپیدها با کاربرد خاکی یدات در همان غلظت‌ها هم‌خوانی داشت؛ بنابراین، کاربرد یدات با تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان گیاه و جاروب کردن رادیکال‌های آزاد حاصل از شوری، از پراکسیداسیون لیپیدهای غشاهای فتوستتزی جلوگیری کرد و تأثیر منفی شوری بر کارایی فتوسیستم‌ها را کاهش داد.

اثر شوری و پتاسیم یدات بر پتانسیل آنتی‌اکسیدانی و متابولیسم فنلی: تأثیر ید بر پتانسیل آنتی‌اکسیدانی برخی گونه‌های گیاهی، به منابع ید، غلظت و نوع کاربرد آن بستگی دارد. در

همکاری در تهیه و انتقال گیاهان سپاسگزاری می‌کنند.

منابع

- Blasco, B., Leyva, R., Romero, L. and 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. and Romero, L. (2011) Does iodine biofortification affect oxidative metabolism in lettuce plants? *Biological Trace Element Research* 142(3): 831-842.
- Boominathan, R. and 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. and Zheng, Y. (2013) Sugar metabolism in relation to chilling tolerance of loquat fruit. *Food Chemistry* 136(1): 139-143.
- Eleiwa, M. E., Bafeel, S. O. and 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.
- Fazeli, A., Zarei, B. and Tahmasebi, Z. (2018) The effect of salinity stress and salicylic acid on some physiological and biochemical traits of Black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Plant Biology* 9(4): 69-84 (in Persian).
- Giannopolitis, C. N. and Ries, S. K. (1977) Superoxide dismutase: occurrence in higher plants. *Plant Physiology* 59: 309-314.

توجه داشت که در کنار افزایش فنل‌ها، فعال شدن سایر اجزاء سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان شامل متابولیت‌های آنتی‌اکسیدان و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و نیز سازگاری در هومئوستازی یون‌های مهم سدیم و پتاسیم در ساقه و ریشه برای افزایش مقاومت در برابر شوری نیاز است. کاربرد خاکی یدات در هردو غلظت ۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک کاهش مقدار انباشت هیدروژن پراکسید و همچنین مالون‌دی‌آلدهید و در نتیجه کاهش آثار مخرب شوری را باعث شد.

جمع‌بندی

نتایج نشان دادند کاربرد خاکی یدات با غلظت‌های ۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بر کاهش آثار شوری بر واکنش‌های فتوشیمیایی مؤثر بود. کاربرد این تیمارها همچنین با افزایش قند محلول، فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدان توقف افزایش مالون‌دی‌آلدهید حاصل از شوری را سبب شد. با کاهش هیدروژن پراکسید و مالون‌دی‌آلدهید به دنبال کاربرد یدات، آسیب شوری بر ظرفیت فتوستزی و سنتز پروتئین کاهش یافت و ظرفیت فتوشیمیایی فتوسیستم‌ها در شرایط شوری حفظ شد. افزون بر فواید یادشده عنصر ید برای کاهش تنش شوری، کاربرد این عنصر غنی‌شدن توت‌فرنگی را از پتاسیم یدات و ترکیبات فنلی باعث می‌شود و بر کیفیت غذایی این میوه می‌افزاید.

سپاسگزاری

نگارندگان از خانم دکتر سهیلا صمدی عضو علمی گروه زیست‌شناسی دانشگاه پیام نور بابت

- Gupta, N., Bajpai, M., Majumdar, R. and 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. (2017) Physiological, photochemical and ionic responses of sunflower seedlings to exogenous selenium supply under salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 39(10): 213-222.
- Hasanuzzaman, M. and Fujita, M. (2011) Selenium pretreatment up-regulates the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system and confers enhanced tolerance to drought stress in rapeseed seedlings. *Biological Trace Element Research* 143: 1758-1776.
- Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mokhtassi-Bidgoli, A. and 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.
- Johnson, C. M., Stout, P. R., Broyer, T. C. and Carlton, A. B. (1957) Comparative chlorine requirements of different plant species. *Plant Soil* 8: 337-353.
- Kalaji, H. M., Bosa, K., Kościelniak, J. and Żuk-Gołaszewska, K. (2011) Effects of salt stress on photosystem II efficiency and CO₂ assimilation of two Syrian barley landraces. *Environmental and Experimental Botany* 73: 64-72.
- Karlidag, H., Yildirim, E. and Turan, M. (2009) Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Agricola* 66(2): 180-187.
- Kim, H. J., Fonseca, J. M., Choi, J. H., Kubota, C. and 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: 3772-3776.
- Lawson, P. G., Daum, D., Czauderna, R., Meuser, H. and Härtling, J. W. (2015) Soil versus foliar iodine fertilization as a biofortification strategy for field-grown vegetables. *Frontiers in Plant Science* 6: 450-462.
- Leyva, R., Sánchez-Rodríguez, E., Ríos, J. J., Rubio-Wilhelmi, M. M., Romero, L., Ruiz, J. M. and 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. and 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. and 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.
- Mosleh Arany, A., Rafiei, A., Tabande, A. and Azimzadeh, H. (2018) Morphological and physiological responses of root and leave in *Gleditschia caspica* to salinity stress. *Iranian Journal of Plant Biology* 9(4): 1-12 (in Persian).
- Munns, R., James, R. A. and Läuchli, A. (2006) Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany* 57(5): 1025-1043.
- 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.

- Simon, L. M., Fatrai, Z., Jonas, D. E. and Matkovics, B. (1974) Study of peroxide metabolism enzymes during the development of *Phaseolus vulgaris*. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen* 166(5-6): 387-392.
- Smolen, S., Sady, W., Ledwożyw-Smoleń, I., Strzetelski, P., Liszka-Skoczylas, M. and Rożek, S. (2014) Quality of fresh and stored carrots depending on iodine and nitrogen fertilization. *Food Chemistry* 159: 16-322.
- Smolen, S., Wierzbińska, J., Sady, W., Kołton, A., Wiszniewska, A. and 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.
- Strasser, B. J. and Strasser, R. J. (1995) Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test. In: *Photosynthesis: From light to biosphere* (Ed. Mathis, P.) 977-980. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M. and Srivastava, A. (2004) Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: *Chlorophyll a fluorescence: A signature of photosynthesis* (Ed. Papageorgiou, G. C.) 321-362. Springer, Dordrecht.
- Voogt, W. and Jackson, W. A. (2010) Perchlorate, nitrate and iodine uptake and distribution in lettuce (*Lactuca sativa* L.) and potential impact on background levels in humans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 12192-12198.
- White, P. J. and Broadley, M. R. (2009) Biofortification of crops with seven Mineral elements often lacking in human diets-iron, zinc, copper, calcium, Magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist* 182: 49-84.
- Zucker, M. (1965) Induction of phenylalanine deaminase by light, its relation to chlorogenic acid synthesis in potato tuber tissue. *Physiologia Plantarum* 40: 779-784.

