

تخفیف تنش شوری توسط ید در دو رقم انگور

قادر حبیبی^{*}، لیلا باقرزاده، سمیه سروری

گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران

چکیده

کاربرد عنصر ید به شکل نمک یدات می تواند باعث تخفیف اثرات مضر تنش شوری در گیاهان شود. هدف اصلی این پژوهش، تعیین اثرات تخفیفی کاربرد برگی ید (۸۰ میکرو مولار یدات پتاسیم) تحت تنش شوری ($EC=10 \text{ dS m}^{-1}$) در دو رقم انگور (شامل «بیدانه سفید» و «حسینی») رشد یافته در شرایط مزرعه بود. اعمال شوری در هر دو رقم باعث افت معنی دار وزن تر و خشک برگ ها، مقدار نسبی آب برگ ها و افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی نسبت به شاهد گردید. محلول پاشی برگی یدات پتاسیم در برگ های درختان تحت تنش شوری رقم «بیدانه سفید» توانست اثرات مضر شوری بر وزن تر و خشک برگ ها را تخفیف دهد، ولی در رقم «حسینی» نتوانست. شوری باعث افزایش غلظت سدیم برگ ها نسبت به شاهد شد ولی کاربرد یدات پتاسیم در شرایط شوری در رقم «بیدانه سفید» از طریق کاهش سدیم کل و افزایش اتصال آن به دیواره باعث کاهش میزان سمیت سدیم گردید. هم چنین کاربرد یدات پتاسیم به ویژه در شرایط شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز و در نتیجه افزایش غلظت فنل ها (به عنوان ترکیبات موثر در تخفیف شوری) در هر دو رقم و افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیس موتاز در رقم «بیدانه سفید» شد. بنابراین کاربرد یدات به ویژه در رقم «بیدانه سفید» از طریق بهبود روابط آبی، کاهش جذب و انتقال سدیم به اندام هوایی، تشدید انباشت آمینواسیدها، تحریک دفاع آنتی اکسیداتیو و حفظ تمامیت غشا ها موجب تخفیف تنش شوری گردید.

واژه های کلیدی: آنزیم های آنتی اکسیداتیو، سدیم، شوری، متابولیسم فنل ها، یدات، *Vitis vinifera*

مقدمه

کشاورزی جهانی در آینده با دو چالش مهم مواجه خواهد شد، از یک طرف پیش بینی می شود که جمعیت دنیا در سال ۲۰۵۰ حدود ۲/۳ میلیارد نفر افزایش یابد که برای تأمین غذای این تعداد، تولیدات کشاورزی بایستی به ۱/۷ برابر تولیدات امروزی برسد و از طرف دیگر زمین های کشاورزی در معرض تغییرات آب و هوایی کره زمین [۱۴] خواهند بود. بهره وری پایین گیاهان زراعی در بسیاری از موارد، به تنش های محیطی نسبت داده می شود. در بسیاری از نقاط دنیا، گیاهان اغلب با تنش های غیر زیستی مانند شوری، خشکی، بالا و یا پایین

بودن دما، مسمومیت با فلزات، ازن، پرتو فرابنفش و علف کش ها مواجه اند که تهدید جدی برای تولید گیاهان محسوب می شوند [۱].

شوری یکی از مهم ترین عوامل تنش زای محدود کننده بهره وری گیاهان زراعی است. بخش قابل توجهی از زمین های کشاورزی در جهان تحت تأثیر شوری قرار دارند و سرعت گسترش شوری حدود ۱/۵ میلیون هکتار در هر سال تخمین زده می شود [۲۳]. شناسائی روش هایی که موجب تخفیف اثر تنش شوری شده و تا حد ممکن از افت عملکرد گیاهان

ید مورد توجه قرار گرفته است، در تحقیق حاضر نیز فرضیه دخالت انباشت فنل‌ها در سازوکار تخفیف تنش شوری توسط ید، مورد آزمون قرار خواهد گرفت.

انگور گیاهی نسبتاً مقاوم به شوری محسوب می‌شود و در اغلب نقاط شمال غرب ایران به وفور کشت می‌گردد. با جدی‌تر شدن مشکل کم‌آبی دریاچه ارومیه و خشکی حوضه‌های آبریز آن، شوری حاصل از کم‌آبی در خاک‌های سطحی این مناطق افزایش یافته است. بنابراین افزایش تحمل شوری ارقام انگور مورد کشت در این نقاط، حداقل از طریق اعمال محافظت کننده‌های بیرونی، بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد. درباره تاثیر تیمار ید در گیاه انگور تحت تنش شوری تحقیقی انجام نگرفته است. هدف این بررسی مطالعه سازوکارهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی اثر ید در تخفیف تنش شوری است که با بررسی تغییر در غلظت آمینواسید کل، مقدار نسبی آب، هومئوستازی یون‌های سدیم و پتاسیم، توان سیستم آنتی اکسیداتیو و متابولیسم فنل‌ها مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. این‌که آیا مجموعه تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی فوق پس از کاربرد ید می‌تواند باعث افزایش تحمل تنش شوری شود و این‌که آیا تفاوت‌های بین رقمی از این نظر وجود دارد، فرضیه مهم مورد آزمون در این آزمایش خواهد بود.

مواد و روش‌ها

قلمه‌هایی با ۵ جوانه برگی از گیاهان انگور (*Vitis vinifera*) رقم‌های «بیدانه سفید» و «حسینی» ۴ ساله هر کدام به تعداد ۴۰ عدد در اواخر بهمن ماه ۱۳۹۲ جدا شده و در آزمایشگاه بر روی ماسه مرطوب برای ریشه‌زایی کشت شدند. در اواسط اردیبهشت ماه ۱۳۹۳ قلمه‌های ریشه داده به گلدان‌های حاوی خاک انتقال یافتند. گلدان‌ها دارای خاک ماسه‌ای لومی با $pH=7/83 \pm 0/61$ و $EC=2/03 \pm 0/18$ دسی زیمنس بر متر (dS m^{-1}) بودند. گلدان‌ها به شرایط مزرعه‌ای (طول جغرافیایی 26° درجه و 6° دقیقه شرقی و عرض 36° درجه و 58° دقیقه شمالی با ارتفاع 1314 متر از سطح دریا) انتقال یافته و گیاهان در شدت نور 850 ± 50 میکرومول/مترمربع/ثانیه، دوره 14 ± 2 ساعت روشنایی و 10 ± 1 ساعت تاریکی، رطوبت روز 70 ± 5 و شب 75 ± 3 درصد و دمای روز $24 \pm 4/4$ و شب 18 ± 3 درجه سانتی‌گراد رشد داده شدند. متوسط بارندگی در این منطقه 275 میلی‌متر بود. پس از سه ماه، نمک به شکل کلرید سدیم به

جلوگیری نمایند، می‌تواند یکی از روش‌های مقابله با این معضل باشد [۲۴].

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 به طور کامل شناخته نشده و تلاش برای بهبود عملکرد در شرایط تنش شوری، به دلیل منشاء چند ژنی پاسخ‌های سازگاری، تا حد زیادی ناموفق بوده است. با این حال، یافتن و معرفی تخفیف دهنده‌های تنش یکی از وظایف زیست‌شناسان گیاهی است. در دهه‌های اخیر اثر تخفیف دهنده‌های مهمی از جمله ترکیبات سازگار اسمزی (پرولین، گلايسين بتائين و تره‌هالوز)، هورمون‌های گیاهی (اسید جیبرلیک، جاسمونیک اسید، براسینوسترئوئیدها و سالیسیلیک اسید)، آنتی‌اکسیدان‌ها (اسید آسکوربیک، گلوکاتیون و توکوفرول)، مولکول‌های علامت‌دهنده (نیتریک اکسید 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 [۹ و ۱۶]. کاربرد برون‌زای سلنیم و سیلیکون از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز، افزایش غلظت رنگیزه‌های برگ، افزایش فتوسنتز خالص و جذب پتاسیم و کاهش جذب سدیم موجب افزایش تحمل تنش شوری می‌شوند [۱۴].

گزارش‌ها در مورد تأثیر کاربرد ید بر روی پاسخ گیاه به تنش شوری بسیار نادر است [۲۱]. تأثیر کاربرد ید در تخفیف تنش شوری در گیاه کاهو [۴ و ۲۱] مورد مطالعه قرار گرفته است. لیوا و همکاران [۲۱] نشان داده‌اند که کاربرد ید از طریق افزایش غلظت قندهای محلول، کاهش غلظت سدیم و کلر اندام هوایی و افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیس موتاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتیون ردوکتاز موجب افزایش تحمل تنش شوری شده است.

ترکیبات فنلی متابولیت‌های غنی از کربن و به عنوان گروه بزرگی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند. همچنین این ترکیبات جزء آنتی‌اکسیدان‌ها محسوب شده و در شرایط تنش‌های غیر زیستی ممکن است در جاروب کردن رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن نقش ایفا کنند [۸]. با توجه به اینکه نقش افزایش توان سیستم آنتی‌اکسیداتیو و تحریک متابولیسم فنل‌ها [۳] در سازوکار تخفیف تنش شوری توسط

خاک گلدان‌ها به روش حاجی بلند و همکاران [۱۲] اضافه شد و EC نمونه‌های تیمار شوری با EC متر بر روی ۱۰ تنظیم گردید. گلدان‌ها به دو گروه شاهد ($EC=2 \text{ dS m}^{-1}$) و شوری ($EC=10 \text{ dS m}^{-1}$) تقسیم شدند. هم‌زمان ید به شکل یدات پتاسیم (KIO_3) در غلظت ۸۰ میکرومولار محلول پاشی شد در حالی‌که نمونه‌های شاهد با آب محلول پاشی شدند. محلول پاشی برگ‌ها یک هفته بعد تکرار شد و در نهایت پس از گذشت شش هفته پس از اولین کاربرد برگ‌ها، نمونه‌های برگ برای اندازه‌گیری وزن (میانگین وزن یک برگ در هر تیمار حاصل توزین دومین، سومین و چهارمین برگ در هر یک از شش تکرار مستقل) برداشت شده و جهت سنجش فعالیت آنزیم‌ها و متابولیت‌ها بلافاصله به ازت مایع انتقال یافتند.

اندازه‌گیری مقدار نسبی آب (RWC)

مقدار نسبی آب برگ‌ها با استفاده از وزن تر (FW)، وزن خشک (DW) و وزن اشباع (SW) و بر اساس رابطه $RWC=100 \times (FW-DW)/(SW-DW)$ بدست آمد [۱۹]. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند، سپس وزن آن‌ها تعیین گردید.

سنجش آمینواسیدهای آزاد

برای سنجش غلظت کل آمینواسیدهای آزاد، نمونه‌ها در بافر فسفات ۵۰ میلی مولار ($pH=6.8$) همگن و استخراج شده و بعد از سانتریفوژ به مدت ۲۰ دقیقه در ۳۰۰۰ g بر روی نمونه های روشنای معرف نین‌هیدرین (محلول ۱:۵ رقیق شده از ۳۵۰ میلی گرم نین‌هیدرین در ۱۰۰ میلی لیتر اتانل) اضافه گردید و ۷-۴ دقیقه در حمام آب با دمای ۷۰-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از سرد شدن در حمام آب، جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۷۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (مدل UV-VIS Scanning UV-3100PC ساخت تایلند) قرائت شد. از غلظت‌های مختلف گلیسین برای ترسیم منحنی استاندارد استفاده گردید [۱۵].

سنجش فعالیت آنزیم‌ها

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) بر اساس درصد ممانعت از احیاء نیتروبلوترازولیوم (NBT) به ترکیب ارغوانی رنگ دی‌فورمازان بوسیله رادیکال سوپراکسید ($O_2^{\cdot-}$) حاصل از فتولیز ریپوفلاوین، توسط آنزیم موجود در عصاره مورد اندازه گیری قرار گرفت [۱۰]. نمونه ها بلافاصله پس از برداشت در ازت مایع، پودر شده و عصاره آنزیمی در بافر ۲۵ mM از

هیدروکسی اتیل پیرازین اتان سولفونیک اسید (HEPES) با $pH=7.8$ و حاوی اتیلن دی آمین تترااستیک اسید (EDTA) با غلظت ۰/۱ mM استخراج شد. عصاره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۵۰۰۰ g سانتریفوژ شده و روشنای برای سنجش فعالیت مورد استفاده قرار گرفت. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره به یک میلی لیتر از محلول واکنشی شامل ۲۵ mM HEPES، $pH=7.6$ ، ۰/۱ mM EDTA، ۵۰ mM Na_2CO_3 ($pH=10.2$)، ۱۲ mM L-متیونین، ۷۵ μM NBT و ۱ μM ریپوفلاوین اضافه شده و مخلوط حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در شدت نور تقریباً ۸۰۰۰ لوکس به منظور انجام واکنش قرار گرفت. برای تهیه نمونه‌های شاهد، مخلوط فوق بدون افزودن عصاره آنزیمی تهیه گردید و جذب نمونه‌ها در ۵۶۰ nm توسط اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. یک واحد فعالیت آنزیم بر اساس غلظت پروتئین آنزیمی لازم برای القاء ۵۰ درصد ممانعت از احیاء NBT در مقایسه با نمونه های شاهد بدون عصاره آنزیمی محاسبه شده و به صورت واحد/ میلی گرم پروتئین بیان گردید. فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) مطابق روش سایمون و همکاران [۳۰] و بر اساس کاهش جذب پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در ۲۴۰ nm مورد اندازه گیری قرار گرفت. عصاره آنزیمی پس از پودر شدن نمونه‌ها در ازت مایع، در بافر فسفات با غلظت ۵۰ mM و $pH=7$ استخراج شده و به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ g سانتریفوژ گردید. برای سنجش فعالیت آنزیم غلظت مناسبی از عصاره به محلول واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ mM ($pH=7$) و ۱۰ mM H_2O_2 افزوده شده و تغییرات جذب به مدت دو دقیقه توسط اسپکتروفتومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در نهایت فعالیت آنزیم بر اساس ضریب خاموشی H_2O_2 ($\text{mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) بر حسب میکرومول پراکسید هیدروژن/ میلی گرم پروتئین/ دقیقه محاسبه گردید.

سنجش متابولیت‌های مرتبط با دفاع آنتی اکسیداتیو

سنجش مالون دی آلدئید (MDA) به عنوان معیاری برای بررسی میزان پراکسیداسیون لیپیدها بر اساس روش بومیناتان و دوران [۶] صورت گرفت. عصاره برگ در محلول ۰/۱ (w/v) تری کلرواستیک اسید (TCA) استخراج شده و به مدت پنج دقیقه در ۱۰۰۰۰ g سانتریفوژ گردید. نسبت ۱ به ۴ از روشنای با محلول ۲۰٪ از TCA حاوی ۰/۵٪ تیوباریتوریک اسید در لوله آزمایش با هم مخلوط شده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس لوله

۳۰ دقیقه جوشانده شد و با استفاده از کاغذ واتمن شماره ۴۲ صاف گردید. غلظت 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 قرار دادن 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 اسید گالیک به دست آمد. این سنجش برای هر عصاره ۴ بار تکرار شد و میانگین فنل کل موجود در عصاره تیمارها به صورت میلی گرم اسید گالیک در گرم بافت بیان گردید.

اندازه‌گیری پروتئین کل

عصاره پروتئینی در بافر فسفات سدیم با غلظت ۵۰ mM و pH=۶/۸ استخراج شده و به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ g سانتریفوژ شد. از روشناور حاصل برای سنجش پروتئین کل به روش برادفورد [۷] استفاده به عمل آمد.

سنجش عناصر

برای سنجش عناصر ابتدا یک گرم از نمونه‌های خشک شده در ۵ ml مخلوط اسید نیتریک و اسید پرکلریک غلیظ (با نسبت حجمی ۴:۱) و در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت هضم شدند. پس از خنک شدن، ۵ ml اسید کلریدریک غلیظ اضافه شده و به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۱۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. پس از هضم نمونه‌ها و خنک سازی در دمای آزمایشگاه، عصاره‌ها به لوله‌های ۵۰ میلی‌لیتری انتقال و با آب مقطر دو بار تقطیر به حجم رسانده شدند و محلول‌های به‌دست آمده برای تعیین سدیم و پتاسیم با استفاده از اسپکترومتر نشر اتمی (ICP-OES spectrometer Integra XL₂, GBC مورد استفاده قرار گرفتند.

جداسازی دیواره و تعیین غلظت سدیم آزاد و سدیم متصل به دیواره

جداسازی دیواره سلول‌ها بر اساس روش ساجیب و همکاران [۲۸] انجام شد. قطعات برگ پس از استخراج در ساکاروز ۰/۴ مولار به مدت ۱۰ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد و ۷۰۰ سانتریفوژ شدند. رسوب به‌دست آمده به ترتیب توسط ۰/۴، ۰/۶ و یک مولار ساکارز به همراه ۰/۱ درصد تریتون X-100 و در نهایت توسط آب مقطر شستشو داده شدند. محلول حاصل از شستشو برای تعیین سدیم آزاد به کار رفت. دیواره‌های سلولی جدا شده پس از شستشو توسط کلرید کلسیم ۵۰

ها به سرعت در یخ سرد شده و به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ g سانتریفوژ شدند. هم‌زمان با عصاره برگ، محلول‌های استاندارد در محدوده صفر تا ۱۰۰ نانومول از ۱،۳،۳-تترا اتوکسی پروپان تهیه شده و جذب نمونه‌ها در ۵۳۲ nm توسط اسپکتروفتومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در نهایت غلظت مالون دی آلدئید نمونه‌ها بر حسب نانومول/ گرم وزن ترمحاسبه شد. غلظت پراکسید هیدروژن (H₂O₂) بر اساس روش ولی کوا و همکاران [۳۳] به دست آمد. استخراج برگ‌ها در تری کلرواستیک اسید (۱/۰ درصد وزنی به حجمی) انجام گرفت. عصاره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ g سانتریفوژ شده و ۵۰۰ میکرولیتر از روشناور به یک میلی لیتر از محلول واکنشی شامل ۱۰ میلی مولار بافر فسفات پتاسیم (pH=۷) و یک مولار یدید پتاسیم اضافه شده و مخلوط حاصل به مدت ۶۰ دقیقه در تاریکی به منظور انجام واکنش قرار گرفت. جذب نمونه‌ها در ۳۹۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. مقادیر بر اساس منحنی استاندارد H₂O₂ در محدوده صفر تا ۵۰ نانومول محاسبه شد.

سنجش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لایاز

فعالیت فنیل آلانین آمونیا لایاز (PAL) مطابق روش زوکر [۳۵] مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. ابتدا عصاره آنزیمی در بافر mM ۵۰ بافر فسفات سدیم با pH=۷/۸ و حاوی اتیلن دی‌آمین تترااستیک اسید (EDTA) با غلظت ۲ mM، ۱۸ mM مرکاپتواتانول و ۰/۱ درصد تریتون X-100 استخراج شد. عصاره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۵۰۰۰ g سانتریفوژ شده و روشناور برای سنجش فعالیت مورد استفاده قرار گرفت. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره به یک میلی‌لیتر از محلول واکنشی شامل mM ۵۰ بافر سدیم بورات (pH=۸/۸) و L-۵ mM فنیل آلانین 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 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 می باشد، از روش معرف فنلی فولین سیوکالتو [۲۲] برای سنجش فنل کل استفاده شد. برای این منظور ۵ گرم برگ پس از پودر شدن توسط هاون در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر به مدت

میلی مولار و اسید کلریدریک ۰/۵ میلی مولار در دمای ۷۰ درجه خشک شدند و در نهایت توسط اسید نیتریک ۵ مولار هضم شده و برای تعیین سدیم متصل به دیواره توسط اسپکترومتر نشر اتمی مورد استفاده قرار گرفتند.

طرح آزمایشی و تجزیه داده‌ها

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با کمک نرم افزار سیگما استات (نسخه ۳/۵) با استفاده از تست توکی در سطح پنج درصد انجام گردید. مقایسه میانگین رقم‌های انگور جداگانه انجام شد.

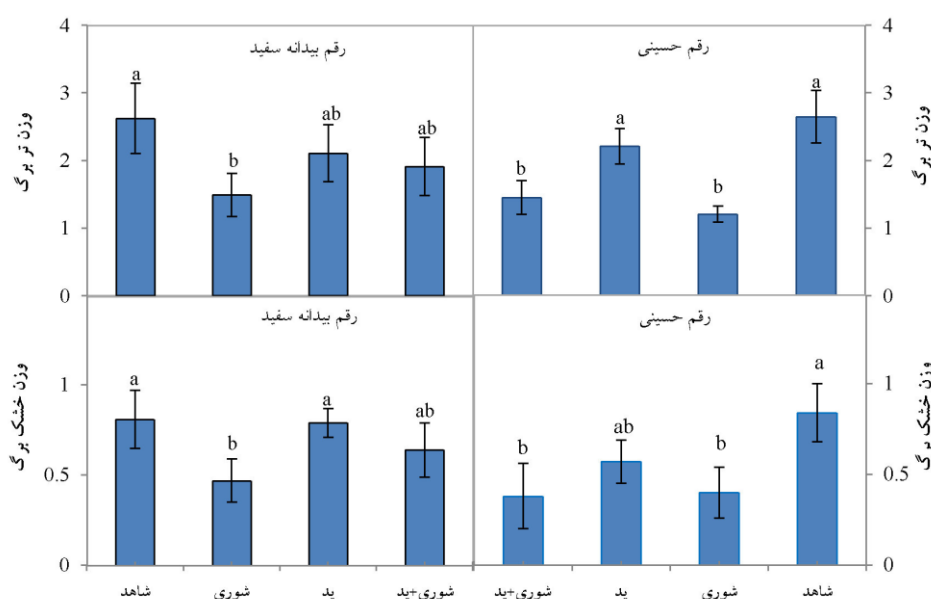
نتایج

شوری باعث افت معنی‌دار وزن تر و وزن خشک برگ‌ها نسبت به برگ‌های شاهد شد (شکل ۱). یdates پتاسیم به تنهایی اثری بر وزن تر و خشک برگ‌های این رقم نداشت. محلول پاشی برگ‌ی dates پتاسیم از افت وزن تر و خشک برگ‌های درختان تحت تنش شوری رقم «بیدانه سفید» ممانعت کرده به طوری که وزن تر و خشک برگ‌های تیمار توأم شوری و

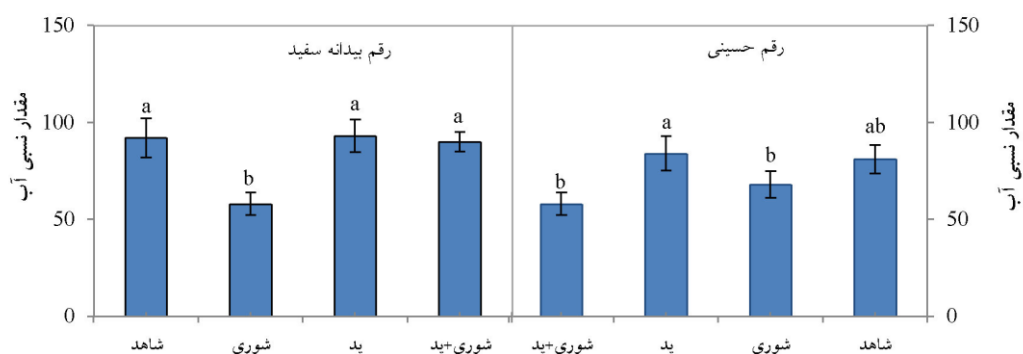
یدات پتاسیم با وزن برگ‌های شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت. اعمال شوری در رقم «حسینی» باعث افت معنی‌دار وزن تر و خشک برگ‌ها نسبت به شاهد گردید ولی بر خلاف «بیدانه سفید» که اعمال یdates پتاسیم در تیمار شوری از افت رشد ممانعت کرده بود، این تیمار در این رقم نتوانست اثر مضر شوری بر رشد را تخفیف دهد. در این رقم نیز یdates پتاسیم به تنهایی اثری بر وزن تر و خشک برگ‌ها نداشت.

تیمار شوری باعث افت قابل ملاحظه مقدار نسبی آب در هر دو رقم گردید که با کاهش وزن تر برگ‌ها همبستگی داشت. کاربرد یdates پتاسیم در تیمار شوری در رقم «بیدانه سفید» اثر مضر شوری در کاهش مقدار نسبی آب برگ‌ها را تخفیف داد، به طوری که درصد مقدار نسبی آب این تیمار با شاهد از نظر آماری متفاوت نبود (شکل ۲).

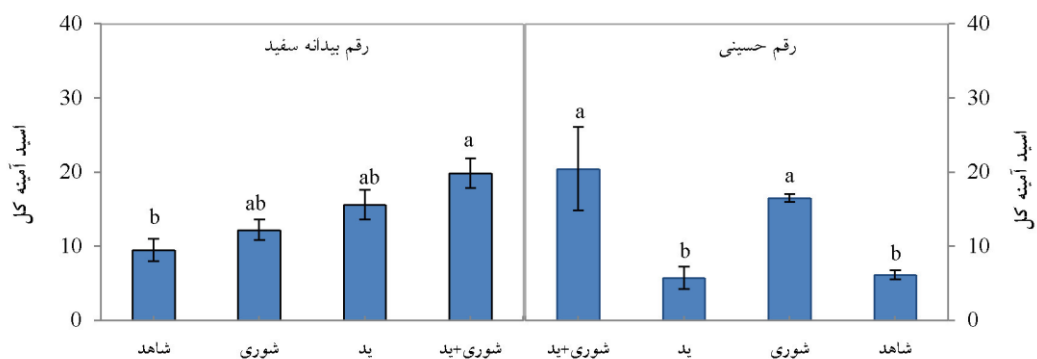
شوری باعث افزایش غلظت آمینواسید کل در هر دو رقم شد، هر چند این افزایش تنها در مورد رقم «حسینی» معنی‌دار بود. بیشترین غلظت آمینواسید کل در رقم «بیدانه سفید» در تیمار توأم شوری و یdates پتاسیم به دست آمد (شکل ۳).



شکل ۱ وزن تر و خشک برگ‌ها (گرم/برگ) در گیاه انگور رقم‌های «بیدانه سفید» و «حسینی» که در شرایط شاهد ($EC=2 \text{ dS m}^{-1}$) و شوری ($EC=10 \text{ dS m}^{-1}$) در غیاب (محلول پاشی با آب مقطر) و یا در حضور ید (محلول پاشی با ۸۰ میکرو مولار یdates پتاسیم) به مدت شش هفته رشد کرده‌اند. تفاوت مابین ستون‌های مربوط به هر شکل که دارای حروف مشترک می‌باشند، از نظر آماری معنی دار نمی‌باشد ($p \leq 0.05$ و $n=6$).



شکل ۲ مقدار نسبی آب برگ (درصد) در گیاه انگور رقم‌های «سفید» و «حسینی» که در شرایط شاهد ($EC=2 \text{ dS m}^{-1}$) و شوری ($EC=10 \text{ dS m}^{-1}$) در غیاب (محلول پاشی با آب مقطر) و یا در حضور یدات پتاسیم (محلول پاشی با ۸۰ میکرو مولار) به مدت شش هفته رشد کرده‌اند. تفاوت مابین ستون‌های مربوط به هر شکل که دارای حروف مشترک می‌باشند، از نظر آماری معنی دار نمی‌باشد ($p \leq 0.05$ و $n=4$).



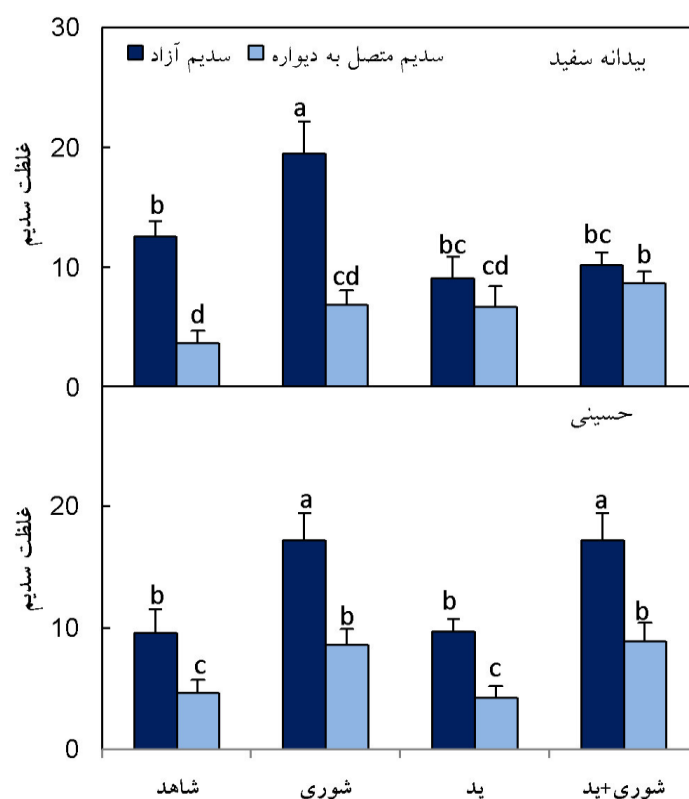
شکل ۳ غلظت اسید آمینه کل (میکرومول/ گرم وزن تر) در گیاه انگور رقم‌های «سفید» و «حسینی» که در شرایط شاهد ($EC=2 \text{ dS m}^{-1}$) و شوری ($EC=10 \text{ dS m}^{-1}$) در غیاب (محلول پاشی با آب مقطر) و یا در حضور یدات پتاسیم (محلول پاشی با ۸۰ میکرو مولار) به مدت شش هفته رشد کرده‌اند. تفاوت مابین ستون‌های مربوط به هر شکل که دارای حروف مشترک می‌باشند، از نظر آماری معنی دار نمی‌باشد ($p \leq 0.05$ و $n=4$).

نتوانست از افت پتاسیم برگ‌ها که در اثر شوری حاصل شده بود، جلوگیری کند (شکل ۵).

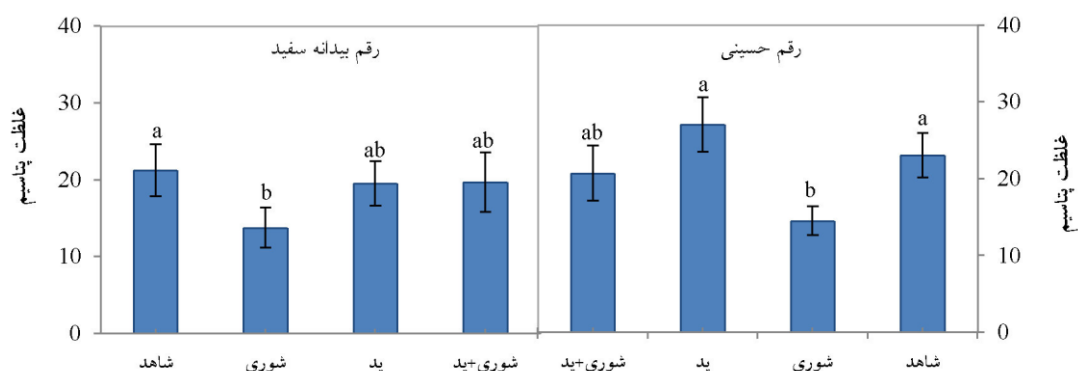
شوری به تنهایی بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالاز اثر نداشت ولی تیمار توأم شوری و یدات پتاسیم باعث افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم نسبت به شاهد گردید، هر چند یدات پتاسیم به تنهایی فقط در رقم «حسینی» توانست فعالیت این آنزیم را افزایش دهد (شکل ۶). نتایج نشان دادند که یدات پتاسیم به تنهایی توانست غلظت فنل کل برگ‌ها را در هر دو رقم افزایش دهد. بیشترین غلظت فنل در هر دو رقم زمانی به دست آمد که یدات پتاسیم به همراه شوری به کار رفت (شکل ۶).

بررسی اثر تیمار توأم شوری و یدات پتاسیم بر غلظت سدیم برگ‌ها نشان داد که در هر دو رقم با افزایش شوری غلظت سدیم آزاد به صورت معنی‌داری افزایش یافت. کاربرد یدات پتاسیم در رقم «سفید» در تیمار شوری باعث کاهش میزان سدیم آزاد و افزایش سدیم متصل به دیواره نسبت به تیمار شوری گردید. ولی در رقم «حسینی» کاربرد یدات پتاسیم باعث تغییر معنی‌دار سدیم آزاد و سدیم متصل به دیواره نسبت به تیمار شوری نشد (شکل ۴).

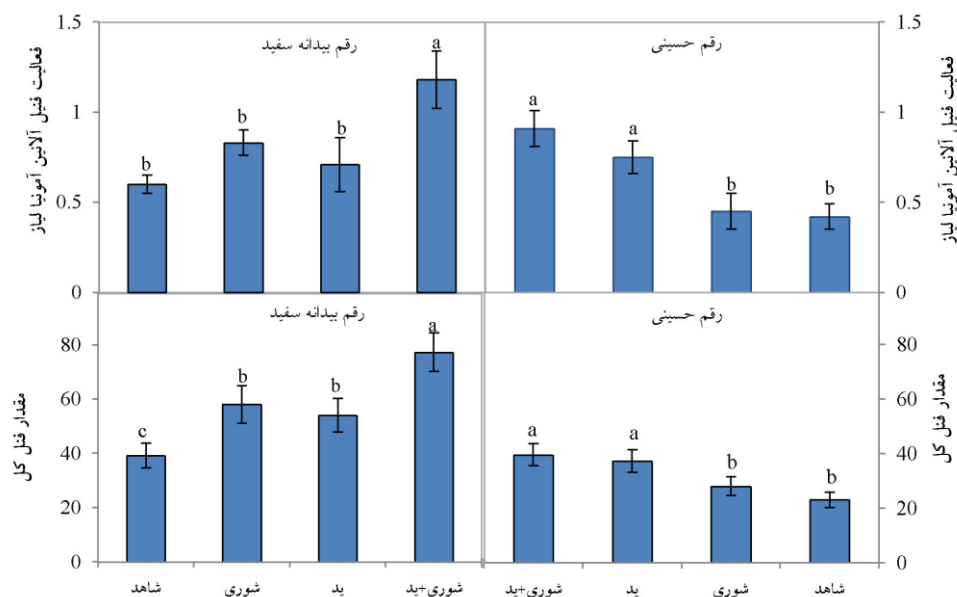
غلظت پتاسیم برگ‌های هر دو رقم تحت تأثیر شوری کاهش معنی‌دار نشان داد و کاربرد یدات پتاسیم در هیچ کدام از ارقام



شکل ۴ غلظت سدیم آزاد و متصل به دیواره (میلی گرم/ گرم وزن خشک) در برگ‌های گیاه انگور رقم‌های «سیدانه سفید» و «حسینی» که در شرایط شاهد ($EC=2 \text{ dS m}^{-1}$) و شوری ($EC=10 \text{ dS m}^{-1}$) در غیاب (محلول پاشی با آب مقطر) و یا در حضور یdates پتاسیم (محلول پاشی با ۸۰ میکرو مولار) به مدت شش هفته رشد کرده‌اند. تفاوت مابین ستون‌های مربوط به هر رقم که دارای حروف مشترک می‌باشند، از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد ($p \leq 0.05$ و $n=4$).



شکل ۵ غلظت پتاسیم (میلی گرم/ گرم وزن خشک) برگ‌های گیاه انگور رقم‌های «سیدانه سفید» و «حسینی» که در شرایط شاهد ($EC=2 \text{ dS m}^{-1}$) و شوری ($EC=10 \text{ dS m}^{-1}$) در غیاب (محلول پاشی با آب مقطر) و یا در حضور یdates پتاسیم (محلول پاشی با ۸۰ میکرو مولار) به مدت شش هفته رشد کرده‌اند. تفاوت مابین ستون‌های مربوط به هر رقم که دارای حروف مشترک می‌باشند، از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد ($p \leq 0.05$ و $n=4$).

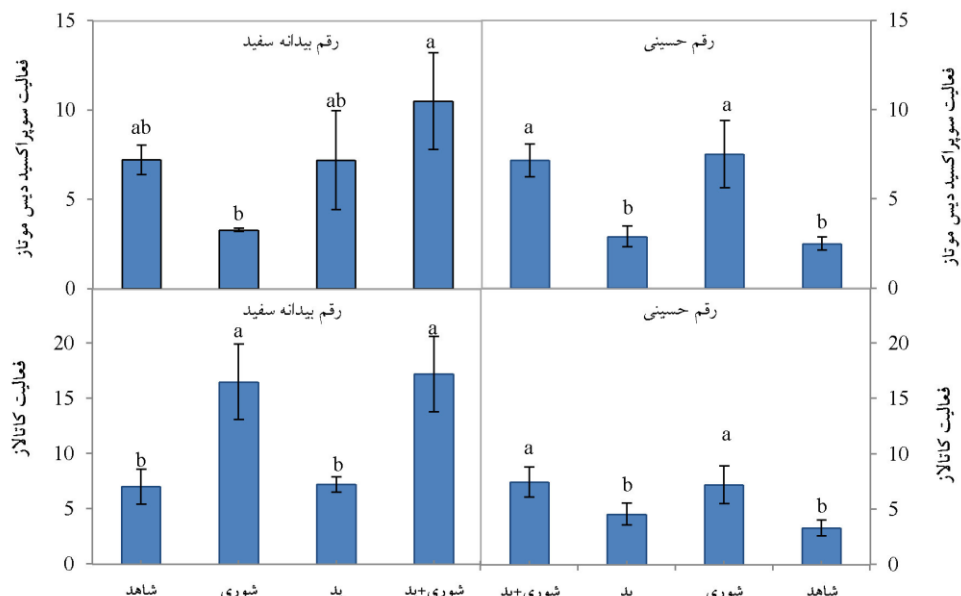


شکل ۶ فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز (میکرومول سینامیک اسید/ گرم پروتئین در دقیقه) و غلظت فنل کل (میلی گرم اسید گالیک/ گرم وزن تر بافت) در برگ‌های گیاه انگور رقم‌های «بیدانه سفید» و «حسینی» که در شرایط شاهد ($EC=2 \text{ dS m}^{-1}$) و شوری ($EC=10 \text{ dS m}^{-1}$) در غیاب (محلول پاشی با آب مقطر) و یا در حضور یدات پتاسیم (محلول پاشی با ۸۰ میکرو مولار) به مدت شش هفته رشد کرده‌اند. تفاوت مابین ستون‌های مربوط به هر شکل که دارای حروف مشترک می‌باشند، از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد ($p \leq 0.05$ و $n=4$).

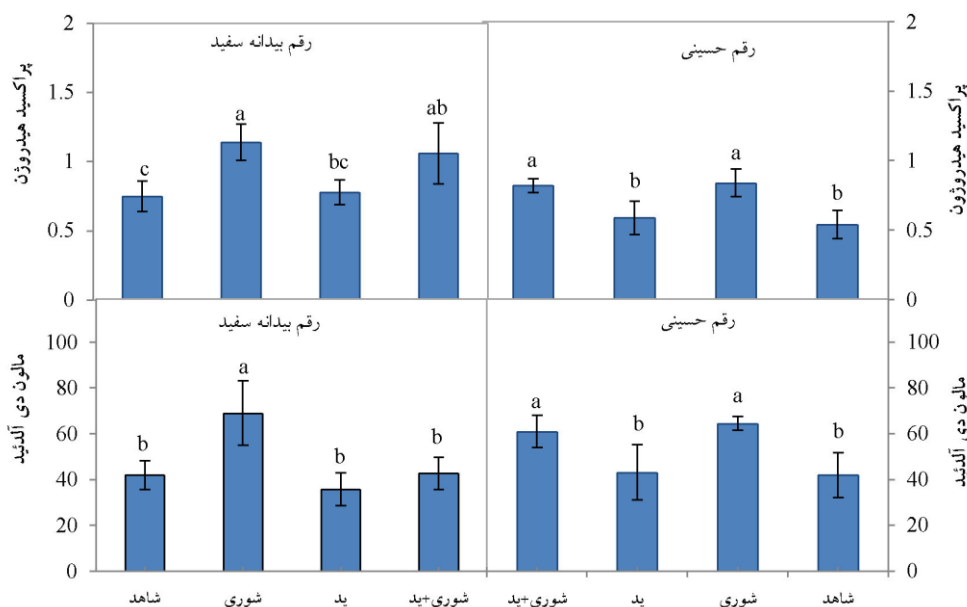
نبود (شکل ۸). برخلاف رقم «حسینی»، کاربرد یدات پتاسیم در تیمار شوری در رقم «بیدانه سفید» توانست از غلظت مالون دی آلدئید حاصل از پراکسیداسیون غشاها بکاهد. تجزیه واریانس دو عاملی برای تعیین اثر شوری و یدات پتاسیم نشان داد که اثر شوری بر اکثر شاخص‌های فیزیولوژیک دو رقم انگور معنی‌دار بود (جدول ۱). اثر متقابل شوری با یدات پتاسیم بر روی شاخص‌های غلظت سدیم آزاد، پتاسیم و آمینو اسید کل در رقم «بیدانه سفید» معنی‌دار بود. این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد یدات پتاسیم، اکثر شاخص‌های فیزیولوژیکی را در تیمار توأم یدات پتاسیم و شوری تحت تأثیر قرار داده است.

شوری فقط در رقم «حسینی» توانست باعث افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیس‌موتاز گردد. فعالیت این آنزیم در تیمار توأم شوری و یدات پتاسیم رقم «بیدانه سفید» نسبت به تیمار شوری بیشتر بود (شکل ۷). افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمارهای مختلف در هر دو رقم از یک الگو تبعیت کرد، به طوری که بیشترین فعالیت این آنزیم در تیمارهای شوری مشهود بود و یدات پتاسیم به تنهایی اثری بر فعالیت این آنزیم نداشت (شکل ۷).

اعمال شوری باعث افزایش معنی‌دار غلظت پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در برگ‌های هر دو رقم گردید و یدات پتاسیم به تنهایی و یا همراه با شوری بر غلظت پراکسید هیدروژن موثر



شکل ۷ فعالیت آنزیم سوپراکسید دیس موتاز (واحد/ میلی گرم پروتئین) و کاتالاز (میکرومول پراکسید هیدروژن/ میلی گرم پروتئین/ دقیقه) در برگ‌های گیاه انگور رقم‌های «بیدانه سفید» و «حسینی» که در شرایط شاهد ($EC=2 \text{ dS m}^{-1}$) و شوری ($EC=10 \text{ dS m}^{-1}$) در غیاب (محلول پاشی با آب مقطر) و یا در حضور یdates پتاسیم (محلول پاشی با ۸۰ میکرو مولار) به مدت شش هفته رشد کرده اند. تفاوت مابین ستون‌های مربوط به هر شکل که دارای حروف مشترک می‌باشند، از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد ($p \leq 0.05$) و $n=4$.



شکل ۸ غلظت مالون دی آلدئید (نانومول/ گرم وزن تر) و پراکسید هیدروژن (میکرومول/ گرم وزن تر) در برگ‌های گیاه انگور رقم‌های «بیدانه سفید» و «حسینی» که در شرایط شاهد ($EC=2 \text{ dS m}^{-1}$) و شوری ($EC=10 \text{ dS m}^{-1}$) در غیاب (محلول پاشی با آب مقطر) و یا در حضور یdates پتاسیم (محلول پاشی با ۸۰ میکرو مولار) به مدت شش هفته رشد کرده است. تفاوت مابین ستون‌های مربوط به هر شکل که دارای حروف مشترک می‌باشند، از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد ($p \leq 0.05$) و $n=4$.

جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس دو عاملی (میانگین مربعات) برای تعیین اثر شوری، یدات پتاسیم و اثر متقابل شوری با یدات پتاسیم بر شاخص‌های مختلف فیزیولوژیک در دو رقم انگور.

شاخص‌های رقم «بیدانه سفید»	شوری	یدات پتاسیم	شوری × یدات پتاسیم
وزن تر برگ	۱/۷۸ ^{**}	۰/۰۰۸ ^{ns}	۰/۸۷۴ ^{ns}
وزن خشک برگ	۰/۲۴۵ ^{**}	۰/۰۲۲ ^{ns}	۰/۰۳۶ ^{ns}
آمینواسید کل	۸/۴۶ ^{ns}	۷/۷۳ ^{ns}	۵۰/۸ [*]
فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز	۱۰/۹ ^{ns}	۲۲/۱ [*]	۹۴/۶ ^{ns}
فعالیت آنزیم کاتالاز	۳۸۹ ^{***}	۱/۲۳ ^{ns}	۰/۷۶۶ ^{ns}
پراکسید هیدروژن	۰/۴۶۲ ^{***}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}
مالون دی آلدئید	۱۱۴۸ ^{**}	۱۰۵۱ ^{**}	۴۱۳/۶ ^{ns}
فعالیت فنیل آلانین آمونیا لیاز	۰/۴۸۳ ^{***}	۰/۲۱۶ ^{**}	۰/۰۵۵ ^{ns}
فنل کل	۱۸۲۷ ^{***}	۱۱۰۵ ^{**}	۱۴/۱ ^{ns}
سدیم آزاد	۶۳/۳ ^{***}	۱۶۲ ^{***}	۳۳/۶ ^{**}
سدیم متصل به دیواره	۲۶/۳ ^{**}	۲۴/۳ ^{**}	۱/۳۸ ^{ns}
پتاسیم	۵۲/۵ [*]	۱۸/۱۰ ^{ns}	۶۰/۱ [*]
شاخص‌های رقم «حسینی»	شوری	یدات پتاسیم	شوری × یدات پتاسیم
وزن تر برگ	۰/۰۳۹ ^{ns}	۴/۸۹ ^{***}	۰/۴۶۶ [*]
وزن خشک برگ	۰/۰۹۳ ^{ns}	۰/۳۹۷ [*]	۰/۰۶۲ ^{ns}
آمینواسید کل	۷۶/۸ ^{***}	۸۹۱ ^{***}	۸۶/۱ ^{***}
فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز	۰/۰۰۱ ^{ns}	۸۵/۴ ^{**}	۰/۶۰۶ ^{ns}
فعالیت آنزیم کاتالاز	۴۶/۲ ^{***}	۲/۲۵ ^{ns}	۱/۱۰ ^{ns}
پراکسید هیدروژن	۰/۲۸۶ ^{***}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}
مالون دی آلدئید	۱۵۷۸ ^{*ns}	۴/۰۵ ^{ns}	۲۸/۲ ^{ns}
فعالیت فنیل آلانین آمونیا لیاز	۰/۰۳۹ ^{ns}	۰/۶۲۰ ^{***}	۰/۰۱۵ ^{ns}
فنل کل	۵۶/۲ ^{ns}	۶۵۰ ^{***}	۹/۰۰ ^{ns}
سدیم آزاد	۲۲۹ ^{***}	۰/۰۱۰ ^{ns}	۰/۰۱۰ ^{ns}
سدیم متصل به دیواره	۷۳/۵ ^{***}	۰/۰۵۰ ^{ns}	۰/۳۹۱ ^{ns}
پتاسیم	۲۱۷ ^{***}	۱۰۵ ^{**}	۵/۰۶ ^{ns}

ns: غیر معنی‌دار، ***: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۰۱، **: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، *: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ با استفاده از تست توکی.

بحث

یکی از اثرات مضر شوری در اکثر گونه‌های گیاهی، افت رشد به‌خصوص رشد شاخساره می‌باشد که به‌عنوان یک شاخص برای تعیین میزان تحمل شوری در اکثر گونه‌ها محسوب می‌شود [۲۳ و ۲۷]. در این آزمایش، کاهش رشد برگ‌ها تحت تأثیر شوری نشان داد که ارقام مور مطالعه، تحمل این سطح از شوری را ندارند. تیمار درختان انگور رشد یافته در شرایط شوری با یدات پتاسیم باعث تخفیف اثرات مضر شوری بر شاخص‌های رشد گردید. این یافته با یافته‌های لی‌وا و

همکاران [۲۱] که اثر مفید یدات پتاسیم بر روی رشد کاهو تحت تنش شوری را نشان داده‌اند، در انطباق است. مطابق انتظار مقدار نسبی آب در هر دو رقم تحت تأثیر شوری کاهش معنی‌دار نشان داد (شکل ۲). اعمال شوری در سطحی که در این آزمایش به کار رفته است می‌تواند باعث کاهش مقدار نسبی آب، حتی در شورپسندهایی مثل چغندر قند شود [۹]. کاهش مقدار نسبی آب برگ نشان دهنده کاهش فشار تورژسانس ناشی از محدودیت دسترسی به آب برای فرآیند های گسترش سلولی می‌باشد [۱۷ و ۳۴]. در طی تنش شوری

بخاطر انباشت یون‌های سدیم و کلر در برگ‌ها نوعی عدم تعادل در تغذیه کاتیونی گیاه بوجود آمده [۲ و ۲۵] و گیاه دچار کمبود عناصری مثل منیزیم، کلسیم و پتاسیم و آنیون‌هایی مثل نترات می‌شود [۲۹]. در این پژوهش غلظت سدیم پس از اعمال شوری نسبت به شاهد افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان داد. ولی تیمار توأم یدات پتاسیم و شوری باعث کاهش غلظت سدیم کل در رقم «بیدانه سفید» شد، هر چند تیمار یدات پتاسیم بر غلظت سدیم کل برگ‌های تحت تنش شوری رقم «حسینی» موثر نبود. در رقم «بیدانه سفید» اعمال یدات پتاسیم از یک طرف باعث کاهش غلظت سدیم کل برگ‌ها شد و از طرف دیگر نسبت سدیم متصل به دیواره به سدیم آزاد را افزایش داد. کاهش سدیم آزاد سیتوزولی باعث کاهش اثرات مخرب سدیم برکده‌های مختلف سیتوپلاسم و به‌ویژه غشاها می‌شود [۲ و ۲۵]. داده‌های این بررسی نیز نشان می‌دهد که کاربرد یدات پتاسیم در رقم «بیدانه سفید» تحت تنش شوری از افزایش مالون دی‌آلدئید حاصل از پراکسیداسیون غشاها ممانعت به عمل آورده است. کاهش پراکسیداسیون لیپیدها در این رقم در اثر کاهش سدیم آزاد برگ‌ها شرایط را برای رشد بهینه این گیاه در شرایط شوری مهیا کرد. با این حال بررسی نتایج مربوط به غلظت پتاسیم در برگ‌ها نشان داد که کاربرد ید نقش در ممانعت از کاهش پتاسیم برگ‌ها که در اثر شوری ایجاد شده بود، نداشت. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق در تطابق با یافته‌های قبلی [۲۱] نشان می‌دهند که هومئوستازی پتاسیم تحت تاثیر کاربرد ید قرار نمی‌گیرد.

انباشت آمینواسیدها به عنوان اسموتیکوم در طی تنش شوری نقش مهمی در تنظیم اسمزی گیاه ایفا می‌کند و بین میزان تحمل گیاه به شوری و انباشت آمینواسیدها همبستگی مثبت وجود دارد [۳۱]. کاربرد یدات پتاسیم باعث تشدید انباشت آمینواسیدها به ویژه در رقم «بیدانه سفید» در شرایط تنش شوری شد. این افزایش با حفظ مقدار نسبی آب و وزن تر گیاه «بیدانه سفید» در تیمار توأم شوری و یدات پتاسیم مرتبط بود و می‌توان نتیجه‌گیری نمود که انباشت آمینواسیدها به عنوان اسموتیکوم نقش موثری در بهبود روابط آبی این رقم ایفا نمود. وقتی گیاهان در معرض تنش شوری قرار می‌گیرند تولید مولکول‌های اکسیژن فعال (Reactive Oxygen Species, ROS) در آنها افزایش می‌یابد [۲۵]. تنش شوری باعث انباشت انواع اکسیژن فعال در سلول و آسیب رساندن به لیپیدهای غشا و

انباشت مالون دی‌آلدئید، آسیب به پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود. افزایش مولکول‌های H_2O_2 و مالون دی‌آلدئید می‌تواند باعث مهار رشد و کاهش توان سازگاری گیاه در برابر تنش شوری شود [۱۱ و ۳۲]. در این آزمایش، کاهش غلظت مالون دی‌آلدئید به عنوان معیاری از پراکسیداسیون لیپیدها در رقم بیدانه در تیمار توأم شوری و یدات پتاسیم نسبت به تیمار شوری به احتمال زیاد بخاطر فعالیت موثر آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بوده است هر چند افزایش فعالیت کاتالاز در تیمار توأم شوری و یدات پتاسیم نسبت به تیمار شوری معنی‌دار نبود ولی همین افزایش فعالیت جزئی احتمالا در جاروب کردن رادیکال‌های آزاد موثر بوده است، به طوری که پراکسیداسیون لیپیدهای غشا در تیمار توأم شوری و یدات پتاسیم رقم «بیدانه سفید» رخ نداده است.

بر اساس گزارش کیم و همکاران [۱۸] در گیاه کاهو و تحقیقات لوپز-سرینگر [۲۰] در گیاه کلم، تیمار بلند مدت شوری باعث کاهش انباشت فنل‌ها و تیمار کوتاه مدت باعث افزایش انباشت فنل‌ها می‌گردد. در تطابق با شواهد فوق، تیمار بلند مدت شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز (آنزیم کلیدی بیوسنتز فنل‌ها) و غلظت فنل کل رقم «بیدانه سفید» و «حسینی» شد. افزایش غلظت فنل‌ها در مهار پراکسیداسیون لیپیدها و جاروب کردن رادیکال‌های آزاد موثر است [۲۶]. با وجود افزایش فنل‌ها در هر دو رقم مورد مطالعه پس از اعمال یدات پتاسیم در شرایط شوری، فقط رقم «بیدانه سفید» کاهش پراکسیداسیون لیپید را در تیمار توأم شوری و یدات پتاسیم نشان داد. به عبارت دیگر این نتایج نشان می‌دهند که هر چند افزایش فنل‌ها در افزایش توان آنتی اکسیداتیو موثر می‌باشد [۳ و ۵]، ولی باید توجه داشت که در کنار افزایش فنل‌ها، فعال شدن سایر مولفه‌های سیستم دفاع آنتی اکسیداتیو شامل متابولیت‌ها و آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو و نیز سازگاری در هومئوستازی یون‌های مهم سدیم و پتاسیم در شاخساره و ریشه برای افزایش مقاومت در برابر شوری مورد نیاز می‌باشد و این توانایی از یک رقم به رقم دیگر متفاوت است.

در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که شوری باعث افت معنی دار وزن تر، خشک و مقدار نسبی آب برگ‌های هر دو رقم مورد مطالعه در این آزمایش شد. هر چند اثرات کاربرد یدات پتاسیم از قبیل انباشت اسموتیکوم‌ها (مثل آمینواسید کل) و متابولیسم فنل‌ها در هر دو رقم تحت تنش شوری یکسان

- [9] Ghoulam C, Foursy A, Fares K (2002) Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany* **47**: 39–50.
- [10] Giannopolitis CN, Ries SK (1977) Superoxide dismutase: occurrence in higher plants. *Plant Physiology* **59**: 309–314.
- [11] Habibi G (2014) Hydrogen Peroxide (H_2O_2) Generation, Scavenging and Signaling in Plants. In: Ahmad P, (eds.), *Oxidative Damage to Plants: Antioxidant Networks and Signaling*. New York, USA, Elsevier.
- [12] Hajiboland R, Aliasgharzadeh N, Laiegh SF, Poschenrieder C (2010) Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Plant Soil* **331**: 313–327.
- [13] 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.
- [14] Hasanuzzaman M, Nahar K, Fujita M (2013) Plant Response to Salt Stress and Role of Exogenous Protectants to Mitigate Salt-Induced Damages. In: Ahmad P, Azooz MM, Prasad MNV (eds.), *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*. New York, USA, Springer.
- [15] Hwang M, Ederer GM (1975) Rapid hippurate hydrolysis method for presumptive identification of group streptococci. *Journal of Clinical Microbiology* **1**: 114–115.
- [16] Iqbal N, Masood A, Khan NA (2012) Phytohormones in Salinity Tolerance: Ethylene and Gibberellins Cross Talk. In: Khan NA, Nazar R, Iqbal N, Anjum NA (eds.), *Phytohormones and Abiotic Stress Tolerance in Plants*. Berlin, Germany, Springer.
- [17] Katerji N, Van Hoorn JW, Hamdy A, Mastrorilli M, Moukarzel E (1997) Osmotic adjustment of sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. *Agricultural Water Management* **34**: 57–69.
- [18] Kim HJ, Fonseca JM, Choi JH, Kubota C, Kwon DY (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.
- [19] Lara MV, Disante KB, Podesta FE, Andreo C, Drincovich MF (2003) Induction of a crassulacean acid like metabolism in the C_4 succulent plant, *Portulaca oleracea* L.: physiological and morphological changes are accompanied by specific modifications in phosphoenolpyruvate carboxylase. *Photosynthesis Research* **77**: 241–254.
- [20] Leyva R, Sánchez-Rodríguez E, Ríos JJ, Rubio-Wilhelmi MM, Romero L, Ruiz JM, Blasco B (2011) Beneficial effects of exogenous iodine in lettuce plants subjected to salinity stress. *Plant Science* **181**: 195–202.
- [20] López-Berenguer C, Martínez-Ballesta MC, Moreno DA, Carvajal M, García-Viguera C (2009) Growing hardier crops for better health: salinity tolerance and the nutritional value of broccoli. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **57**: 572–578.
- [22] Mavi A, Terzi Z, Ozgen U (2004) Antioxidant properties of some medicinal plants: *Prangos ferulacea*

بود ولی پاسخ‌های دو رقم مورد مطالعه (که تحمل به شوری تقریباً یکسانی دارند) به یدات پتاسیم متفاوت بود. اعمال یدات پتاسیم تنها در تخفیف اثرات تنش شوری در رقم «بیدانه سفید» مفید بود. تاثیر مثبت یدات پتاسیم در بهبود تحمل شوری «بیدانه سفید» از طریق کاهش غلظت‌های سمی یون Na^+ و به ویژه افزایش نسبت سدیم متصل به دیواره به سدیم آزاد، انجام پذیرفت. کاربرد یدات پتاسیم در شرایط شوری باعث افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیاپاز و در نتیجه غلظت فنل‌ها در هر دو رقم گردید. افزون بر فواید فوق که یدات را به عنوان یک عنصر مفید در تخفیف تنش شوری معرفی می‌کند، کاربرد این عنصر باعث غنی شدن محصولات کشاورزی از ید و ترکیبات فنلی شده و بر کیفیت غذایی آن‌ها می‌افزاید. با توجه به فواید کاربرد یدات پتاسیم برای گیاهان مناطق شور و تأثیر این عنصر بر هومئوستازی یون‌ها و روابط آبی گیاه، پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی اثر کاربرد یدات پتاسیم بر فتوسنتز و تفرق گیاهان و توزیع سایر یون‌ها در گیاهان تحت تنش شوری مطالعه گردد.

منابع

- [1] Ahmad P, Prasad MNV (2012) *Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability*. New York, Springer.
- [2] Ashraf M, Harris PJC (2004) Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* **166**: 3–16.
- [3] Blasco B, Leyva R, Romero L, Ruiz JM (2013) Iodine effects on phenolic metabolism in lettuce plants under salt stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **61**: 2591–2596.
- [4] Blasco B, Rios JJ, Leyva R, Cervilla L, Sanchez-Rodriguez ME, Wilhelmi MM, Rosales MA, Ruiz JM, Romero L (2010) Does iodine biofortification affect oxidative metabolism in lettuce plants? *Biological Trace Element Research* **142**: 831–842.
- [5] Blasco B, Rios JJ, Leyva R, Melgarejo R, Constan-Aguilar C, Sánchez-Rodríguez E, Rubio-Wilhelmi MM, Romero L, Ruiz JM (2011) Photosynthesis and metabolism of sugars from lettuce plants (*Lactuca sativa* L. var. longifolia) subjected to biofortification with iodine. *Plant Growth Regulation* **65**: 137–143.
- [6] Boominathan R, Doran PM (2002) Ni induced oxidative stress in roots of the Ni hyperaccumulator, *Alyssum bertoloni*. *New phytologist* **156**: 202–205.
- [7] Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* **72**: 248–254.
- [8] Dicko MH, Gruppen H, Barro C, Traore AS, van Berkel WJH, Voragen AGJ (2005) Impact of phenolic compounds and related enzymes in sorghum varieties for resistance and susceptibility to biotic and abiotic stresses. *Journal of Chemical Ecology* **31**: 2671–2688.

- [29] Sariam RK, Rao KV, Srivastava GC (2002) Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science* **163**: 1037-1046.
- [30] Simon LM, Fatrai Z, Jonas DE, Matkovics B (1974) Study of peroxide metabolism enzymes during the development of *Phaseolus vulgaris*. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen* **166**: 387-392.
- [31] Thakur M, Sharma AD (2005) Salt-stress-induced proline accumulation in germinating embryos: evidence suggesting a role of proline in seed germination. *Journal of Arid Environments* **62**: 517-523.
- [32] Tuteja N (2007) Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Methods in Enzymology* **428**: 419-438.
- [33] Velikova V, Yordanov I, Edreva A (2000) Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants-protective role of exogenous polyamines. *Plant Science* **151**, 59-66.
- [34] Vysotskaya L, Hedley PE, Sharipova G, Veselov D, Kudoyarova G, Morris J, Jones HG (2010) Effect of salinity on water relations of wild barley plants differing in salt tolerance. *AoB Plants* **86**: 407-421.
- [35] Zucker M (1965) Induction of phenylalanine deaminase by light, its relation to chlorogenic acid synthesis in potato tuber tissue. *Physiologia Plantarum* **40**: 779-784.
- (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.
- [23] Munns R, Husain S, Rivelli AR, James RA, Condon Tony AG, Lindsay MP, Lagudah ES, Schachtman DP, Hare RA (2002) Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. *Plant Soil* **247**: 93-105.
- [24] Munns R, James RA, Lauchli A (2006) Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany* **57**: 1025-1043.
- [25] Munns R, Tester M (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* **59**: 651-681.
- [26] Oh MM, Trick HN, Rajashekar CB (2009) Secondary metabolism and antioxidants are involved in environmental adaptation and stress tolerance in lettuce. *Journal of Plant Physiology* **166**: 180-191.
- [27] Parida V, Das AB (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **60**: 324-349.
- [28] Saqib M, Zörb C, Schubert S (2008) Silicon-mediated improvement in the salt resistance of wheat (*Triticum aestivum*) results from increased sodium exclusion and resistance to oxidative stress. *Functional Plant Biology* **35**: 633-639.

Iodine alleviates salt stress in two cultivars of grape plants

Ghader Habibi*, Leila Bagerzadeh and Somaie Sarvari

Department of Biology, Payame Noor University, Iran

Abstract

Iodine, applied as IO_3^- , has been considered as a beneficial element mitigating the harmful effects of salt stress in plants. The objective of this study was to evaluate the effect of foliar-applied iodate ($80 \mu\text{M KIO}_3$) on the improvement of tolerance to salt stress ($\text{EC}=10 \text{ dS m}^{-1}$) in two cultivars of grape plants (*Vitis vinifera* cv. 'Bidane-Sefid' and 'Hosseini'). Salt stress decreased dramatically leaf fresh and dry mass and relative water content and caused lipid peroxidation in both cultivars. Application of iodate, however, alleviated these effects in 'Bidane-sefid', but not in 'Hosseini'. Concentration of Na in the leaves was increased significantly by salinity treatment; however, iodate application caused Na detoxification via increasing cell wall-bound Na in the leaves of 'Bidane-sefid'. Iodate application induced activity of phenylalanine ammonia-lyase and increased concentration of total phenolic compounds in both cultivars and increased activity of superoxide dismutase in 'Bidane-Sefid' under salinity. Results suggested that alleviation of salt stress in 'Bidane-sefid' by iodate is mediated by improvement of water relation parameters, reduction of Na uptake and transport, accumulation of amino acids, activation of antioxidative defense system and protection of membranes.

Keywords: Antioxidant enzymes, iodate, phenolic metabolism, salinity, sodium, *Vitis vinifera*

* Corresponding author, Email: gader.habibi@gmail.com