پاسخ‌های فیتوشیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تاک‌های تیمارشده با پتاسیم در شرایط تنش شوری

روح الله کریمی*[1]، بهروز محمدپرست[2] و راضیه مینازاده[2]

[1] گروه مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر

[2] گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ملایر

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۵/۱۵)

چکیده

تغذیه تکمیلی با تأثیر بر سامانه‌های محافظت‌کننده آنزیمی و غیرآنزیمی قادر به تعدیل تنش اکسایشی القاشده توسط شوری می‌باشد. در این پژوهش برهمکنش شوری (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید) و کاربرد برگی پتاسیم (صفر و ۱/۵ درصد پتاسیم سولفات) بر شاخص‌های تخریب غشا، پاسخ‌های فیتوشیمیایی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و همچنین عناصر غذایی برگ بوته‌های یکساله انگور بیدانه‌سفید، به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی بررسی شد. با افزایش شوری محتوای مالون دی‌آلدهید و هیدروژن پراکسید در برگ تاک‌های تحت تنش افزایش یافت. درحالیکه کاربرد پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد، محتوای این شاخص‌ها را به‌ترتیب ۲۰ و ۲۷ درصد کاهش داد. با افزایش شوری محتوای فنول کل و فلاونوئید کل برگ در تاک‌ها افزایش یافت، با این حال این افزایش در تاک‌های تیمارشده با پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد بیشتر بود. در تاک‌های تیمارشده با پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد محتوای پروتئین‌محلول حتی در غلظت‌های بالای سدیم کلرید روند افزایشی نشان داد. فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز برگ تا شوری ۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید افزایش یافت با این حال تیمار پتاسیم ۱/۵ درصد تا شوری ۱۰۰ میلی‌مولار توانست فعالیت این آنزیم‌ها را افزایش داد. کاربرد پتاسیم هم موجب افزایش فعالیت این آنزیم‌ها در همه سطوح شوری شد. همچنین، برهمکنش شوری و پتاسیم منجر به افزایش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز شد. غلظت آهن، روی و منگنز برگ در اثر برهمکنش شوری و پتاسیم افزایش یافت. در کل پتاسیم با تجمع پروتئین‌های‌محلول، فلاونوئید و فنول کل و همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در نهایت منجر به کاهش تنش اکسایشی القاشده توسط شوری در برگ تاک‌ها شده است.

کلمات کلیدی: انگور، تغذیه، ریزمغذی‌ها، فنول کل، کاتالاز

مقدمه

تنش شوری یکی از عوامل تأثیرگذار بر رشد، نمو و میزان عملکرد محصولات باغی و زراعی است که هر ساله منجر به تحمیل زیان‌های اقتصادی زیاد و همچنین غیرقابل کشت‌شدن زمین‌های کشاورزی می‌شود. تجمع نمک در محیط ریشه باعث ایجاد یک فضای رقابتی در جذب کاتیون‌ها شده و پیشرفت این شرایط باعث ایجاد اخلال در جذب بهینه عناصر ضروری و تجمع بیش از حد برخی از عناصر در گیاه می‌شود (Kaya *et*

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Rouholahkarimi@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]

al., 2006). یکی از پیامدهای مضر تنش شوری تجمع یون‌های سدیم و کلر در بافت گیاهان در معرض خاک با غلظت بالای سدیم کلرید است (Hu and Schmidhalter, 2005). ورود این یون‌های به سلول‌ها باعث برهم‌زدن تعادل عناصر و تجمع زیاد یون سدیم و به‌دنبال آن سبب اختلال فیزیولوژیکی قابل توجهی می‌شود. در غلظت زیاد سدیم، جذب پتاسیم به شدت کاهش می‌یابد و سدیم می‌تواند از طریق کانال‌های پتاسیمی به سیتوپلاسم راه یابد و ایجاد مسمومیت کند (Kaya *et al*., 2006; Kholova *et al*., 2009). بنابراین حفظ تعادل Na^+/K^+ سلولی برای بقای گیاه در محیط‌های شور امری ضروری است.

تحت شرایط تنش شوری، به‌دلیل تغییر در موازنه بین نور دریافت‌شده و کارایی جذب نور در برگ طی فرایند فتوسنتز، معمولاً تنش اکسایشی رخ می‌دهد که این پدیده با افزایش نشت الکترون‌ها، تشکیل گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن از قبیل سوپراکسید (O^{-2})، هیدروژن پراکسید (H_2O_2)، رادیکال‌های هیدروکسیل (OH^-) و اکسیژن منفرد (O^-) همراه است (Foyer and Noctor, 2003). تجمع گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن برای سلول‌ها سمی و مخرب است زیرا باعث ایجاد صدمه به غشاهای سلولی، کلروپلاست، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک شده و متابولیسم عادی سلول‌ها را مختل می‌کند (Mittler, 2002). به‌منظور غلبه بر تنش شوری و کاهش صدمات گونه‌های فعال اکسیژن، گیاهان مجهز به یکسری سامانه‌های محافظت‌کننده آنزیمی از قبیل سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز و متابولیت‌های غیرآنزیمی از قبیل آسکوربیک اسید، ترکیبات فنولی و گلوتاتیون هستند (Jiang and Zhang, 2004). همچنین، گیاهان با تغییر در متابولیسم سلولی و به‌کارگیری مکانیسم‌های دفاعی مختلف از قبیل تجمع مواد محلول، انسجام دیواره سلولی و تولید پروتئین‌ها و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تولید ترکیبات فنولی (Karimi *et al*., 2016) تحمل شوری را در بافت‌های خود افزایش می‌دهند.

یکی از راه‌های کاهش اثرات تنش شوری استفاده از ترکیباتی است که قادر به تعدیل اثرات مخرب شوری هستند. پتاسیم یکی از عناصر ضروری در گیاهان است که در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از قبیل فتوسنتز، ساخت پروتئین، ساخت و انتقال قند، فعال‌سازی بیش از ٦٠ نوع آنزیم، تنظیم پتاسیل اسمزی و یونی، تنظیم باز و بسته‌شدن روزنه‌ها و تشکیل آوند آبکش نقش‌های کلیدی دارد (Cakmak, 2005; Marschner, 2012; Karimi, 2017). پتاسیم همچنین سبب بهبود تحمل به شرایط نامساعد و تنش‌زا شده و با افزایش سطح برگ و بالابردن مقدار کلروفیل موجب افزایش ظرفیت فتوسنتز و در نهایت عملکرد می‌شود (Cakmak, 2005). کاربرد خاکی یا برگی منابع کودی پتاس در ذرت (Abbasi *et al*., 2012)، جو (Fayez and bazeid, 2014) و ارزن (Heidari and Jamshidi, 2011) باعث افزایش تحمل به شوری شده است. همچنین کاربرد برگی پتاسیم سولفات از طریق تجمع بیشتر ترکیبات فنولی، اسید آبسیزیک و قندهای محلول در بافت‌های جوانه بوته‌های تیمارشده با این عنصر باعث کاهش اثرات سرما بر بوته‌های انگور شده است (Karimi *et al*., 2016). به‌دلیل تشابه شعاع یونی و انرژی هیدراسیون سدیم و پتاسیم که دو عامل تعیین‌کننده چگونگی ورود این دو یون از طریق پروتئین‌های غشایی به درون سلول هستند و همچنین به‌علت روابط ترمودینامیکی مشابه، این یون‌ها می‌تواند بر روی جذب هم مؤثر باشند و معمولاً بین جذب سدیم و پتاسیم رقابت شدیدی وجود دارد (Kaya *et al*., 2006; Kholova *et al*., 2009). بنابراین، استفاده از کودهای پتاسیمی در شرایط تنش شوری بسیار ضروری می‌باشد. چرا که با افزایش شوری مقدار پتاسیم اندام‌های هوایی به‌شدت کاهش‌یافته و منجر به کاهش عملکرد در تاکستان می‌شود.

پتاسیم یکی از عناصر پرمصرف در تاکستان‌هاست که می‌تواند ضمن بهبود شاخص‌های کمی و کیفی میوه باعث القا تحمل به شوری در بوته‌های انگور شود (Karimi, 2017). از طرفی با توجه به حساسیت نسبتاً بالای بوته‌های انگور به تنش شوری (Maas and Hoffman, 1977)، استفاده از روش‌های مدیریتی از قبیل کاربرد پتاسیم می‌تواند در کاهش اثرات شوری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]

مؤثر باشد. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات بر القا واکنش‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی و رفتار فیتوشیمیایی تاک‌های تیمارشده با غلظت‌های مختلف نمک (سدیم کلرید) و اثرات آن بر پایداری غشا و تحمل شوری انجام شد. همچنین اثر پتاسیم بر غلظت برخی عناصر و ارتباط آنها به‌عنوان کوفاکتور برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و فعالیت آنها بحث شده است.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و تیمارها: این پژوهش در سال ۱۳۹۵ به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار (دو گلدان در هر تکرار) در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ملایر اجرا شد. قلمه‌های یکساله انگور (*Vitis vinifera* L.) رقم بیدانه‌سفید در گلدان‌های ٦ لیتری (حاوی ماسه، خاک و کوددامی به نسبت مساوی) در گلخانه با دامنه دمایی ۲۲ تا ۲۵ درجه‌سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰ درصد و طول روز تحت شرایط نوری اردیبهشت تا مردادماه (۱۲-۱٤ ساعت) قرار گرفتند. در طول دوره رشد نهال‌ها جهت تغذیه پایه از کود ۲۰-۲۰-۲۰ (NPK) با غلظت ۰/۵ گرم در لیتر به‌صورت هفتگی تا رسیدن به مرحله ۱۵ برگی استفاده شد. دو ماه پس از کاشت تیمارهای تنش شوری به‌صورت هفتگی تا چهار هفته با غلظت‌های صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید اعمال شد. از زمان اعمال تنش شوری پتاسیم سولفات (صفر، ۱/۵ درصد) طی دو مرحله در اولین روز هفته‌های اول و سوم تنش روی برگ محلول‌پاشی شد. آبیاری در ماه اول، هر چهار روز یک‌بار و در ماه‌های بعدی به‌دلیل افزایش شاخ و برگ و افزایش نیاز آبی گیاه، هر سه روز یک‌بار انجام شد. در انتهای هفته چهارم از برگ‌های بالایی کاملاً توسعه‌یافته تاک‌ها برای اندازه‌گیری شاخص‌های پراکسیداسیون لیپیدهای غشا، هیدروژن پراکسید، فلاونوئید کل، فنول کل، پروتئین‌های محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز) و عناصر غذایی استفاده شد. نمونه‌های مربوط به آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تا زمان اندازه‌گیری (دو هفته بعد) در فریزر ۸۰- نگهداری شد.

پراکسیداسیون لیپیدهای غشا: ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر محلول تری-کلرو استیک اسید ۲۰درصد - حاوی ۰/۵درصد تیوباربیتوریک اسید- آسیاب شده و عصاره به‌دست آمده به‌مدت ۱۵ دقیقه با دور g ٦۰۰۰ سانتریفوژ شد. محلول رویی به‌مدت ۲۵ دقیقه در حمام آب‌گرم با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد گذاشته شده و پس از کاهش فوری دمای آن با یخ خردشده، به‌مدت ۵ دقیقه با همان سرعت قبل سانتریفوژ شد. برای حذف اثر ترکیبات مزاحم، جذب نمونه‌ها ابتدا در طول‌موج ٦۰۰ نانومتر ($A_{٦٠٠}$) خوانده شد و از مقدار جذب آنها در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر ($A_{٥٣٢}$) کم شد. غلظت مالون دی‌آلدئید (شاخص آسیب بیوشیمیایی غشا) با استفاده از ضریب خاموشی ۰/۱۵۵ $\mu\ mol^{-1}\ cm^{-1}$ محاسبه و بر اساس واحد میکرومول بر گرم وزن تر بیان شد (Buege and Aust, 1978).

هیدروژن پراکسید: برای اندازه گیری هیدروژن پراکسید ۰/۳ گرم از نمونه تازه برگ توزین و در ۳ میلی‌لیتر تری‌کلرو استیک یک درصد هموژن گردید. سپس نمونه‌ها به لوله‌های سانتریفیوژ منتقل و به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی-گراد با ٦۰۰۰ دور دردقیقه سانتریفیوژ شدند. پس از آن به ۰/۷۵ میلی‌لیتر محلول شناور، ۰/۷۵ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی‌مولار با pH معادل ۷ و ۱/۵ میلی‌لیتر پتاسیم یدید یک مولار اضافه شد. غلظت هیدروژن پراکسید نمونه‌ها به وسیله مقایسه جذب آنها در طول‌موج ۳۹۰ نانومتر و منحنی استاندارد آن در طیفی از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرومول بر میلی‌لیتر محاسبه شد (Velikova and Loreto, 2005).

فنول کل: برای اندازه‌گیری محتوای فنول کل موجود در برگ‌ها ابتدا نیم گرم نمونه تازه برگ را در ٤ میلی‌لیتر اتانول کاملاً کوبیده و محلول همگنی تهیه و پس از ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ در دور ۹۵۰۰ بردقیقه محلول شفاف رویی جدا گردید. میزان ۳۰۰ میکرولیتر عصاره با ۱۲۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷ درصد و نیم سی‌سی فولین ۱۰ درصد مخلوط و به‌مدت ۲۰ دقیقه در محل تاریک قرار داده شد. پس از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]

طی‌شدن مدت زمان لازم، میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۷۲۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و سپس با استفاده از نمودار استاندارد گالیک اسید، میزان فنول برحسب میلی‌گرم گالیک اسید بر وزن تر به‌دست آمد (Velioglu *et al*., 1998).

فلاونوئید کل: برای سنجش میزان فلاونوئید کل از روش رنگ سنجی آلومینیوم کلرید استفاده شد (Chang *et al*., 2002). در این روش ابتدا ۰/۱ میلی‌لیتر آلومینیوم کلرید ۱۰درصد در لوله آزمایش ریخته شد سپس ۰/۱ میلی‌لیتر پتاسیم استات یک‌مولار به لوله‌ها اضافه و با آن مخلوط گردید و سپس ۲/۸ میلی‌لیتر آب‌مقطر به لوله‌ها اضافه شد. در مرحله آخر ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول عصاره متانولی برگ به مخلوط اضافه شد. نمونه‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه در محیط تاریک قرار گرفتند و در نهایت جذب نمونه‌ها در طول‌موج ٤١٥ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین گردید. مقدار فلاونوئید کل برای هر کدام از عصاره‌ها به‌صورت میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن‌تر محاسبه شد.

پروتئین‌های محلول: نیم‌گرم بافت تازه برگ با ۵ میلی‌لیتر بافر استخراج (تریس با غلظت یک میلی‌مولار و pH ۷)، در هاون چینی کاملاً له شده و این مخلوط به‌مدت ۲۰ دقیقه با دور ٦٠٠٠ سانتریفوژ شد. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از محلول شفاف بالایی با ۵ میلی‌لیتر معرف بیورد [(۱۰ درصد گلایسیال استیک اسید + ۲۵ درصد اتانول + ٦٥ درصد آب‌مقطر+ ۰/۱ درصد (حجم/وزن) محلول کوماسی بریلیانت بلوجی ۲۵۰)] مخلوط و جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد (Bradford, 1979). با استفاده از منحنی استاندارد تهیه‌شده از غلظت‌های مختلف آلبومین گاوی، غلظت پروتئین‌های محلول به‌صورت میلی‌گرم در گرم وزن تر محاسبه شد.

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ابتدا عصاره آنزیمی تهیه شد. برای این منظور ابتدا بافت منجمدشده برگ در حضور ازت مایع در هاون چینی آسیاب شد و مقدار ۰/۱ گرم آن به یک تیوب پلاستیکی حاوی یک میلی‌لیتر بافر استخراج اضافه و به‌هم زده شد. پس از عبور از صافی عصاره تهیه‌شده به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ٤°C سانتریفیوژ و محلـول شفاف بـالایی به‌آرامی جدا گردید. از این محلول جهت اندازه‌گیری فعالیت هر یک از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به شرح ذیل استفاده گردید:

کاتالاز: برای تعیین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز، ابتدا مقدار ۵۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی با ۳ میلی‌لیتر بافر استخراج که شامل سدیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH ۷) و حاوی ۲ میلی‌مولار اتیلن دی‌آمین ترا استیک اسید بود آمیخته شد. واکنش آنزیم کاتالاز با اضافه‌نمودن ۵ میکرولیتر هیدروژن پراکسید ۳۰ درصد به مخلوط فوق آغاز گردید. ثبت تغییرات جذب نور نمونه‌ها در طول‌موج ۲٤۰ نانومتر به‌مدت یک دقیقه انجام گردید. هر واحد از فعالیت آنزیم کاتالاز به‌عنوان مقداری از آنزیم در نظر گرفته شد که موجب کاهش یک میکرومول هیدروژن پراکسید در هر دقیقه می‌شود. میزان فعالیت آنزیم بر حسب واحد در میلی‌گرم پروتئین برگ بیان شد (Bergmeyer, 1970).

گایاکول پراکسیداز: برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز ابتدا مقدار ۵۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی با ۳ میلی‌لیتر بافر استخراج که حاوی سدیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH ۷) و ۲ میلی‌مولار اتیلن دی‌آمین ترا استیک اسید بود آمیخته شد. واکنش آنزیم گایاکول پراکسیداز با اضافه‌نمودن ۵ میکرولیتر هیدروژن پراکسید ۳۰ درصد و مقدار ۵ میکرولیتر ماده گایاکول به مخلوط فوق آغاز گردید ثبت تغییرات جذب نور نمونه‌ها در طول‌موج ٤٦٥ نانومتر که بیانگر میزان تخریب و کاهش غلظت هیدروژن پراکسید است، به مدت یک دقیقه انجام گردید. هر واحد از فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز به‌عنوان مقداری از آنزیم در نظر گرفته شد که در هردقیقه موجب کاهش یک میکرومول هیدروژن پراکسید در هر میلی‌لیتر می‌شود. میزان فعالیت آنزیم بر حسب واحد در میلی‌گرم پروتئین برگ بیان شد (Herzog and Fahimi, 1973).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]

آسکوربات پراکسیداز: برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز ابتدا مقدار ۵۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی با ۳ میلی‌لیتر بافر استخراج که حاوی سدیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH ۷)، ۲ میلی‌مولار اتیلن دی‌آمین ترا استیک اسید، پلی‌وینیل‌پیرولیدین-۴۰ ۱ درصد (وزن به حجم)، تریتون-۱۰۰ ۰/۱ (حجم به حجم) و آسکوربات یک میلی‌مولار بود، آمیخته شد. واکنش آنزیم کاتالاز با اضافه نمودن ٤/٥ میکرولیتر هیدروژن پراکسید ۳۰ درصد به مخلوط فوق آغاز گردید. ثبت تغییرات جذب نوری نمونه‌ها در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر که بیانگر میزان اکسیداسیون و کاهش غلظت آسکوربات است، به‌مدت یک دقیقه انجام گردید. هر واحد فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز به‌عنوان مقداری از آنزیم در نظر گرفته شد که موجب اکسیده‌شدن یک میکرومول آسکوربات در هر دقیقه می‌شود. میزان فعالیت آنزیم بر حسب واحد در میلی‌گرم پروتئین برگ بیان شد (Nakano and Asada, 1981).

عناصر برگ: به‌منظور استخراج و اندازه‌گیری غلظت عناصر، از برگ‌های میانی شاخه‌ها، نمونه‌های برگی سالم جمع‌آوری و درآزمایشگاه با آب مقطر شستشو شد. نمونه‌ها در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد برای مدت ۷۲ ساعت خشک و آسیاب شدند. سپس غلظت عناصر سدیم، پتاسیم، آهن، روی و منگنز به‌طور جداگانه و به شرح ذیل مورد ارزیابی قرار گرفت. تهیه عصاره به روش هضم تر انجام گردید (Abdel-Shafey *et al.*, 1994). برای این منظور به یک گرم پودر گیاه ۱۰میلی‌لیتر نیتریک اسید غلیظ (٦٥ درصد) افزوده شد. نمونه‌ها به‌مدت دو ساعت در دمای ٦٥ درجه سانتیگراد در حمام آب گرم قرار گرفت. سپس ۲/٦ میلی‌لیتر هیدروژن پراکسید ۲۰ درصد به آنها اضافه شد، پس از سردشدن نمونه‌ها با کاغذ صافی واتمن ٤٢ صاف شده و با آب‌مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. اندازه‌گیری پتاسیم و سدیم به روش نشر شعله‌ای با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (مدل G ٤٠٥ ساخت آلمان) و اندازه‌گیری عناصر آهن، روی و منگنز با دستگاه جذب اتمی (مدل ۲۲۰ واریان) انجام گرفت. در نهایت با استفاده از منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف برای هر یک از عناصر مورد نظر بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک محاسبه شد.

تحلیل داده‌ها: تجزیه واریانس با نرم‌افزار آماری SAS ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها به‌روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد. نمودارها با برنامه اکسل (صفحه‌گسترده) ترسیم شد.

نتایج و بحث

پراکسیداسیون لیپیدهای غشا: اثر پتاسیم، شوری و اثر متقابل آنها بر غلظت مالون دی‌آلدئید به‌عنوان شاخص بیوشیمیایی حاصل از پراکسیداسیون لیپیدهای غشا در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). تنش شوری باعث افزایش اکسیداسیون لیپیدهای غشا شد. بیشترین مقدار تولید مالون دی_آلدئید افزایش در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار شوری مشاهده شد. تنش شوری در گوجه‌فرنگی (Koca *et al.*, 2006) و توت‌فرنگی (Yildirim *et al.*, 2009) ضمن افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و برهم‌زدن نفوذپذیری آن باعث نشت مواد محلول و خسارت به گیاه شد. در واقع تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی در گیاهان در معرض تنش شوری منجر به افزایش شاخص‌های تنش اکسایشی از قبیل نشت‌یونی، پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (Abdelgawad *et al.*, 2016) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. به‌طور متوسط کاربرد برگی پتاسیم سولفات باعث کاهش ۲۰ درصد غلظت مالون دی‌آلدئید در تاک‌های تیمارشده با پتاسیم ۱/۵ درصد در مقایسه با تاک‌های تیمارنشده در همین غلظت شوری شد (شکل ۱).

در مطالعه‌ای روی انگور کاربرد پتاسیم سولفات باعث افزایش تحمل سرمای جوانه‌ها شد که این افزایش در تحمل سرما با افزایش پایداری غشا و کاهش تولید مالون دی‌آلدئید مرتبط بود (Karimi, 2017). کاربرد نیترات پتاسیم در گیاهچه‌های جو تحت تنش اسمزی باعث کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید و کاهش نسبت سدیم به پتاسیم برگ شده است (Fayez and Bazaid, 2014). در مطالعه حاضر کاهش

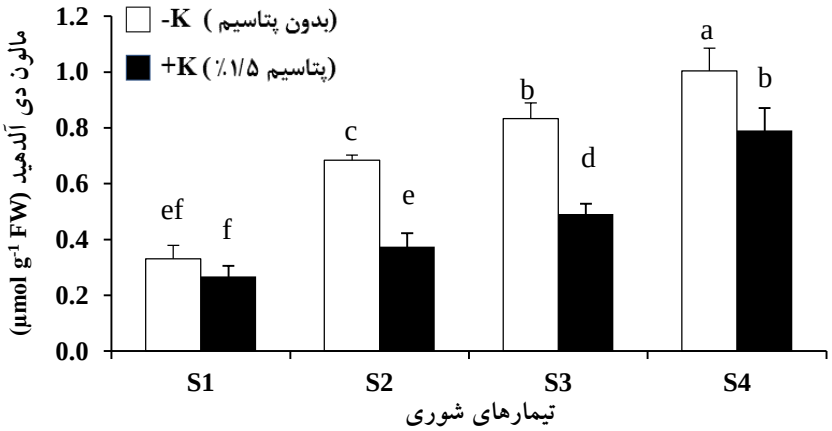
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات بر شاخص‌های آسیب غشا و تجمع برخی متابولیت‌های ثانویه برگ انگور بیدانه‌سفید در تنش شوری

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		پراکسیداسیون لیپیدهای غشا	هیدروژن پراکسید	فنول کل	فلاونوئید کل
پتاسیم	۱	۰/۴۸۰ **	۱۵/۹۱ **	۴۸/۱ **	۰/۰۱۴
شوری	۳	۰/۵۷۷ **	۵۷/۰۵ **	۲۹/۳ **	۰/۵۰۳ **
پتاسیم × شوری	۳	۰/۲۷ *	۰/۵۶۱ **	۱۰/۴ **	۰/۰۱۷ *
خطا	۱۵	۰/۰۰۵	۰/۳۱۱	۲/۳۲	۰/۰۰۶
ضریب تغییرات	-	۱۱/۹	۱۴/۴	۳/۸	۹/۳

**** و* به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح آماری یک و پنج درصد هستند.**



شکل ۱- اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات بر میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشا برگ انگور بیدانه‌سفید در تنش شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (در سطح ۵ درصد).

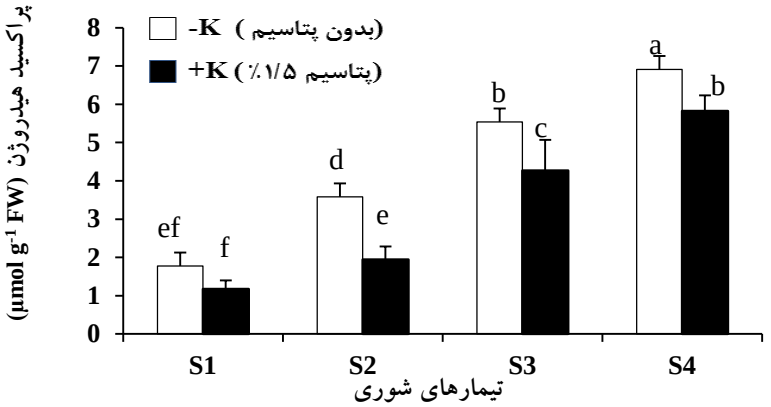
S_1= NaCl صفر میلی‌مولار، S_2= NaCl ۲۵ میلی‌مولار، S_3= NaCl ۵۰ میلی‌مولار، S_4 = NaCl ۱۰۰ میلی‌مولار

اثرات شوری در تاک‌های تیمارشده با غلظت ۱/۵ درصد پتاسیم سولفات با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها همراه بود. این نتیجه حاکی از نقش پتاسیم در تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش تنش اکسایشی از یک طرف و نیز توانایی این عنصر در افزایش تجمع اسمولیت‌های سازگاری از قبیل قندها و پرولین می‌باشد (Karimi *et al.*, 2016). در واقع کاربرد برگی پتاسیم و افزایش غلظت پتاسیم درون برگ ضمن حفظ تنظیم اسمزی باعث افزایش پایداری غشا پلاسمایی و حفظ نفوذپذیری و تداوم عملکرد بهینه آن در راستای انتقال آب و املاح از غشا و انجام واکنش‌های بیوشیمیایی شده است.

هیدروژن پراکسید: اثر پتاسیم، شوری و اثر متقابل آنها بر غلظت هیدروژن پراکسید در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). با افزایش سطح شوری غلظت هیدروژن پراکسید در برگ همه تاک‌های تحت تنش شوری روندی افزایشی نشان داد. غلظت هیدروژن پراکسید در برگ تاک‌های تیمارشده با پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد در مقایسه با عدم‌کاربرد پتاسیم سولفات به‌طور معنی‌داری کمتر بود (شکل ۲). به‌طوریکه غلظت هیدروژن پراکسید در تاک‌های تیمارنشده با سولفات پتاسیم به‌طور میانگین ۲۷ درصد بیشتر از تاک‌های تیمارشده با این کود بود (شکل ۲).

یکی از اثرات سوء تنش شوری تجمع گونه‌های فعال

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]



شکل ۲- اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات بر محتوای هیدروژن پراکسید برگ انگور بیدانه‌سفید در تنش شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (در سطح ۵ درصد).

S_1= NaCl صفر میلی‌مولار، S_2= NaCl ۲۵ میلی‌مولار، S_3= NaCl ۵۰ میلی‌مولار، S_4 = NaCl ۱۰۰ میلی‌مولار

اکسیژن در غشاها و ایجاد پراکسیداسیون لیپیدهای غشا می‌باشد که همان‌طور که در نتایج این مطالعه مشخص شد در بوته‌های انگور تحت تنش شوری میزان پراکسید هیدروژن در تاک‌های تحت تنش شوری افزایش یافت. در مطالعه‌ای اعمال تیمار شوری از صفر تا ۱۴۰ میلی‌مولار ضمن ایجاد تنش اکسایشی در گیاهچه‌های ذرت منجر به افزایش تدریجی غلظت هیدروژن پراکسید در برگ گیاهان تحت تنش در مقایسه با گیاهچه‌های بدون اعمال تنش شوری شد (Abdelgawad *et al*., 2016). در مطالعه حاضر مقادیر کمتری هیدروژن پراکسید در برگ تاک‌های تیمارشده با پتاسیم سولفات مشاهده شد. یکی از نقش‌های مهم پتاسیم فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از قبیل پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز است که در مطالعه حاضر اثبات شد. به‌طوریکه القاء فعالیت بیشتر این آنزیم‌ها در اثر کاربرد برگی پتاسیم منجر به تجمع کمتر گونه‌های فعال اکسیژن از قبیل هیدروژن پراکسید و به‌دنبال آن پایداری بیشتر غشا شد (Cakmak, 2005).

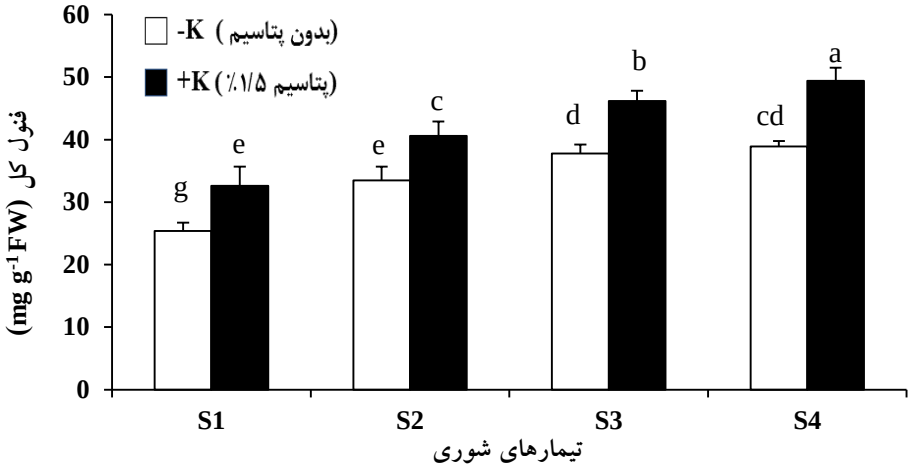
فنول کل: اثر شوری، پتاسیم و اثر متقابل آنها بر محتوای فنول برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). با افزایش شوری میزان فنول کل در برگ تاک‌ها افزایش یافت به‌طوریکه این افزایش وابسته به غلظت نمک بوده و بیشترین محتوای فنول کل در تاک‌های تیمارشده با سدیم کلرید ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۳). کاربرد برگی پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد به‌طور معنی‌داری محتوای فنول کل را در تاک‌های تیمارشده افزایش داد و در مقایسه با عدم‌کاربرد برگی پتاسیم سولفات میزان فنول کل را حدود ۱۲درصد افزایش داد (شکل ۳).

در مطالعه حاضر کاربرد پتاسیم سولفات منجر به تجمع فنول کل بیشتری نسبت به تاک‌های تیمارنشده تحت تنش شوری شد. افزایش ترکیبات فنولی در این تاک‌های ممکن است به‌عنوان یک مکانیسم سازگاری برای غلبه بر تنش اکسیداتیو ناشی از شوری عمل نماید. کاربرد برگی پتاسیم سولفات در تاک، تحمل به تنش سرما را از طریق افزایش ترکیبات فنولی افزایش داده است (Karimi, 2017) که حاکی از دخالت پتاسیم در مسیرهای ساخت ترکیبات فنولی به‌ویژه در گیاهان تحت تنش می‌باشد. در پژوهشی نیز ترکیبات فنولی موجب افزایش توانایی گیاه سویا در خنثی‌کردن رادیکال‌های آزاد تحت تنش شده است (Peng and Zhou, 2009).

فلاونوئید کل: اثر شوری ($P < ۰/۰۱$) و اثر متقابل شوری و پتاسیم ($P < ۰/۰۵$) بر محتوای فلاونوئید کل معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش سطح شوری محتوای فلاونوئید کل در برگ همه تاک‌های تحت تنش روندی افزایشی نشان داد که با یافته‌های قبلی مطابقت دارد (Peng and Zhou, 2009).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]



شکل ۳- اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات بر محتوای فنول کل برگ انگور بیدانه‌سفید در تنش شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (در سطح ۵ درصد).

S_1= NaCl صفر میلی‌مولار، S_2= NaCl ۲۵ میلی‌مولار، S_3= NaCl ۵۰ میلی‌مولار، S_4 = NaCl ۱۰۰ میلی‌مولار

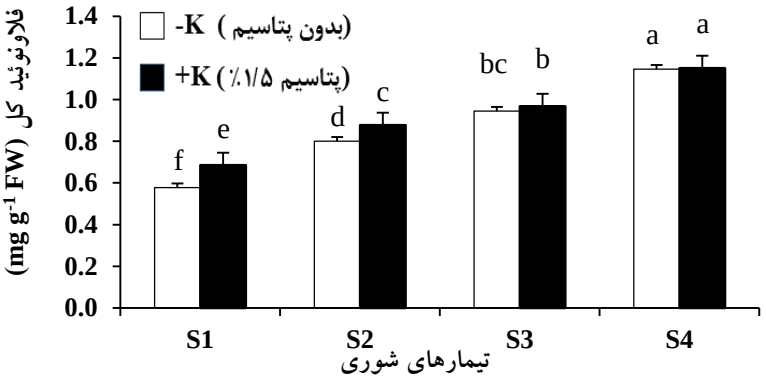
محتوای فلاونوئید کل در تاک‌های تیمارشده با پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد تا سطح شوری ۲۵ میلی‌مولار در مقایسه با تاک‌های تیمارنشده با این کود (پتاسیم سولفات صفر درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر بود ولی محتوای آن در سطح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار بین تاک‌های تیمارشده با پتاسیم سولفات صفر و ۱/۵ درصد اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ٤).

فلاونوئیدها نقش‌های مهمی در سیستم دفاعی غیرآنزیمی گیاه ایفا می‌کنند (Munns and Tester, 2008). عوامل محیطی تأثیر به‌سزایی در فعالیت فلاونوئیدها دارند و به محض دریافت سیگنال‌های محیطی القاکننده تنش در گیاه، میزان تجمع فلاونوئیدها به‌عنوان بخشی از سیستم دفاعی غیرآنزیمی گیاه به منظور مقابله با این تنش‌ها افزایش می‌یابد (Munns and Tester, 2008).

پروتئین محلول: اثر شوری، پتاسیم و اثر متقابل آنها بر محتوای پروتئین محلول در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در تاک‌های تحت تنش شوری محتوای پروتئین محلول تا شوری ۲۵ میلی‌مولار روند افزایشی و پس از آن روند کاهشی نشان داد (شکل a – ۵). این در حالی است که در تاک‌های تیمارشده با پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد محتوای پروتئین محلول حتی در غلظت‌های بالای سدیم کلرید روند افزایشی (٦٧ درصد در شوری mM ۱۰۰) نشان داد که حاکی از نقش ویژه و مثبت پتاسیم بر میزان تولید پروتئین در شرایط تنش شوری بود (شکل a – ۵).

محتوای پروتئین‌های محلول یکی از شاخص‌های مهم نشان‌دهنده وضعیت فیزیولوژیکی در سلول‌های گیاهی تحت تنش می‌باشد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Karimi *et al.*, 2016). در این مطالعه محتوای پروتئین‌های محلول بعد از اعمال تنش تا شوری ۲۵ میلی‌مولار افزایش و سپس تا شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کاهش یافت. در حالیکه در تاک‌های تیمارشده با پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد غلظت این پروتئین‌ها حتی تا شوری ۱۰۰ میلی‌مولار روند افزایشی داشت. این احتمال وجود دارد که پتاسیم به‌عنوان عنصر ضدتنش با تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش رادیکال‌های آزاد ضمن حفظ عملکرد پروتئین‌ها از ساختار آنها محافظت و از تجزیه آنها در این شرایط جلوگیری کند. زیرا تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن باعث اکسیداسیون زنجیره‌های پلی‌پپتیدی آمینواسیدها می‌شود (Jiang and Zhang, 2004). پتاسیم در آخرین مرحله فرایند ساخت پروتئین شرکت دارد و آن را هدایت می‌کند. لذا در داخل گیاه وقتی میزان پتاسیم کم می‌شود، میزان پروتئین هم کاهش یافته و به‌جای آن غلظت آمیدها و اسیدهای آمینه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]



شکل ٤- اثر کاربرد برگی غلظت‌های مختلف پتاسیم سولفات بر فلاونوئید برگ انگور بیدانه‌سفید در تنش شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (در سطح ۵ درصد).

S_1= NaCl صفر میلی‌مولار، S_2= NaCl ۲۵ میلی‌مولار، S_3= NaCl ۵۰ میلی‌مولار، S_4 = NaCl ۱۰۰ میلی‌مولار

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کاربرد برگی سولفات‌پتاسیم بر محتوای پروتئین‌محلول و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برگ انگور بیدانه‌سفید در تنش شوری

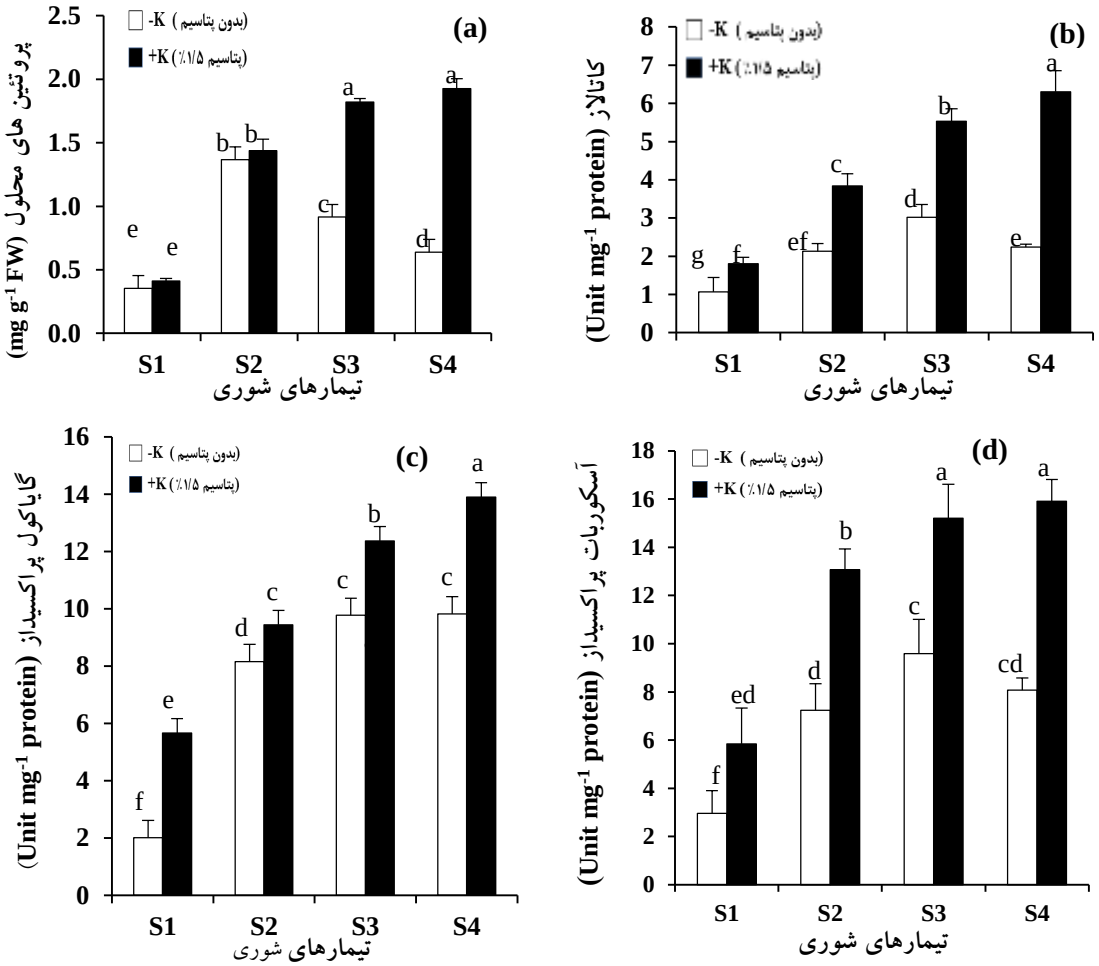
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		پروتئین محلول	گایاکول پراکسیداز	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز
پتاسیم	۱	٤/۰۳٦ **	۱۰۱/۳ **	٦۱/۲۰ **	۳٦۸/٦۳ **
شوری	۳	۲/۸۳۳ **	۱٥٦/۳ **	۲۱/۸۱ **	۱٦۳/۲۲ **
پتاسیم × شوری	۳	۱/۱٤۸ **	٤/٦٥ **	٥/۹۰ **	۱۲/٤۱ **
خطا	۱٥	۰/۰۲٤	۱/۷٤	۰/۱۰٦	۱/۲٦
ضریب تغییرات	-	۱٤/۱٤۷	۱٤/۸٤	۱۰/۰۷	۱۱/٥٦

**** و* به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح آماری یک و پنج درصد هستند.**

افزایش می‌یابد (Chakraborty *et al*., 2016). حفظ نسبت مناسب پتاسیم به سدیم جهت داشتن آماس، تنظیم اسمزی سلول، باز و بسته‌شدن روزنه‌ها، بیوسنتز پروتئین و فتوسنتز ضروری است (Munns and Tester, 2008; Abbasi *et al*., 2012).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: بررسی جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر تیمارهای شوری، پتاسیم و بر همکنش آنها بر میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. همراه با افزایش غلظت سدیم کلرید فعالیت آنزیم کاتالاز نیز افزایش نشان داد که این افزایش در برگ تاک‌های تیمارشده با پتاسیم ۱/۵ درصد در ترکیب با شوری ۱۰۰ mM به حداکثر مقدار خود رسید (شکل b – ٥). در بین تمام تیمارها، کمترین میزان کاتالاز در تیمار شوری و پتاسیم صفر و بیشترین مقدار آن در شوری ۱۰۰ mM و پتاسیم ۱/۵ درصد بود (شکل b – ٥). همانطور که بیان شد، سازگاری گیاه به شوری توسط افزایش میزان آنتی‌اکسیدان‌ها برای از بین‌بردن گونه‌های فعال اکسیژن صورت می‌گیرد. از جمله آنتی‌اکسیدان‌های مهم گیاهی که در این راستا نقش مهمی ایفا می‌کنند، کاتالاز است. بنابراین میزان آن با افزایش شوری بالا رفته و این اثر در تیمارهایی که از پتاسیم استفاده‌شده به‌دلیل نقش آن در تعدیل‌کنندگی شوری بسیار واضح‌تر است. گزارش‌ها حاکی از آن است که در انگور (میرباقری، ۱۳۹٦) و آفتابگردان (Soleimanzadeh *et al*., 2010)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]



شکل ۵- اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات بر غلظت پروتئین محلول (a) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز (b)، گایاکول پراکسیداز (c) و آسکوربات پراکسیدار (d) برگ انگور بیدانه‌سفید در تنش شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند (در سطح ۵ درصد).

S_1= NaCl صفر میلی‌مولار، S_2= NaCl ۲۵ میلی‌مولار، S_3= NaCl ۵۰ میلی‌مولار، S_4 = NaCl ۱۰۰ میلی‌مولار

نیز کاربرد پتاسیم موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز شده است که هم راستا با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد.

با افزایش غلظت سدیم کلرید، فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز برگ تا غلظت ۵۰ mM افزایش و در غلظت ۱۰۰ mM کاهش یافت. اگرچه به لحاظ آماری مقدار فعالیت این آنزیم در دو غلظت اخیر سدیم کلرید اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). کاربرد برگی پتاسیم سولفات توانست فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز را حتی تا غلظت ۱۰۰ mM به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (شکل c – ۵). این واکنش نشأت گرفته از پاسخ انطباقی و تنظیم محافظتی گیاه در برابر شرایط تنش شوری می‌باشد. فعالیت اندک آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نشان‌دهنده شرایط نرمال محیطی جهت رشد گیاه محسوب می‌شود. بنابراین افزایش آنها از این جهت بود که به عنوان اسمولیت سازگاری و آنزیم ضدرادیکال‌های آزاد اکسیژن، ضمن محافظت از ماکرومولکول‌ها و غشاهای سلول، آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد اکسیژن که در اثر ازدیاد یون سدیم به‌وجود آمده بود را خنثی کند (Gupta and Huang, 2014). پتاسیم بر بسیاری از جنبه‌های فیزیولوژی گیاهی از جمله فعالیت بیش از ٦۰ آنزیم شرکت دارد (Marschner, 2012).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز برگ در پاسخ به غلظت‌های مختلف سدیم کلرید افزایش یافت. اگرچه بین فعالیت این آنزیم در غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). کاربرد برگی پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد باعث افزایش معنی‌داری در فعالیت آنزیم مذکور در همه سطوح شوری به‌ویژه در دو سطح آخر شوری شد (شکل d – ۵). روند تغییرات آسکوربات پراکسیداز با تیمارهای شوری و پتاسیم، بسیار شبیه کاتالاز بود چرا که این آنزیم نیز همانند کاتالاز یکی از آنتی‌اکسیدان‌های مهم گیاهی بوده که در شرایط تنش در سلول‌های گیاهی برای حفاظت در مقابل آسیب‌های اکسیداتیو تولید می‌شود (Sharma *et al*., 2012).

به‌همراه دیگر عناصر معدنی پتاسیم نقش مهمی در رابطه با میزان تحمل گیاهان تحت شرایط تنش شوری دارد (Marschner, 2012; Mengel, 2007). این عنصر نقش مهمی در حفظ آماس سلول، کنترل حرکت روزنه‌ها و فعال‌سازی آنزیم‌ها دارد (Cherel, 2004). بنابرین تولید زیاد گونه‌های فعال اکسیژن درنتیجه تنش شوری منجر به آسیب به غشاشده و به‌دنبال آن نشت پتاسیم از سلول‌ها به خاطر فعال‌سازی کانال‌های تراوش پتاسیم به خارج اتفاق می افتد (Cuin and shabala, 2007). پتاسیم با فعال‌کردن مسیرهای بیوسنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله آسکوربات پراکسیداز و افزایش فعالیت آن به‌طور غیرمستقیم منجر به بی‌اثرکردن یا حذف گونه‌های فعال اکسیژن از قبیل هیدروژن پراکسید از دستگاه فتوسنتزی می‌شود (Grattana and Grieve, 1999; Cakmak, 2005; Mengel, 2007).

در مطالعه حاضر فعالیت هر سه آنزیم در نهال‌های تحت تنش در مقایسه با نهال‌های بدون تنش بیشتر بود. تحت تنش شوری همراهی آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز با هم نقش مهمی در بهبود کارایی فعالیت خنثی‌کنندگی گونه‌های فعال اکسیژن دارد (Gill and Tuteja, 2010). کاربرد برگی پتاسیم از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باعث تخفیف اثرات تنش شوری در ذرت شده است (Abbasi *et al*., 2012). همچنین کاربرد پتاسیم هیومات منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز در ریشه‌های زنجبیل شده است (Liang *et al*., 2007). در آزمایشی دیگر کاربرد خارجی پتاسیم باعث راه اندازی سیستم آنتی‌اکسیدانی دانهال‌های آفتابگردان تحت تنش خشکی (Soleimanzadeh *et al*., 2010) و ارزن تحت تنش شوری (Heidari and Jamshidi, 2011) شده است که مطالعات فوق با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. احتمالاً تغییرات متابولیکی ایجادشده با پتاسیم منجر به تغییر در سطوح رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود که این تغییرات زمینه ساز القا سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی می‌شود. در کنار این تغییرات، تجمع بیشتر پروتئین‌های محلول و ترکیبات فنولی به‌ترتیب با افزایش پایداری فعالیت برخی پروتئین‌ها و بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه منجر به کاهش تنش اکسایشی غشا و در نهایت افزایش توان تحملی نهال‌های انگور در مواجهه با تنش شوری شده است.

عناصر برگ: اثر شوری، پتاسیم و همچنین اثر متقابل آنها بر غلظت عناصر سدیم و پتاسیم در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش سطح شوری از صفر به ۱۰۰ میلی‌مولار غلظت سدیم برگ روند افزایشی نشان داد و در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید به حداکثر رسید (جدول ٤).

در بین تیمارها بیشترین غلظت سدیم برگ مربوط به تیمار سدیم کلرید ۱۰۰ میلی‌مولار بدون کاربرد پتاسیم سولفات بود. درحالیکه کاربرد برگی پتاسیم سولفات ۱/۵درصد، موجب کاهش غلظت یون سدیم در گیاه گردید (جدول ٤). بنابراین می‌توان بیان کرد که کاربرد برگی پتاسیم سولفات تحت تنش شوری با افزایش غلظت یون پتاسیم در سلول‌های گیاهی و ایجاد تعادل بین نسبت سدیم به پتاسیم تا حدودی توانسته است از غلظت بالا و سمیت یون سدیم بکاهد. غلظت پتاسیم برگ تحت تنش شوری روند کاهشی نشان داد و با افزایش غلظت کلرید سدیم تا ۱۰۰ میلی‌مولار، غلظت یون پتاسیم به حداقل رسید (جدول ٤). با کاربرد برگی پتاسیم سولفات (۱/۵

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات بر غلظت برخی عناصر برگ انگور بیدانه‌سفید در تنش شوری

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		سدیم	پتاسیم	آهن	روی	منگنز
پتاسیم	۱	۰/۰۰۱ *	٦/۳٥ **	۳۹۱ **	۱٦/۳۳ **	۳۱۳٦ **
شوری	۳	۰/۸۲۰ **	۱/۸٤ **	۱۱۳٥٦ **	۰/٥٥ **	۱٥٦٤ **
شوری × پتاسیم	۳	۰/۰٥۸ **	۲/۳۲ **	۳٥٦۹ **	۱٥/۲۲ **	۱۹۳٥ **
خطا	۱٥	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱	۲٦۳	۱/۰۰	۲/٥۸
ضریب تغییرات	-	۲/۳۲	۳/٦۹	۱۱	٤/۰۹	۲/۳٤

**** و* به‌ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح آماری یک و پنج درصد هستند.**

جدول ٤- اثر کاربرد برگی پتاسیم سولفات بر غلظت برخی عناصر برگ انگور بیدانه‌سفید در تنش شوری

تیمارهای آزمایشی		سدیم	پتاسیم	آهن	روی	منگنز
شوری	پتاسیم	% DW		mg kg^{-1} DW		
۰	۰	۰/۳٥ f	۱/۹٦ d	۱۰۳/۰ e	۲۲/۰ e	٤٥/۳ a
۲٥	۰	۰/٥۹ d	۱/۸۱ d	۱۲۱/۲ d	۲٤/۰ e	۳۷/۳ d
٥۰	۰	۰/۸۷ b	۱/٤٤ e	۱۳۰/۷ d	۳۱/۳ c	۳٤/۷ c
۱۰۰	۰	۰/۹۳ a	۱/۱٤ f	۱۳٦/۷ c	۲٥/۲ d	۲۲/۱ d
۰	۱/٥	۰/۲۸ g	۲/۷۳ a	۱۲٦/۰ cd	۲٥/٤ d	٤٦/۷ a
۲٥	۱/٥	۰/٤۱ e	۲/٦۱ ab	۱٤٥/۷ b	۳٤/۷ c	٤۲/۰ b
٥۰	۱/٥	۰/۷۳ c	۲/۳۳ c	۱٦۰/۷ a	٥٥/۱ b	۳۸/۲ c
۱۰۰	۱/٥	۰/۸۱ b	۲/۰٥ d	۱٤۷/۳ b	٦٤/۱ a	۳۳/۳ c

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح آماری ٥ درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. DW: وزن خشک

درصد) و به‌دنبال آن افزایش غلظت این یون در شیره سلولی، غلظت پتاسیم برگ تاک‌ها افزایش یافت. بیشترین غلظت پتاسیم موجود در برگ، تحت شوری صفر میلی‌مولار و پتاسیم ۱/٥ درصد مشاهده شد. (جدول ٤).

محتوای یون پتاسیم در بافت‌های گیاهی بیانگر وجود کاتیونی مهم است که یکی از اجزا مهم در تنظیم اسمزی سلول‌ها و حفظ آماس سلولی به‌شمار می‌رود (Mengel, 2007). سدیم اگرچه ممکن است تا حدودی باعث نگهداری آماس سلولی شود ولی قادر به جایگزینی و راه‌اندازی وظایف فیزیولوژیکی مرتبط با پتاسیم از قبیل ساخت پروتئین‌ها و فعال‌ساری آنزیم‌ها نیست (Grattan and Grieve, 1999).

اثر شوری، پتاسیم و همچنین اثر متقابل آنها بر غلظت عناصر آهن، روی و منگنز در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). تیمار شوری باعث افزایش غلظت آهن برگ تاک‌ها شد و این افزایش وابسته به غلظت شوری بوده و در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید به حداکثر رسید (جدول ٤). هم راستا با نتایج مطالعه حاضر، اعمال تنش شوری در توت‌فرنگی(Yildirim *et al*., 2009) و گوجه‌فرنگی (Grattan and Grieve, 1999) باعث افزایش غلظت آهن در برگ گیاهان تحت تنش شده است. کاربرد برگی پتاسیم سولفات ۱/٥ درصد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]

هم در تاک‌های بدون تنش شوری و هم در تاک‌های تحت تنش منجر به افزایش غلظت آهن برگ شد. بیشترین میزان آهن برگ در تیمار ۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید و کاربرد برگی پتاسیم سولفات حاصل شد (جدول ٤). اثر مثبت منابع مختلف کود پتاسیم بر بهبود جذب آهن در انگور (Karimi, 2017) و توت فرنگی (Yildirim *et al*., 2009) گزارش شده است.

در مطالعه حاضر غلظت روی در برگ تاک‌های تحت تنش شوری تا غلظت ۵۰ میلی‌مولار روند افزایشی و سپس کاهشی نشان داد (جدول ٤). افزایش غلظت روی در بافت برگ با افزایش تنش شوری در مرکبات (Ruiz *et al*., 1997) و گوجه‌فرنگی (Grattan and Grieve, 1999) نیز گزارش شده است که تأییدی بر یافته‌های مطالعه حاضر است. افزایش غلظت روی ممکن است با تغلیظ این عنصر در گیاه تحت شوری‌های بالا با توجه به کاهش جذب آب در ارتباط باشد. از طرفی کاربرد پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد باعث تقویت این روند افزایشی حتی تا غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم شد (جدول ٤) که حاکی از توانایی پتاسیم در تنظیم اسمزی و درنتیجه جذب و انتقال بهتر عنصر روی در شرایط تنش شوری است. اثر مثبت منابع مختلف کود پتاسیم بر بهبود جذب روی در انگور (Karimi, 2017) و توت‌فرنگی (Yildirim *et al*., 2009) گزارش شده است. زیرا این دو عنصر اثر هم افزایی بر روی هم داشته و جذب همدیگر را تشدید می‌کنند (Marschner, 2012).

غلظت منگنز برگ در پاسخ به تیمار شوری روند کاهشی نشان داد. به این ترتیب که با افزایش شوری از میزان غلظت منگنز به‌ویژه در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید کاسته شد (جدول ٤). در بیشتر مطالعات انجام‌گرفته در محصولات باغی از قبیل توت‌فرنگی (Yildirim *et al*., 2009)، کدو و گوجه‌فرنگی (Grattan and Grieve, 1999) شوری باعث کاهش غلظت منگنز در ساقه و برگ شده است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. تحت تنش شوری کاربرد برگی پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد باعث افزایش معنی‌دار غلظت منگنز برگ در مقایسه با تاک‌های بدون کاربرد برگی پتاسیم سولفات شد (جدول ٤). در واقع پتاسیم از طریق تنظیم اسمزی اثر معنی‌داری بر جذب و جابجایی سایر عناصر از جمله منگنز در گیاه دارد (Karimi, 2017).

در خاک‌های شور و قلیایی حلالیت ریزمغذی‌ها از قبیل آهن، روی و منگنز کم بوده و بسیاری از گیاهان رشدیافته در این خاک‌ها اغلب کمبود این عناصر را تجربه می کنند (Page *et al*., 1990). تفاوت در پاسخ گیاهان بستگی به نوع گیاه، سطح شوری، غلظت عناصر کم‌مصرف در بافت‌های گیاه دارد. درنتیجه ارتباط بین شوری و عناصر کم‌مصرف پیچیده بوده و شوری ممکن است باعث افزایش، کاهش و یا حتی عدم‌تأثیر بر غلظت ریزمغذی‌ها در بافت‌های گیاه شود (Grattan and Grieve, 1999). افزایش در غلظت آهن، روی و منگنز برگ در اثر برهمکنش شوری و پتاسیم با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مشاهده‌شده در این تیمارها ارتباط مستقیمی دارد. آهن نقش مهمی در حذف رادیکال‌های اکسیژن فعال دارد چرا که جز «هِم» (Heme) آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز است که موجب تجزیه آب‌اکسیژنه به آب و اکسیژن می‌شود (Curie and Briat, 2003). از طرفی روی برای فعالیت بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان خنثی‌کننده هیدروژن پراکسید از قبیل کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز لازم است و در گیاهان دچار کمبود روی معمولاً فعالیت این آنزیم‌ها کاهش می‌یابد (Cakmak, 2005). همچنین افزایش فعالیت کاتالاز و گایاکول پراکسیداز در پاسخ به غلظت بالای منگنز در درخت سپیدار به عنوان گیاه چوبی گزارش شده است (Lei *et al*., 2007)

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر کاربرد برگی پتاسیم سولفات ۱/۵ درصد باعث ایجاد تعادل بین یون‌های پتاسیم با سدیم و نیز بهبود جذب برخی ریزمغذی‌های در برگ نهال‌های انگور بیدانه‌سفید تحت تنش شوری شد. تیمار پتاسیم سولفات ضمن تجمع پروتئین‌های‌محلول، فلاونوئید و فنول کل و همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، منجر به کاهش تولید مالون

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]

دی‌آلدئید و هیدروژن پراکسید در برگ نهال‌های انگور تحت تنش شوری شد که از طریق کاهش صدمات اکسایشی وارده به غشا در اثر شوری، توان تحملی گیاه را در مواجهه با تنش شوری افزایش داد. لذا کاربرد برگی پتاسیم سولفات می‌تواند از طریق تقویت پاسخ‌های فیتوشیمیایی و نیز فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه باعث تخفیف اثرات تنش شوری در انگور شود. اگر چه بررسی اثر پتاسیم و دیگر عناصر بر تغییرات غلظت ابسیزیک اسید و پلی‌آمین‌های درون‌زاد می‌تواند فهم ما در رابطه با نقش این ترکیب در پاسخ تاک‌ها به تنش شوری افزایش دهد.

منابع

قربانی، آ.، کریمی، ر.، رسولی، م. و قبولی، م. (۱۳۹۵) تغییرات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تاک در پاسخ به تنش شوری. سومین کنفرانس ملی انگور و کشمش، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

میرباقری، م. (۱۳۹۶) تأثیر تغذیه برگی کلات آهن و پتاسیم سولفات بر شاخص‌های کمی و کیفی انگور رقم بیدانه‌سفید. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

Abbasi, G. H., Akhtar, J., Haq, M. A. and Ahmad, N. (2012) Screening of maize hybrids for salt tolerance at seedling stage under hydroponic condition. Soil and Environment 31: 83-90.

AbdElgawad, H., Zinta, G., Hegab, M. M., Pandey, R., Asard, H. and Abuelsoud, W. (2016) High salinity induces different oxidative stress and antioxidant responses in maize seedlings organs. Frontiers in Plant Science 7: 276.

Abdel-Shafey, H. I., Hegemann, W. and Reiner, A. (1994) Digestion with concentrated HNO_3 and H_2O_2. Environental Management 5: 21-24.

Bergmeyer, N. (1970) Methoden der Enzymatischen Analyse. AkademieVerlag, Berlin.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytic Biochem 72: 248-254.

Buege, J. A. and Aust, S. D. (1978) Microsomal lipid peroxidation. Methods Enzymol 52: 302-310.

Cakmak, I. (2005) The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 168: 521-530.

Chakraborty, K., Bhaduri, D., Meena, H. N. and Kalariya, K. (2016) External potassium (K^+) application improves salinity tolerance by promoting Na^+-exclusion, K^+- accumulation and osmotic adjustment in contrasting peanut cultivars. Plant Physiology and Biochemistry 103: 143-153.

Chang, C., Yang, M., Wen, H. and Chern, J.(2002) Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Journal of Food Drug Analysis 10: 178-182.

Cherel, L. (2004) Regulation of K^+ channel activities in plants: from physiological to molecular aspects. Journal of Experimental Botany 55: 337-351.

Cuin, T. A. and Shabala, S. (2007) Compatible solutes reduce ROS induced potassium efflux in Arabidopsis roots. Plant, Cell and Environment 30: 875-85.

Curie, C. and Briat, J. F. (2003) Iron transport and signaling in plants. Annual Review of Plant Biology 54: 183-206.

Fayez, K. A. and Bazaid, S. A. (2014) Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 13: 45-55.

Foyer, C. H. and Noctor, G. (2003) Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. Physiologia Plantarum 119: 355-364.

Gill, S. S. and Tuteja, N. (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry 48: 909-930.

Grattana, S. R. and Grieve, C. M. (1999) Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops .Scientia Horticulturae78: 127-157.

Gupta, B. and Huang, B. (2014) Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. International Journal of Genomics 2014: 18.

Heidari, M. and Jamshidi, P. (2011) Effects of salinity and potassium application on antioxidant enzyme activities and physiological parameters in pearl millet. Agricultural Sciences in China 10: 228-237.

Herzog, V. and Fahimi, H. D. (1973) Determination of the activity of peroxidase. Analytical Biochemistry 55: 554-562.

Hu, Y. and Schmidhalter, U. (2005) Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 168: 541-549.

Jiang, M. K. and Zhang, J. (2004) Abscisic acid and antioxidant defense in plant cells. Acta Botanica Sinica 46: 1-9.

Karimi, R. (2017) Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. Scientia Horticultura 215: 184-194.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]

Karimi, R., Ershadi, A., Rezaei Nejad, A. and Khanizadeh, S. (2016) Abscisic acid alleviates the deleterious effects of cold stress on 'Sultana' grapevine (*Vitis vinifera* L.) plants by improving the anti-oxidant activity and photosynthetic capacity of leaves. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 91: 386-395.

Kaya, C., Tuna, A. L., Ashraf, M. and Altunlu, H. (2006) Improved salt tolerance of melon (*Cucumis melo* L.) by the addition of proline and potassium nitrate. Environmental and Experimental Botany 6: 397-403.

Kholova, J., Sairam, R. K., Meena, R. C. and Srivastava, G. S. (2009) Response of maize genotypes to salinity stress in relation to osmolytes and metal ions contents, oxidative stress and antioxidant enzymes activity. Biologia Plantarum 53: 249-256.

Koca, H., Ozdemir, F. and Turkan, I. (2006) Effect of salt stress on lipid peroxidation and superoxide dismutase and peroxidase activities of *Lycopersicon esculentum* L. and *pennellii*. Biologia Plantarum 50: 745-748.

Lei, Y., Korpelainen, H. and Li, C. (2007) Physiological and biochemical responses to high Mn concentrations in two contrasting *Populus cathayana* populations. Chemosphere 68: 686-694

Liang, T. B., Wang, Z. L., Wang, R. J., Liu, L. L. and Shi, C. Y. (2007) Effect of potassium humate on ginger root growth and its active oxygen metabolism. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao = The journal of applied ecology 18: 813-817.

Maas, E. V. and Hoffman, G. J. (1977) Salt crop tolerance – Current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division 103: 115-134.

Marschner, P. (2012) Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3nd Ed. Academic Press, London.

Mengel, K. (2007) Potassium. In: Handbook of Plant Nutrition (eds. Barker, A.V. and Pilbeam, D. J.) Pp. 91-120. CRC Press, USA.

Mittler, R. (2002) Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science 7: 405-410.

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

Nakano, Y. and Asada, K. (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology 22: 867-880.

Page, A. L., Chang, A. C. and Adriano, D. C. (1990) Deficiencies and toxicities of trace elements. Agricultural Salinity Assessment and Management 71: 138-160.

Peng, Q. and Zhou, Q. (2009) Antioxidant capacity of flavonoid in soybean seedlings under the joint actions of rare earth element La (III) and ultraviolet-B stress. Biological Trace Element Research 127: 69-80

Ruiz, D., Martınez, V. and Cerda, A. (1997) Citrus response to salinity: growth and nutrient uptake. Tree Physiology 17: 141-150.

Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S. and Pessarakli, M. (2012) Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. Journal of Botany 2012: 26.

Soleimanzadeh, H., Habibi, D. M., Ardakani, R., Paknejad, F. and Rejali, F. (2010) Response of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) to inoculation with Azotobacter under different nitrogen levels. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science 7: 265-268.

Soleimanzadeh, H. D., Habibi, M. R., Ardakani, F., and Rejali, F. (2010) Effect of potassium levels on antioxidant enzymes and malondialdehyde content under drought stressin Sunflower (*Helianthus annuus* L.). American Journal of Agricultural and Biological Sciences 5: 56-61.

Velikova, V. and Loreto, F. (2005) The relationship between isoprene emission and thermo tolerance in *Phragmites ausrralis* leaves exposed to high temperatures and during the recovery from a heat stress. Plant, Cell and Environment 28: 318-327.

Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L. and Oomah, B. D. (1998) Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products. Journal of Agriculture and Food Chemistry 46: 4113-4117.

Yildirim, E., Karlidag, H. and Turan, M. (2009) Mitigation of salt stress in strawberry by foliar K, Ca and Mg nutrient supply. Plant, Soil and Environment 55: 213-221.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]

Phytochemical responses and antioxidant activity of potassium-treated grapevines (*Vitis vinifera* L.) in salinity stress condition

Rouhollah Karimi*, Behrooz Mohamad Parast and Raziyeh Minazadeh

[1]Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Malayer University.
[2]Department of Biology, Faculty of Sciences, Malayer University.
(Received: 15/02/2018, Accepted: 06/08/2018)

Abstract

Supplemental nutrition through affecting both enzymatic and non-enzymatic protective systems can modulate the oxidative stress induced by salinity. In this study, the interaction effect of foliar application potassium (0 and 1.5% potassium sulfate; PS) and salinity (0, 25, 50 and 100 mM sodium chloride) on membrane degradation indices, phytochemical responses and antioxidant enzyme activities and also leaf nutrient elements of Bidaneh-Sefid grapevine were investigated as a factorial experiment based on a completely randomized design. By increasing salinity, hydrogen peroxide and malondialdehyde were increased in vines leaves under salinity stress. However, the application of PS at 1.5% decreased the concentration of these indices 20 and 26 percentage respectively. As the salinity increased, the phenolic and flavonoid content of the leaves increased in the vines, however, foliar application of PS at 1.5% increased their content at the higher level in PS-treated vines. Moreover, in PS- treated vine at 1.5% soluble proteins increased dramatically even in high NaCl levels. Catalase and ascorbate peroxides activity increased until 50 Mm salinity stress, while with PS at 1.5% treated vine, the activities of these enzymes increased until 100 Mm NaCl. Potassium application also increased these enzyme activities at all levels of salinity. Also, the interaction of salinity and PS increased guaiacol peroxidase activity. Iron, zinc and leaf manganese concentrations increased due to the interaction of salinity and potassium. Totally, PS through the accumulation of soluble proteins, flavonoids and phenol, as well as increasing the activity of antioxidant enzymes finally reduced the oxidative stress induced by salinity in the vine leaves.

Keywords: Catalase, Grape, Micronutrients, Nutrition, Total Phenol

Corresponding author, Email: Rouholahkarimi@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.22.0]