مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۱۵ شماره ۳ صفحه‌های ۲۸۷ تا ۲۹۶ (۱۳۹۳)

واکنش رشد و فتوسنتز دو رقم انگور به محلول‌پاشی با سدیم نیتروپروساید در شرایط شوری[1]

Growth and Photosynthesis Response of Two Grapevine Cultivars to Nitric Oxide Foliar Application under Salinity Conditions

جعفر امیری، سعید عشقی*، عنایت‌اله تفضلی، مجید راحمی و ناصر عباسپور[2]

چکیده

شوری آب و خاک، یکی از مشکل‌های مهم توسعه کشاورزی و از عامل‌های محدود کننده عملکرد گیاه در دنیا است. اکسید نیتریک به عنوان یک مولکول انتقال پیام در بسیاری از مرحله‌های زیست شیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه نقش دارد. به منظور بررسی افزایش مقدار مقاومت به شوری دو رقم انگور 'قره شانی' و 'تامپسون سیدلس' با کاربرد سدیم نیتروپروساید، در شرایط تنش شوری، پژوهشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. قلمه‌های ریشه‌دار هر دو رقم با چهار سطح شوری محلول غذایی، صفر (شاهد)، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار و سه سطح محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید، صفر (شاهد)، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار تیمار شدند. نتیجه‌ها نشان داد کلرید سدیم، باعث کاهش وزن خشک ریشه و شاخساره شد. مقدار کاهش سطح برگ در بالاترین سطح شوری با کاربرد سدیم نیتروپروساید ۱ میلی‌مولار در 'قره شانی' و 'تامپسون سیدلس' به ترتیب ۴۱/۰۳ و ۴۸/۱۴٪ در مقایسه با شاهد بود. همچنین سطح‌های بالای شوری (به ویژه ۱۰۰ میلی‌مولار)، سبب کاهش کلروفیل برگ، کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق و به دنبال آن فتوسنتز خالص برگ در هر دو رقم، به ویژه در 'تامپسون سیدلس' شد. مقدار کاهش فتوسنتز خالص در 'قره شانی' در سطح‌های شوری ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار با کاربرد بالاترین سطح سدیم نیتروپروساید به ترتیب ۳/۲۲ و ۳۱/۷۸٪ شد. در شرایط تنش شوری، کاربرد سدیم نیتروپروساید (به ویژه در غلظت ۱ میلی‌مولار) باعث افزایش کارایی رشد و فتوسنتز در هر دو رقم، به ویژه 'قره شانی' شد. بنابراین کاربرد این ماده برای کاهش اثر منفی شوری بر جنبه‌های مختلف رشد پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انگور، تعرق، سدیم نیتروپروساید، سطح برگ، کلروفیل، هدایت روزنه‌ای.

مقدمه

شوری آب و خاک از بزرگترین مشکل‌های منطقه‌های خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود، به طوری که حدود ۲۰٪ کل زمین‌های زیر کشت دنیا و ۵۰٪ زمین‌های آبیاری شده با مشکل شوری مواجه هستند (۱۴). تنش شوری می‌تواند هم‌ایستایی اسمزی را بر هم زند و منجر به کاهش شادابی و تغییر در حجم یاخته (۹) و نیز تجمع یون‌های سدیم و کلر در یاخته‌های گیاهی و در نهایت مرگ یاخته‌ای شود. سطح‌های بالای یون‌های سدیم می‌تواند بر فعالیت آنزیم‌ها اثر منفی داشته باشد و مقدار فتوسنتز را کاهش دهد (۲۶). تنش شوری در گیاهان، با کاهش سطح برگ، پیری زودرس برگ‌ها و بستن روزنه‌ها همراه است و بازده فتوسنتز را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد (۳۸).

۱- تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۱۴

۲- به ترتیب استادیار علوم باغبانی دانشگاه ارومیه، دانشیار و استادهای علوم باغبانی، دانشگاه شیراز و استادیار زیست شناسی، دانشگاه ارومیه.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (eshghi@shirazu.ac.ir)

انگور به نسبت به شوری حساس است و آسیب ناشی از شوری، بیشتر به وسیله تجمع یون‌های کلر در انگور ایجاد می‌شود. با وجود این، پاسخ انگور به شوری بستگی به عامل‌هایی از جمله ترکیب پایه- پیوندک، سامانه آبیاری، نوع خاک، سن بوته و شرایط آب و هوایی دارد (۱۵). مقدار تحمل گونه‌های انگور به شوری بسیار متفاوت است اما به طور کلی تا سطح ۱/۵ دسی زیمنس بر متر را تحمل می‌کند (۱).

طبق پژوهش‌های شانی و بنگال (۳۳)، پاسخ انگور به شوری، ابتدا شامل کاهش مقدار رشد و تعرق است که نتیجه کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک در اثر شوری است و به دنبال آن، مرگ انگور اتفاق می‌افتد که ارتباط با سطح‌های شوری دارد و نتیجه آن افزایش سریع در یون‌های سمی مانند کلر و سدیم است. در پژوهشی، بر روی دو رقم انگور 'سلطانا' و 'ماسکل' که در طول مدت دو ماه، در معرض سطح‌های شوری (۰/۳، ۲/۷، ۵/۴۵ دسی‌زیمنس بر متر) قرار گرفته بودند، کاهش شاخص‌های رویشی مانند وزن خشک ریشه، شاخساره و برگ گزارش شد (۳۶). در پژوهش‌های دیگری روی رقم‌های انگور مشاهده شد که با افزایش شوری، مقدار فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق و کلروفیل کاهش یافت (۱۵، ۳۶). کاهش در مقدار کلروفیل گیاهان در اثر تنش شوری، در پژوهش‌ها گزارش و سازوکارهایی برای آن گفته شده است. یکی از مهم‌ترین سازوکارها، تخریب غشای یاخته‌ای برگ‌ها است (۲۵). سازوکار دیگر برای کاهش کلروفیل در شرایط تنش شوری، می‌تواند به دلیل تغییر سوخت و ساز نیتروژن (نیتروژن یکی از عنصرهای مهم در ساختار کلروفیل است) در رابطه با ساختن ترکیب‌هایی مانند پرولین باشد که در تنظیم اسمزی به کار می‌روند (۳۲). بسرا و بسرا (۳) بیان کردند که در تنش شوری (یا خشکی) فعالیت آنزیم گلوتامات لیگاز برای ساخت کلروفیل کاهش می‌یابد، در مقابل آنزیم گلوتامین کیناز برای تبدیل گلوتامین به پرولین فعال می‌شود (گلوتامات ماده پیش ساز کلروفیل و پرولین است). خان و همکاران (۲۱) در بررسی‌های خود نشان دادند که کاهش در مقدار کلروفیل ممکن است نتیجه افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و یا اثر مستقیم سمیت یونی ناشی از غلظت بالای سدیم باشد.

امروزه از ترکیب‌هایی مانند سایکوسل برای مقابله با تنش خشکی (۱۰)، سالیسیلیک اسید برای مقابله با تنش‌هایی مانند خشکی، شوری و دماهای زیاد (۷) و هومیک اسید برای کاهش جذب فلزهای سنگین مانند کادمیم استفاده می‌شود (۱۹) که این ترکیب‌ها قادرند تأثیر صدمه‌های ناشی از تنش‌های متنوع محیطی را به مقدار زیادی کاهش دهند. یکی دیگر از این ترکیب‌های مهم، اکسید نیتریک می‌باشد. مقدار تولید اکسید نیتریک درونی در شرایط تنش‌های محیطی، مکانیکی و شیمیایی در گونه‌های گیاهی افزایش می‌یابد و می‌تواند باعث تنظیم پاسخ گیاهان به تنش‌های غیرزنده شود (۱۱). نقش‌های دفاعی اکسید نیتریک در گیاهان بستگی به غلظت اکسید نیتریک، بافت گیاهی، سن گیاه، گونه گیاهی و نوع تنش دارد (۴). در رابطه با اثر اکسید نیتریک در کاهش اثرهای منفی تنش شوری، پژوهش‌های متعددی صورت گرفته است (۳۴، ۴۱). کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق (۱۶) در باقلا، افزایش طول ریشه (۲۳) در لوپن، افزایش وزن خشک شاخساره و ریشه (۳۴، ۴۱) در گوجه فرنگی و خیار و افزایش مقدار کلروفیل (۵) در برگ‌های کاهو شد. در برخی پژوهش‌ها گزارش شده است که در حضور اکسید نیتریک دسترسی گیاه به آهن بیشتر می‌شود و این دلیل، به عنوان یکی از نقش‌های مهم اکسید نیتریک در حفظ مقدار کلروفیل گیاه می‌باشد (۳۰). بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بررسی افزایش مقدار مقاومت به شوری دو رقم انگور 'قره شانی' و 'تامپسون سیدلس' با کاربرد سدیم نیتروپروساید و تأثیر آن بر بهبود شاخص‌های رشدی و بازده فتوسنتز در شرایط شوری بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ اجرا شد. به منظور بررسی تأثیر سدیم نیتروپروساید (به عنوان ماده آزاد کننده اکسید نیتریک) بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک دو رقم انگور ('قره شانی' و 'تامپسون سیدلس') در شرایط تنش شوری، آزمایشی

گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار و هر تکرار شامل یک گلدان (هر گلدان محتوی یک قلمه انگور) طراحی شد. pH محلول غذایی ۶/۳ بود. از شروع کاشت قلمه‌های ریشه‌دار شده در گلدان‌ها، گیاهان، هفته‌ای سه بار، ابتدا با ۱۵۰ میلی‌لیتر و در ادامه همزمان با افزایش رشد گیاهان با ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول غذایی هوگلند تغییر یافته (نیم غلظت) آبیاری شدند. بعد از گذشت ۳/۵ ماه از کاشت قلمه‌ها، قلمه‌های ریشه‌دار شده یکدست و هم اندازه، به گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۵ و ارتفاع ۲۶ سانتی‌متر، دارای محیط کشت پرلیت و کوکوپیت (به نسبت حجمی ۱:۱) منتقل شدند و در شرایط سیستم آب کشت باز قرار گرفتند. گیاهان به مدت ۱۰۰ روز در گلخانه‌ای با شرایط نوری طبیعی و دمای متغیر بین ۳±۲۷/۱۹ درجه سلسیوس (شب و روز) و رطوبت نسبی۱۰±۵۰٪ مستقر شدند. بعد از این مدت، گیاهان (با ارتفاع بوته ۸۰-۷۵ سانتی‌متر) با چهار سطح شوری افزوده شده به محلول غذایی، صفر (شاهد)، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار و سه سطح محلول‌پاشی برگساره‌ای سدیم نیتروپروساید، صفر (شاهد)، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار تیمار شدند. تیمارهای شوری به مدت هفت هفته ادامه یافت و این تیمارها همراه با محلول غذایی (به طور یک روز در میان) به گیاهان داده می‌شد. محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید در چهار مرحله (در زمان شروع تیمار شوری و مرحله‌های بعدی، ۲، ۴ و ۶ هفته بعد) روی برگ‌ها انجام شد.

هدایت الکتریکی (EC) نمک‌های مورد استفاده در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، به ترتیب ۳/۶، ۷/۵ و ۱۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. برخی ویژگی‌های رویشی گیاهان مورد آزمایش، شامل ارتفاع بوته و طول ریشه توسط خط‌کش، قطر ساقه توسط کولیس دیجیتال (No:Z, Model 22855)، سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter, AM 200) و وزن تر ساقه و ریشه به کمک ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد. همچنین تعداد برگ‌ها شمارش شد. جهت تعیین وزن خشک نمونه‌ها (شاخساره و ریشه)، ابتدا نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در خشک کن با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و پس از خارج نمودن نمونه‌ها از خشک کن، وزن خشک آن‌ها به کمک ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) تعیین شد. اندازه‌گیری ویژگی‌های رویشی گیاهان در پایان دوره آزمایش صورت گرفت.

برای اندازه‌گیری رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید، از روش لیچتن هالر و ولبورن (۲۴) استفاده شد. ۰/۱ گرم از بافت برگ به همراه ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ در هاون چینی ساییده و عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۲۵۰۰ دور در دقیقه، سانتریفیوژ شد. سپس جذب فاز بالایی هر یک از نمونه‌های سانتریفیوژ شده توسط اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۲، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای محاسبه کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید از فرمول‌های زیر استفاده شد:

$$\text{Chl. a} = 11.75\ A_{662} - 2.350\ A_{645}$$
$$\text{Chl. b} = 18.61\ A_{645} - 3.960\ A_{662}$$
$$\text{Car.} = 1000\ A_{470} - 2.270\ \text{Chl. a} - 81.4\ \text{Chl. b} / 227$$

در این رابطه Chl. a، Chl. b و Car. به ترتیب غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید و A مقدار جذب خوانده شده در هر طول موج توسط اسپکتروفتومتر می‌باشد. اندازه‌گیری مقدار فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای و مقدار تعرق، با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری فتوسنتز (مدل Walz, HCM-1000، ساخت کشور آلمان) در ساعت ۱۱ صبح تا ۱۳ بعد از ظهر صورت گرفت. برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد بررسی، از نرم‌افزار SAS سری 9.1 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel سری ۲۰۱۰ استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتیجه‌های این پژوهش، سطح‌های مختلف شوری بر تمامی شاخص‌های رشدی تأثیر معنی‌داری داشت که البته این تأثیر، بسته به سطح شوری و رقم متفاوت بود. با افزایش سطح‌های شوری محلول غذایی، ویژگی‌های رویشی از جمله طول ریشه، طول ساقه، وزن تر و خشک ریشه و شاخساره، تعداد برگ، سطح برگ و قطر ساقه کاهش یافت (جدول ۱). بیشترین تأثیر منفی شوری بر ویژگی‌های رویشی، در بالاترین سطح شوری (۱۰۰ میلی‌مولار)، مشاهده شد که البته این تأثیر شوری، در هر دو رقم، به ویژه در 'تامپسون سیدلس' بیشتر نمایان شد. نتیجه‌های مشابهی از تأثیر منفی شوری بر شاخص‌های رشدی در گیاهان دیگری مانند توت فرنگی (۲۰)، توت (۲)، گیلاس (۱۲)، پسته (۳۱) و کیوی (۸) گزارش شده است.

کاربرد سدیم نیتروپروساید، به ویژه در غلظت ۱ میلی‌مولار، در سطح‌های شوری، تأثیر مثبتی بر بیشتر ویژگی‌های رویشی بیان شده داشت، به طوری که این تأثیر مثبت، در هر دو رقم انگور نیز مشاهده شد، اما در بیشتر این ویژگی‌ها، کاربرد سدیم نیتروپروساید، در سطح‌های بالای شوری (به ویژه در ۱۰۰ میلی‌مولار)، از نظر آماری، معنی‌دار نبود و یا تأثیر کمی داشت. درصد کاهش تعداد و سطح برگ در 'قره شانی' در سطح‌های شوری بالا (۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار)، با کاربرد سدیم نیتروپروساید، به طور معنی‌داری کم‌تر از رقم 'تامپسون سیدلس' بود، همچنین تأثیر این ترکیب بر کاهش اثر منفی شوری بر وزن خشک شاخساره و ریشه در سطح‌های بالای شوری، در 'قره شانی' بیشتر بود (جدول ۱). در هر دو رقم، تأثیر مثبت سدیم نیترو پروساید در کاهش اثرهای منفی شوری بر طول ریشه، وزن تر ریشه و شاخساره و قطرساقه، فقط در سطح‌های پایین شوری مشاهده شد و در سطح‌های بالای شوری، بین غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید، تفاوت آماری وجود نداشت (جدول ۱). تأثیر مثبت سدیم نیتروپروساید در کاهش اثرهای منفی شوری بر شاخص‌های رشد، با یافته‌های ویو و همکاران (۴۰) در گوجه فرنگی و همچنین، شای و همکاران (۳۴) در خیار هم سو می‌باشد. به احتمال فراوان، عامل‌های مهمی مانند پتانسیل منفی بسیار زیاد آب در محیط اطراف ریشه، سمیت یونی و تعادل نداشتن یونی و تغذیه‌ای، در کاهش شاخص‌های رشد، دخالت دارند. همچنین، در این راستا، بوهنرت و همکاران (۶) بیان نمودند که محیط‌های شور، در ابتدا باعث به هم خوردن تعادل پتانسیل آب میان آپوپلاست و سیم‌پلاست می‌شوند که خود باعث کاهش در پتانسیل فشار یاخته و در نهایت کاهش رشد رویشی می‌شود. کاهش در سطح برگ نشان می‌دهد که هم تقسیم و هم بزرگ شدن یاخته‌ای در برگ به طور معنی‌داری در اثر شوری قرار گرفته است. مانس (۲۹) بر این عقیده است که اولین پاسخ گیاهان به شوری در محیط ریشه، کاهش رشد برگ‌ها (به مقدار کم‌تری رشد ریشه‌ها) می‌باشد. همچنین تنش شوری، با افزایش بافت‌مردگی و تسریع پیری در برگ‌ها، باعث کاهش فتوسنتز گیاهان می‌شود و به دنبال آن ماده‌های پرورده فتوسنتزی و کربوهیدرات‌ها کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد این موردها نیز در کاهش رشد رویشی، دخالت زیادی داشته باشند. بر اساس نتیجه‌های به دست آمده روی ویژگی‌های رویشی می‌توان گفت رقم 'قره شانی' در مقایسه با رقم 'تامپسون سیدلس' نسبت به شوری متحمل‌تر است و این نتیجه‌ها با یافته‌های محمد خانی و همکاران (۲۷) مطابقت دارد.

تنش شوری (به ویژه در تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار) باعث شد که در هر دو رقم، مقدار کلروفیل گیاه کاهش یابد. تنش شوری، از راه اثرهای منفی اسمزی و یونی، بر مقدار فتوسنتز و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاهان اثر می‌گذارد (۲۸). تأثیر منفی شوری بر کاهش کلروفیل‌های a و b در 'قره شانی' کم‌تر از 'تامپسون سیدلس' بود (جدول ۲). همچنین با افزایش غلظت کلرید سدیم، مقدار کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a/b و نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئیدها به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش یافت. مقدار کاهش کلروفیل کل در سطح‌های شوری مختلف، در رقم 'قره شانی' به مراتب پایین‌تر از 'تامپسون سیدلس' بود (جدول ۲).

جدول ۱- اثر محلول‌پاشی اکسید نیتریک بر برخی ویژگی‌های رشدی دو رقم انگور در شرایط شوری.

Table 1. Effect of nitric oxide foliar spray on some growth characteristics of two grape cultivars under salinity conditions.

رقم‌های انگور Grape cultivars	کلرید سدیم NaCl (mM)	سدیم نیتروپروساید Sodium nitroprusside (mM)	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight (g)	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	طول ساقه Stem length (cm)	طول ریشه Root length (cm)	سطح برگ Leaf area (cm^2)	تعداد برگ Leaf number
‘قره شانی’ ‘Qarah Shani’	0.0	0.0	17.28 c†	6.20 c	38.22 c	32.12 b	5.39 b	53.45 c	75.92 a-c	111.52 d	50.25 a
		0.5	14.45 e	4.86 e	36.88 c	31.84 b	5.40 bc	56.41 b	74.16 c	110.25 d	46.53 b
		1.0	16.01 d	4.92 de	37.51 c	32.35 b	5.32 bc	51.79 c	77.11 a-c	108.00 d	52.00 a
	50	0.0	7.52 jk	3.12 fg	18.58 g-i	22.58 d	4.83 ef	35.07 f	46.58 e	77.25 h	34.25 c
		0.5	8.19 i-k	3.06 fg	19.29 f-h	20.30 de	4.78 f	34.67 f	46.45 e	74.75 h	35.00 c
		1.0	8.91 g-i	3.49 f	21.45 f	22.26 d	4.94 d	38.02 e	55.43 d	85.25 g	44.25 b
	75	0.0	5.13 l	1.87 h-j	14.97 jk	16.47 fg	4.40 gh	26.56 i	44.73 ef	54.00 j	24.50 e-g
		0.5	5.61 l	1.91 h-j	15.69 j	15.40 g	4.32 h	24.48 ij	41.19 f	55.75 j	25.25 ef
		1.0	6.99 k	2.32 h	16.86 ij	16.42 fg	4.39 gh	28.11 hi	53.36 d	65.25 i	30.50 d
	100	0.0	3.76 m	1.21 j	8.84 l	10.17 h	3.97 j	20.54 k	33.40 hi	46.25 k	22.25 fg
		0.5	4.34 lm	1.29 j	9.46 l	10.91 h	4.08 i	23.54 jk	31.47 i	45.75 k	25.00 e-g
		1.0	4.45 lm	1.31 j	10.94 l	11.21 h	4.17 i	22.93 jk	35.87 gh	49.75 k	26.75 e
‘تامپسون سیدلس’ ‘Thompson Seedless’	0.0	0.0	21.06 a	7.64 b	45.26 ab	44.92 a	6.24 a	69.98 a	77.99 ab	181.75 a	35.00 c
		0.5	18.92 b	8.31 ab	44.52 b	46.20 a	6.16 a	71.83 a	78.83 a	183.25 a	33.25 cd
		1.0	20.08 ab	9.01 a	46.98 a	43.01 a	6.15 a	70.78 a	75.18 b-c	180.25 a	33.00 cd
	50	0.0	9.74 gh	5.66 cd	25.85 e	26.92 c	5.30 c	47.63 d	43.74 ef	124.75 c	18.75 hi
		0.5	10.01 g	5.46 c-e	24.73 e	26.41 c	5.32 bc	45.53 d	45.03 ef	123.50 c	17.25 ij
		1.0	11.94 f	5.49 c-e	29.33 d	28.07 c	5.40 b	51.74 c	53.72 d	135.00 b	23.25 fg
	75	0.0	8.45 h-j	2.21 hi	20.04 f-h	17.94 ef	4.92 d	32.62 fg	37.12 g	100.50 e	17.75 ij
		0.5	8.11 i-k	1.91 h-j	18.63 g-i	16.47 fg	4.87 de	31.38 g	38.29 g	97.75 e	17.50 ij
		1.0	9.03 g-i	2.45 gh	20.66 fg	18.14 ef	4.98 d	33.99 f	41.55 f	110.50 d	21.75 gh
	100	0	4.83 lm	1.43 ij	13.26 k	11.49 h	4.51 g	31.13 g	31.83 i	86.25 g	14.75 j
		0.5	5.68 l	1.21 j	15.62 j	10.82 h	4.45 g	32.85f g	33.07 i	85.50 g	14.50 j
		1.0	7.82 i-k	1.40 j	17.86 hi	10.70 h	4.43 g	30.46 gh	36.81 g	90.25 f	15.00 j

† In each column means followed by similar letters are not significantly different at 1% probability level by Duncan multiple range test.

† میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه در هر ستون از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نیستند.

جدول ۲- اثر محلول‌پاشی اکسید نیتریک بر رنگدانه‌های فتوسنتزی دو رقم انگور در شرایط شوری.

Table 2. Effect of nitric oxide foliar spray on photosynthetic pigments of two grape cultivars under salinity condition.

رقم‌های انگور Grape cultivars	کلرید سدیم NaCl (mM)	سدیم نیتروپروساید Sodium nitroprusside (mM)	کلروفیل a Chlorophyll a (µm g F.w.$^{-1}$)	کلروفیل b Chlorophyll b (µm g F.w.$^{-1}$)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (µm g F.w.$^{-1}$)	کلروفیل a/b Chlorophyll a/b	کاروتنوئید Carotenoids (µm g F.w.$^{-1}$)	کلروفیل کل/ کاروتنوئید Total Chlorophyll /Carotenoids
‘قره شانی’ ‘Qarah Shani’	0.0	0.0	18.39 cd†	7.76 a	26.15 b	2.38 d-f	1.39 g	18.92 a
		0.5	19.76 ab	7.90 a	27.66 a	2.51 de	1.53 g	18.63 a
		1.0	20.07 a	8.04 a	28.11 a	2.50 de	1.62 g	17.40 a
	50	0.0	15.92 f	5.01 d	20.93 e	3.18 ab	4.90 a-c	4.31 de
		0.5	15.96 f	5.15 d	21.11 e	3.09 b	4.88 a-c	4.46 de
		1.0	17.14 e	5.81 c	22.95 d	2.95 b	2.98 e-f	8.03 bc
	75	0.0	13.24 h	4.18 e-g	17.42 g	3.17 ab	4.83 a-d	3.68 de
		0.5	13.33 h	4.23 ef	17.56 g	3.14 b	4.71 a-d	3.77 de
		1.0	15.32 f	5.03 d	20.36 e	3.05 b	3.09 ef	6.61 cd
	100	0.0	9.92 k	3.77 g-i	13.69 j	2.65 cd	5.23 ab	2.65 e
		0.5	10.13 k	3.97 f-h	14.09 j	2.56 de	4.77 a-d	3.32 e
		1.0	11.06 j	4.41 e	15.47 i	2.51 de	3.62 c-e	4.41 de
‘تامپسون سیدلس’ ‘Thompson Seedless’	0.0	0.0	17.95 de	7.24 b	25.19 c	2.48 de	1.26 g	20.13 a
		0.5	19.16 bc	7.28 b	26.44 b	2.63 d	1.35 g	19.78 a
		1.0	18.23 d	7.29 b	25.52 bc	2.50 de	1.36 g	18.92 a
	50	0.0	12.82 hi	3.96 f-h	16.78 gh	3.24 ab	4.27 b-e	4.03 de
		0.5	12.34 i	3.93 f-h	16.28 hi	3.14 b	4.14 b-e	3.95 de
		1.0	14.43 g	4.18 e-g	18.61 f	3.45 a	2.02 fg	9.65 b
	75	0.0	8.01 mn	3.56 h-g	11.57 l	2.26 ef	5.27 ab	2.24 e
		0.5	8.24 lm	3.44 ij	11.68 kl	2.41 d-f	6.01 a	1.95 e
		1.0	11.48 j	3.92 f-h	15.40 i	2.93 bc	3.52 de	4.42 de
	100	0	6.58 o	3.03 k	9.61 n	2.17 f	5.67 a	1.72 e
		0.5	7.36 no	3.21 jk	10.57 m	2.29 ef	5.96 a	1.79 e
		1.0	8.93 l	3.63 hi	12.56 k	2.46 d-f	3.31 e	3.76 de

† In each column means followed by similar letters are not significantly different at 1% probability level by Duncan multiple range test.

† میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه در هر ستون از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نیستند.

زمانی که از سدیم نیتروپروساید در هر دو رقم استفاده شد، از تأثیر منفی شوری بر مقدار کاهش کلروفیل‌های a، b و کلروفیل کل در مقایسه با شاهد به مقدار زیادی کاسته شد، اما در بالاترین سطح شوری (۱۰۰ میلی‌مولار) تأثیر معنی‌داری نداشت. در سطح‌های شوری، غلظت ۱ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید، بیشترین تأثیر را بر کاهش اثرهای منفی شوری بر کلروفیل b داشت (جدول ۲). در این مورد به نظر می‌رسد که اثر سدیم نیتروپروساید به واکنش آن با رادیکال‌های آزاد اکسیژن برمی‌گردد، زیرا رادیکال‌های آزاد اکسیژن، اصلی‌ترین عاملی هستند که در شرایط تنش، باعث خسارت و شکستن رنگدانه‌های فتوسنتزی و پروتئین‌های ساختاری دستگاه فتوسنتز می‌شوند. این اثر رادیکال‌های آزاد اکسیژن، در سیستم نوری دو (II) اثبات شده است (۲۲). غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید، در هر دو رقم، بیشترین تأثیر را بر کاهش اثرهای منفی شوری بر مقدار کلروفیل داشت.

در هر دو رقم (به ویژه در رقم ‘تامپسون سیدلس’)، با افزایش سطح‌های شوری، کاهش معنی‌داری در مقدار فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای و تعرق در مقایسه با شاهد مشاهده شد. هافمن و همکاران (۱۸) بیان نمودند که مقدار هدایت روزنه‌ای، تعرق و غلظت دی اکسید کربن درون برگ، در اثر تنش شوری شدید کاهش می‌یابد. تأثیر شوری بر کاهش بازده فتوسنتز در رقم ‘تامپسون سیدلس’ بیشتر از رقم ‘قره شانی’ بود (جدول

۳). فتوسنتز یکی از مهم‌ترین مسیرهای زیست شیمیایی در گیاهان محسوب می‌شود که ماده‌های غذایی را برای رشد گیاهان فراهم می‌کند. در این پژوهش، تنش شوری از راه تأثیر منفی بر تعداد و سطح برگ و مقدار کلروفیل، بازده فتوسنتز را در هر دو رقم کاهش داد و در نتیجه با کاهش ماده‌های فتوسنتزی تولید شده توسط برگ‌ها، رشد رویشی، کاهش یافت. همچنین، عامل‌های دیگری مانند کاهش پتانسیل آب برگ (۳۵)، برهم خوردن تعادل بین یون‌های سدیم و کلر با عنصرهای غذایی ضروری (۲۰) و نیز بسته شدن روزنه‌ها (۳۷)، می‌تواند دلیل‌های دیگری برای کاهش بازده فتوسنتزی در اثر تنش شوری باشد. کاربرد سدیم نیتروپروساید، به ویژه در غلظت ۱ میلی‌مولار، تا حدودی توانست بازده فتوسنتز را بهبود بخشد. تنش شوری، باعث جلوگیری از انتقال الکترون فتوسنتزی، کاهش هدایت روزنه‌ای و افزایش تولید انواع رادیکال‌های آزاد اکسیژن و به دنبال آن آسیب اکسیداسیونی به سیستم‌های نوری ۱ و ۲ می‌شود (۳۹). یافته‌های این پژوهش در مورد نقش مثبت سدیم نیتروپروساید، در بهبود فتوسنتز در شرایط تنش شوری، با یافته‌های حیات و همکاران (۱۷) در گوجه فرنگی، فان و همکاران (۱۳) در خیار و زین و همکاران (۴۱) در لولیوم هم سو است. کاهش هدایت روزنه‌ای در هر دو رقم انگور (به خصوص در سطح شوری ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار) ظرفیت فتوسنتز خالص را محدود نمود. در سطح‌های بالای شوری، کاهش هدایت روزنه‌ای، با کاهش مقدار کلروفیل برگ همراه و نتیجه آن کاهش قابل توجه فتوسنتز خالص برگ بود.

جدول ۳- اثر محلول‌پاشی اکسید نیتریک بر برخی ویژگی‌های فتوسنتزی دو رقم انگور در شرایط شوری.

Table 1. Effect of nitric oxide foliar spray on some photosynthetic parameters of two grape cultivars under salinity condition.

رقم‌های انگور Grape cultivars	کلرید سدیم NaCl (mM)	سدیم نیتروپروساید Sodium nitroprusside (mM)	فتوسنتز خالص Net photosynthesis ($\mu m\ CO_2\ m^{-2}s^{-1}$)	هدایت روزنه ای Stomatal conductance ($mm\ H_2O\ m^{-2}s^{-1}$)	تعرق Transpiration ($mm\ H_2O\ m^{-2}s^{-1}$)
‘قره شانی’ ‘Qarah Shani’	0	0	4.75 a†	57.85 a	1.81 a-c
		0.5	4.58 a	55.58 a	1.99 a
		1.0	4.66 a	53.72 a	1.87 ab
	50	0	3.31 c	34.25 c	1.32 d
		0.5	3.33 c	33.94 c	1.21 d
		1.0	3.75 b	37.6 c	1.36 d
	75	0	2.01 e	18.00 de	0.78 ef
		0.5	1.83 e	17.33 d-f	0.73 e-g
		1.0	2.41 d	18.7 de	0.86 e
	100	0	1.87 e	16.68 d-f	0.41 i
		0.5	1.38 fg	11.95 fg	0.46 g-i
		1.0	1.74 ef	14.3 ef	0.69 e-h
‘تامپسون سیدلس’ ‘Thompson Seedless’	0	0	4.52 a	46.45 b	1.61 c
		0.5	4.50 a	47.30 b	1.63 bc
		1.0	4.56 a	46.13 b	1.67 bc
	50	0	1.90 e	22.63 d	0.67 e-i
		0.5	1.72 ef	18.65 de	0.65 e-i
		1.0	1.87 e	21.38 d	0.89 e
	75	0	1.21 g	7.83 gh	0.43 i
		0.5	1.10 g	11.85 fg	0.45 i
		1.0	1.19 g	17.15 d-f	0.58 f-i
	100	0	1.11 g	6.38 gh	0.46 hi
		0.5	1.13 g	6.15 h	0.48 g-i
		1.0	1.26 g	8.30 gh	0.40 i

† In each column means followed by similar letters are not significantly different at 1% probability level by Duncan multiple range test.

† میانگین‌های دارای حرف‌های مشابه در هر ستون از نظر آماری بر اساس آزمون دانکن، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار نیستند.

نتیجه‌گیری

به طور کلی سدیم نیتروپروساید (به عنوان ماده تولید کننده اکسید نیتریک)، باعث کاهش اثرهای منفی شوری و بهبود ویژگی‌های رشد و فتوسنتزی در دو رقم 'تامپسون سیدلس' و 'قره شانی' در شرایط تنش شوری شد. در بین غلظت‌های مورد بررسی، غلظت ۱ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید بیشترین تأثیر را در سطح‌های پایین شوری داشت ولی با افزایش شوری از تأثیر آن کاسته شد. همچنین با بررسی ویژگی‌های رشد و فتوسنتزی، مشاهده شد که 'قره شانی' در مقایسه با 'تامپسون سیدلس' از تحمل بیشتری نسبت به شوری برخوردار است.

سپاسگزاری

نویسنده‌های مقاله از گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، به ویژه از استاد فقید این گروه، زنده یاد دکتر رسول جلیلی‌مرندی به جهت همکاری بی شائبه در انجام این پژوهش و همچنین از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی در تهیه قلمه‌های شناسنامه‌دار سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع References

۱. جلیلی مرندی، ر. ۱۳۸۹. فیزیولوژی تنش‌های محیطی و مکانیسم‌های مقاومت در گیاهان باغی. انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه. جلد اول. ۶۳۶ ص.

2. Ahmad, P. and S. Sharma. 2010. Physico-biochemical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alba*) under $NaHCO_3$ stress. Int. J. Plant Prod.4:79-86.
3. Basra, A. and R.K. Basra. 1997. Mechanisms of Environmental Stress Resistance in Plants. Hardwood Academic Amesterdam. Netherlands. 407 p.
4. Beligni, M.V. and L. Lamattina. 1999 a. Is nitric oxide toxic or protective?. Trends Plant Sci. 4:299-300.
5. Beligni, M. and L. Lamattina. 1999 b. Nitric oxide counteracts cytotoxic processes mediated by reactive oxygen species in plant tissues. Planta 208:337-344.
6. Bohnert, H.J., D.E. Nelson and R.G. Jensen. 1995. Adoptions to environmental stresses. Plant Cell. 7:1099-1111.
7. Borsani, O., V. Valpuestan and M.A. Botella. 2001. Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in *Arabidopsis* seedlings. Plant Physiol. 126:1024-1030.
8. Chartzoulakis, K.S., I.N. Therious, N.D. Misopolinos and B.I. Noitsakis. 1995. Growth, ion content and photosynthetic performance of salt-stressed kiwifruit plants. Irrig. Sci. 16:23-28.
9. Chinnusamy, V., A. Jagendorf and J.K. Zhu. 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. Crop Sci. 45:434-448.
10. Cycon, M., A. Lewandowska and Z. Piotrowska-Seget. 2012. Mineralization of dynamics of chlormequat chloride (CCC) in soils of different textures. P. J. Environ. Stud. 21:595-602.
11. Duan, X., X. Su, Y. You, H. Qu, Y. Li and Y. Jiang. 2007. Effect of nitric oxide on pericarp browing of harvested longan fruit in relation to phenolic metabolism. Food Chem. 104:571-576.

12. Erturk, U., N. Sivritepe, C. Yerlikaya, M. Bor, F. Ozdemir and I. Turkan. 2007. Responses of the cherry rootstock to salinity *in vitro.* Biol. Plantarum 51:597-600.
13. Fan, H., S. Guo, Y. Jiao, R. Zhang and J. Li. 2007. Effects of exogenous nitric oxide on growth, active oxygen species metabolism, and photosynthetic characteristics in cucumber seedlings under NaCl stress. Frontiers Agr. China 1:308-314.
14. Flowers, T.J. and A.R. Yeo. 1995. Breeding for salinity resistance in crop plants: where next?. Aust. J. Plant Physiol. 22:875-884.
15. Fisarakis, I., K. Chartzoulakis and D. Stavrakas. 2001. Response of Sultana vines (*V. vinifera* L.) on six rootstocks to NaCl salinity exposure and recovery. Agr. Water Manage. 51:13-27.
16. Garcia-Mata, C. and L. Lamattina. 2001. Nitrate oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. Plant Physiol. 126:1196-1204.
17. Hayat, S., S. Yadav, A. Wani, M. Irfan and A. Ahmad. 2011. Nitric oxide effects on photosynthetic rate, growth, and antioxidant activity in tomato. Intern. J. Veg. Sci. 17:333-348.
18. Hoffman, L.L., L.D.N. Jeanne, I.E. Monroe, R. Shaftel, N.P.R. Anten, M. Martinez-Ramos and D.D. Ackerly. 2006. Mangrove seedling net photosynthesis, growth and survivorship are interactively affected by salinity and light. Biotropica. 38:606-616.
19. Kaschel, A., V. Romheld and Y. Chen. 2002. Cadmium binding by fractions of dissolved organic matter and humic substances from municipal solid waste compost. J. Environ. Qual. 31:1885-1892.
20. Keutgen, A. and E. Pawelzik. 2009. Impacts of NaCl stress on plant growth and mineral nutrient assimilation in two cultivars of strawberry. Environ. Exp. Bot. 65:170-176.
21. Khan, M.A., M.Z. Ahmad and A. Hameed. 2006. Effect of sea salt and L-ascorbic acid on the seed germination of halophytes. J. Arid Environ. 67:535-540.
22. Kim, J.H. and C.H. Lee. 2005. *In vivo* deleterious effects specific to reactive oxygen species on photosystem II after photooxidative treatment of rice leaves. Plant Sci. 168:1115-1125.
23. Kopyra, M. and E. Gwozdz. 2003. Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of *Lupinus luteus.* Plant Physiol. Biochem. 41:1011-1017.
24. Lichtenthaler, H.K. and A.R. Wellburn. 1985. Determination of total cartenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. Biochem. Soc. Trans. 11:591-592.
25. Mane, A.V., B.A. Karadge and J.S. Samant. 2010. Salinity induced changes in photosynthetic pigments and polyphenols of *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle. J. Chem. Pharma. Res. 2:338-347.
26. Misra, A.N., B. Murmu, P. Singh and M. Misra. 1996. Growth and proline accumulation in mungbeen seedling as affected by sodium chloride. Biol. Plantarum 38:531-536.
27. Mohammadkhani, N., R. Heidari, N. Abbaspour and F. Rahmani. 2013. Comparative study of salinity effects on ionic balance and compatible solutes in nine Iranian table grape (*Vitis vinifera* L.) genotypes. Int. J. Vine Wine Sci. 47:99-114.

28. Molassiotis, A.N., T. Sotiropolos, G. Tanou, G. Kofidis, G. Diamantidis and I. Therios. 2006. Antioxidant and anatomical responses in shoot culture of the apple rootstock MM106 treated with NaCl, KCl, manitol or sorbitol. Biol. Plantarum 50:61-68.
29. Munns, R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soils. Plant Cell Environ. 16:15-24.
30. Neill, J., D. Radhika and J. Hancock. 2003. Nitric oxide signaling in plant. New Phytol. 159:11-35.
31. Picchioni, G.A. and S. Miyamoto. 1990. Salt effects on growth and ion uptake of pistachio rootstock seedlings. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115:647-653.
32. Rosa-Ibara, M.D.L. and R.K. Maiti. 1995. Biochemical mechanism in glossy sorghum lines for resistance to salinity stress. J. Plant Physiol.146:515-519.
33. Shani, U. and A. Ben-Gal. 2005. Long term response of grapevines to salinity: osmotic effects and ion toxicity. Amer. J. Enol. Vitic. 56:148-154.
34. Shi, Q., F. Ding, X. Wang and M. Wei. 2007. Exogenous nitric oxid protect cucumber roots against oxidative stress induced by salt stress. Plant Physiol. Biochem. 45:542-550.
35. Silva, C., V. Martínez and M. Carvajal. 2008. Osmotic versus toxic effects of NaCl on pepper plants. Biol. Plantarum 52:72-90.
36. Sivritepe, N., H. Sivritepe, H. Gelike and A. Kakat. 2010. Salinity responses of grafted grapevines: Effects of scion and rootstock genotypes. Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj. 38:193-201.
37. Steduto, P., R. Albrizio, P. Giorior and G. Sorrentino. 2000. Gas exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity. Environ. Exp. Bot. 44:243-255.
38. Sultana, N., T. Ikeda and R. Itoh. 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Environ. Exp. Bot. 42:211-220.
39. Tabatabaei, S.J. 2006. Effects of salinity and N on the growth, photosynthesis and N status of olive (*Olea europaea* L.) trees. Sci. Hortic. 108:432-438.
40. Wu, X., W. Zhu, H. Zhang, H. Ding and O. Zhang. 2011. Exogenous nitric oxide protects against salt induced oxidative stress in the leaves from two genotypes of tomato (*Lycopersicom esculentum* Mill.). Acta Physiol. Plant. 33:1199-1209.
41. Xin, L.J., H. Bin and W. Xin. 2009. Effects of exogenous nitric oxide on active oxygen metabolism polyamine content and photosynthesis of ryegrass (*Lolium perenne* L.) seedlings under salt stress. Bull. Bot. Res. 29:313-319.

Iranian Journal of Horticultural Sience and Technology 15 (3): 287-296 (2014)

Growth and Photosynthesis Response of Two Grapevine Cultivars to Nitric Oxide Foliar Application under Salinity Condition

J. Amiri, S. Eshghi*, E. Tafazoli, M. Rahemi and N. Abbaspour[1]

Nitric Oxide has emerged as an important signaling molecule associated with many biochemical and physiological processes in plants. In this study, the role of SNP (NO donor) in inducing salt tolerance in two grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars 'QarahShani' and 'Thompson Seedless' subjected to NaCl stress was investigated. Well-rooted grape cuttings were treated with four levels of salinity (salinized nutrient solution) 0 (control), 50, 75 and 100 mM NaCl and three levels of SNP (Foliar application) 0 (control), 0.5 and 1.0 mM. Results indicated that with increasing NaCl concentration in nutrient solution, leaf area, shoot and root dry weight decreased. Also decrease in leaf chlorophyll content, stomatal conductance and transpiration in higher level of salinity, resulted in reducing photosynthesis in both cultivars especially in 'Thompson Seedless'. Our findings suggested that the application of SNP (1 mM) under salt stress could improve the growth and phatosynthesis in both cultivars especially in 'QarahShani'.

Key Words: Grapevine, SNP, Transpiration, Stomata conductance, Chlorophyll, Leaf area.

1. Ph.D. student, Associate Professor and Professors of Horticulture, Shiraz University, Shiraz and Assiatant Professor of Biology, Urmia University, Urmia, I.R.Iran, respectively.

* Corresponding author, Email: (eshghi@shirazu.ac.ir)