تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره سوم، پائیز ۱۳۹۹
۱۰۰۹-۱۰۱۸
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2272.1582

مقاله پژوهشی

بررسی اثر سدیم نیتروپروساید در کاهش سمیت ناشی از کادمیوم در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.)

محسن اصغری[1*]، ابوالفضل معصومی زواریان[2]، مجتبی یوسفی‌راد[3]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساوه، گروه زراعت و اصلاح نباتات، ساوه، ایران
۲. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساوه، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، ساوه، ایران
۳. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساوه، گروه زراعت و اصلاح نباتات، ساوه، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۲۵

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی اثر سدیم نیتروپروساید در کاهش سمیت ناشی از کادمیوم در گیاه ریحان به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۹۷-۱۳۹۶ اجرا گردید. فاکتورهای اعمال‌شده در این تحقیق شامل کادمیوم در سطوح صفر (شاهد)، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید در سطوح صفر (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار بود. صفات اندازه‌گیری شامل ارتفاع بوته، خشک بوته، تعداد برگ در بوته، درصد اسانس، مالون دی آلدئید، فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز، پرولین و غلظت کادمیوم بود. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که کادمیوم باعث کاهش ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، تعداد برگ در بوته، درصد اسانس و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و افزایش پرولین، غلظت کادمیوم و مالون دی آلدئید شد. بیشترین تأثیر کادمیوم در تیمار ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به دست آمد. همچنین مشاهده شد که کاربرد سدیم نیتروپروساید توانست موجب افزایش ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، تعداد برگ در بوته، درصد اسانس و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و کاهش پرولین، غلظت کادمیوم و مالون دی آلدئید شود، به‌طورکلی بیشترین تأثیر مثبت در کاربرد ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید حاصل گردید. بر اساس نتایج، محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید توانست باعث بهبود خصوصیات رویشی و کاهش مالون دی آلدئید در شرایط تنش فلز سنگین کادمیوم گردد. می‌توان از نتایج به‌دست‌آمده به اثرات مثبت سدیم نیتروپروساید به‌خصوص در شرایط حضور کادمیوم و کاهش اثرات منفی ناشی از آن تنش در گیاه دارویی ریحان پی برد؛ بنابراین کاربرد ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید برای تعدیل بخشیدن اثرات منفی ناشی از تنش فلز سنگین کادمیوم پیشنهاد می‌گردد.

***واژه‌های کلیدی*: تنش فلز سنگین، ریحان، سدیم نیتروپروساید، کادمیوم، مالون دی آلدئید**

مقدمه

یکی از گیاهان مهم دارویی و زراعی خانواده نعناعیان، ریحان (*Ocimum basilicum* L.) است که در حدود ۱۲۰۰ هکتار در ایران مورد کشت قرار می‌گیرد. ریحان گیاهی یک‌ساله است که به دلیل عطر، طعم فوق‌العاده و خواص درمانی مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. در صنعت پزشکی از ماده مؤثره آن جهت درمان سردردهای عصبی، آرامش‌دهنده اعصاب، تب بر، درمان اسهال و ضد تهوع و استفراغ کاربرد زیادی دارد (Marwat et al., 2011).

آلودگی ناشی از حضور فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی، یکی از مهم‌ترین مشکلات اکولوژیک در سطح جهان است. مشکل اصلی مربوط به فلزات سنگین آن است که این آلاینده‌های غیر آلی برخلاف آلاینده‌های آلی تجزیه‌پذیر نیستند. این واقعیت، فلزات سنگین را به یکی از خطرناک‌ترین

* نگارنده پاسخگو: محسن اصغری. پست الکترونیک: asghari.agri@gmail.com

گروه آلاینده‌های زیست‌محیطی تبدیل کرده است (Vodyanitskii, 2016). در بین فلزات سنگین، فلز کادمیوم به دلیل تحرک و پویایی زیاد در خاک و جذب توسط گیاه، دارای اهمیت خاصی است (Khatamipour et al., 2011). کادمیوم یکی از فلزات سنگین غیرضروری و آلاینده زیست‌محیطی است و از خطرناک‌ترین فلزات سنگین برای گیاهان محسوب می‌شود که در غلظت‌های بسیار کم نیز برای بسیاری از گیاهان سمی است، درحالی‌که در غلظت‌های بالاتر از ۵ تا ۱۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک برگ می‌تواند منجر به مرگ گیاه شود (White and Brown, 2010). کادمیوم به‌راحتی به‌وسیله گیاه جذب می‌شود و سمیت آن تا ۲۰ برابر بیشتر از سایر فلزات سنگین است (Noorani Azad and Kafilzadeh., 2010). فلزات سنگین ازجمله کادمیوم از طریق تولید انواع مختلف گونه‌های فعال اکسیژن موجب آسیب به پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و DNA شده و درنهایت منجر به ایجاد تنش اکسیداتیو می‌شوند (Zhang et al., 2009).

افزایش میزان کادمیوم خاک موجب افزایش جذب آن توسط گیاه اسفناج شد (Jahanbakhshi et al., 2013). همچنین افزایش غلظت کادمیوم با کاهش وزن خشک بخش هوایی و ریشه و افزایش میزان انباشت کادمیوم در گیاه همیشه‌بهار همراه بود (Yadegari et al., 2017). در نعناع فلفلی اعمال کادمیوم موجب کاهش خصوصیات مورفولوژیکی و درصد اسانس گردید (Amirmoradi et al., 2017). همچنین در آزمایشی مشاهده شده است که کادمیوم در ریحان موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز و همچنین کاهش ازت و درصد اسانس می‌شود (Hosseinpour and Afshari, 2016).

از ترکیباتی که اخیراً به‌منظور کاهش اثرات تنش در گیاهان مورد آزمایش قرارگرفته، سدیم نیتروپروساید است. سدیم نیتروپروساید یک ترکیب رها کننده اکسید نیتریک است که نقش آن در گیاهان موضوع پژوهش‌های مختلفی بوده است (Esmail et al., 2018; Kotyal et al., 2018). اکسید نیتریک، خود یک گونه فعال نیتروژن است که تصور می‌شود بتواند به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان در پاسخ‌های سازشی به تنش‌های زیستی و غیر زیستی در گیاهان میانجی‌گری کرده و به‌عنوان یک عامل آنتی‌اکسیدان، ROSها را جمع‌آوری و از بین ببرد (Asadi Sanam et al., 2014). در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است که سدیم نیتروپروساید در انتقال پیام و پاسخ به تنش‌های زیستی و غیر زیستی نیز دخالت دارد (Del Rio et al., 2004). محققان گزارش کردند که کاربرد خارجی نیتریک اکسید موجب جارو کردن ROS، توسعه توانایی غشای سلولی، بهبود فتوسنتز و وضعیت آب برگ می‌شود. احتمالاً افزایش کارایی فتوسنتزی توسط سدیم نیتروپروساید می‌تواند سبب افزایش عملکرد شده باشد (Farooq et al., 2009). در تحقیقی استفاده از سدیم نیتروپروساید در کدوی پوست‌کاغذی سبب افزایش تعداد شاخه فرعی، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، قطر و وزن میوه شد (Yadollahi et al., 2013). در مطالعه‌ای با محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید، کلروفیل، درصد اسانس و فعالیت آنتی‌اکسیدانی مرزه افزایش پیدا کرد (Gorgini Shabankareh and Khorasani Nejhad, 2018). همچنین پژوهشگران با تحقیق روی گیاه نخود گزارش کردند که استفاده از سدیم نیتروپروساید به‌عنوان دهنده نیتریک اکسید موجب توسعه رشد گیاه در شرایط تنش کادمیوم و کاهش غلظت کادمیوم موجود در قسمت‌های مختلف گیاه شده است (Kumari et al., 2010). لذا با عنایت به مزایای ذکرشده برای سدیم نیتروپروساید هدف از این مطالعه بررسی تأثیر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید به‌عنوان یک ماده تخفیف دهنده تنش فلزات سنگین بر رشد، خصوصیات رویشی، فیزیولوژیک، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و درصد اسانس گیاه ریحان با مقادیر مختلف فلز سنگین کادمیوم است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۹۷-۱۳۹۶ به‌صورت گلدانی اجرا گردید. فاکتورهای موردمطالعه در این تحقیق شامل کادمیوم در سطوح صفر (شاهد)، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع نیترات کادمیوم و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید در سطوح صفر (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار بود. بدین منظور از گلدان‌هایی با حجم سه کیلوگرم استفاده گردید. خاک استفاده‌شده آمیخته‌ای از خاک مزرعه و ماسه به نسبت دوبه‌یک بود که پس از الک کردن به‌خوبی آمیخته‌شده و با فرمالدهید ۵ درصد ضدعفونی گردید. برای بیرون کردن فرمالدهید، خاک موردنظر به مدت ۱۰ روز هوادهی شد. در این آزمایش مقادیر مختلف نیترات کادمیوم بر اساس مقدار خاک یکسان برای هر گلدان و بر اساس تیمارهای مورد آزمایش، محاسبه و پیش از کاشت با خاک مخلوط شد و پس از سه هفته نگهداری خاک در

نایلون‌های مخصوص به‌منظور آغشته شدن خاک با فلز سنگین با حفظ میزان رطوبت مناسب جهت جذب فلز کادمیوم با خاک، گلدان‌ها با این خاک پر شدند. به‌منظور ضدعفونی بذور و جلوگیری از آلودگی‌های احتمالی قارچی بذور به مدت دو دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد قرار گرفتند، سپس به ترتیب با آب معمولی و آب مقطر شستشو داده شدند.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil

پتاسیم قابل‌جذب K (mg/kg)	فسفر قابل‌جذب P (mg/kg)	ازت کل TN (%)	کربن آلی O.C (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	pH	هدایت الکتریکی Ec ($ds.m^{-1}$)	بافت خاک Soil texture
243.2	0.17	0.32	1.2	43.4	42.6	13	7.2	1.8	رسی سیلتی Silty Clay

محلول‌پاشی بوته‌ها با سدیم نیتروپروساید پس از استقرار کامل بوته‌ها (مرحله ۱۰-۸ برگی) صورت پذیرفت، به‌طوری‌که برگ‌های گیاه کاملاً خیس شدند. تعداد ۶ تا ۷ بذر به‌طور مستقیم به فاصله ۳ سانتی‌متر از یکدیگر و به عمق ۱ سانتی‌متر در گلدان‌ها کشت شدند. دو هفته پس از رویش بذور کشت‌شده در داخل گلدان‌ها، عملیات تنک بوته‌ها صورت گرفت و در داخل هر گلدان ۴ گیاهچه باقی ماند. به‌منظور بهبود جذب برگی سدیم نیتروپروساید، از تریتون X100 با غلظت ۰/۰۱ درصد استفاده گردید. ۷۰ روز پس از کاشت، عملیات برداشت صورت پذیرفت. برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌های موردنظر به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس با استفاده از ترازوی دقیق توزین گردید. جهت استخراج اسانس از برگ‌های کاملاً خشک‌شده استفاده شد. بدین منظور از روش تقطیر با آب توسط دستگاه کلونجر استفاده گردید (Omidbaigi, 2004). میزان پرولین برگ بر طبق روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) مشخص شد. نمونه‌های استاندارد در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار گرفت و جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. غلظت پرولین برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین گردید.

برای سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، ۰/۲ گرم نمونه منجمد در ۳ میلی‌متر بافر HEPES-KOH با pH=۷/۸ حاوی EDTA ۰/۱ میلی‌مولار عصاره‌گیری شد. جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. یک واحد فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز به‌عنوان مقدار آنزیمی در نظر گرفته شد که منجر به مهار ۵۰ درصد احیای نوری نیتروبلوتترازولیوم گردید (Giannopolitis and Ries, 1997). برای سنجش تغییرات مالون دی آلدئید از روش مک‌کوئی و شتی (McCue and Shetty, 2002) استفاده شد. مقدار جذب روشناور در طول‌موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر خوانده و غلظت مالون دی آلدئید بر اساس جذب مولی و برحسب $mmol.g^{-1}FW$ بیان گردید. مقدار مالون دی آلدئید با استفاده ضریب خاموشی (ε=155 $\mu M\ cm^{-1}$) محاسبه شد.

پس از آماده‌سازی و عصاره‌گیری به روش هضم خشک، غلظت کادمیوم در گیاه با دستگاه جذب اتمی مدل (Analytic Jena, Contera AA300) اندازه‌گیری شد (Munson and Nelson, 1990). برای انجام تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS، جهت مقایسه میانگین‌ها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و وزن خشک بوته

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر کادمیوم و نیتروپروساید در سطح احتمال یک درصد روی ارتفاع بوته و وزن خشک بوته معنی‌دار شده بود، همچنین اثر متقابل کادمیوم و سدیم نیتروپروساید تأثیر معنی‌داری را روی ارتفاع بوته و وزن خشک بوته در سطح احتمال پنج درصد نشان داد. با اعمال کادمیوم ارتفاع بوته و وزن خشک بوته نسبت به شاهد کاهش یافت، به‌طوری‌که تیمار کادمیوم ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کمترین میزان صفات ذکرشده را به خود اختصاص داد و حکایت از کاهش ۴۶/۲۶ درصدی ارتفاع بوته و ۶۲/۸۲ درصدی وزن خشک بوته نسبت به شاهد داشت

(جدول ۳). ارتفاع بوته و وزن خشک بوته در شرایط کاربرد سدیم نیتروپروساید افزایش پیدا کرد، مصرف ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید بیشترین افزایش را نشان داد و موجب افزایش ۲۰/۸۹ درصدی ارتفاع بوته ۳۰/۹۷ درصدی وزن خشک بوته نسبت به شاهد شد (جدول ۴). نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین تحت اثر کادمیوم و سدیم نیتروپروساید نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در شرایط مطلوب و کادمیوم ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مربوط به تیمار ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید بود و حداکثر ارتفاع بوته در شرایط کادمیوم ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در کاربرد ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید مشاهده گردید، در حضور ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید توانست وزن خشک بوته را افزایش دهد ولی در سطح ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید تأثیر معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۵). نتایج این تحقیق نشان داد که کادمیوم به‌عنوان یک عامل بازدارنده بر روی رشد طولی است. این یافته‌ها با نتایج بسیاری از تحقیقات انجام‌شده در رابطه با اثر کادمیوم بر محدودیت و کاهش رشد گونه‌های گیاهی مطابقت دارد (Aydinalp and Marinova, 2009). در حقیقت کادمیم از تقسیم سلول‌های منطقه مریستمی و رشد سلول-های منطقه رشد جلوگیری می‌کند (Fusconi et al., 2007). کاهش در وزن ممکن است در ارتباط با سمیت کلرید کادمیوم باشد. بدین‌صورت که این ماده سمی می‌تواند مکانیسم‌های فیزیولوژیکی نرمال را مختل کرده و درنهایت از این طریق اثرات منفی بر بیوماس داشته باشد که با نتایج سایرین همخوانی داشت (Bhardwaj et al., 2009). کاهش وزن خشک به جهت اختلال در فرآیند فتوسنتز، تنفس و متابولیسم نیتروژن در اثر غلظت‌های سمی کادمیوم رخ می-دهد (Kim et al., 2004). بهبود در رشد و عملکرد می‌تواند ناشی از حفظ محتوای رطوبت نسبی برگ و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن تولیدشده و بهبود سیستم آنزیمی گیاه در اثر کاربرد سدیم نیتروپروساید باشد (Sheokand et al., 2008). همچنین سدیم نیتروپروساید موجب بهبود وضعیت کلروفیل سلول‌های گیاهی در شرایط تنش می‌شود و با افزایش فتوسنتز گیاه می‌تواند افزایش ماده خشک تولیدی را در پی داشته باشد و نیز با محافظت اندام‌های هوایی گیاه در شرایط تنش، درنهایت به افزایش تجمع ماده خشک تحت این شرایط منجر می‌شود (Farooq et al., 2009).

تعداد برگ در بوته و درصد اسانس

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر کادمیوم و سدیم نیتروپروساید در سطح احتمال یک درصد اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد روی تعداد برگ در بوته و درصد اسانس معنی‌دار شدند (جدول ۲). با اعمال کادمیوم، کاهش تعداد برگ در بوته و درصد اسانس نسبت به شاهد رخ داد، بیشترین کاهش با اعمال ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کادمیوم مشاهده شد که حاکی از کاهش ۶۱/۸۵ درصدی تعداد برگ در بوته و ۴۶/۱۵ درصدی میزان اسانس نسبت به شاهد بود (جدول ۳). محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید موجب افزایش تعداد برگ در بوته و درصد اسانس نسبت به شاهد شد، حداکثر تعداد برگ در بوته به میزان ۲۷/۱۲ و ۲۶/۳۵ برگ به ترتیب در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و بالاترین درصد اسانس به میزان ۰/۳۴ درصد در تیمار ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید مشاهده گردید (جدول ۴).

نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین تعداد برگ در بوته و درصد اسانس تحت برهمکنش کادمیوم و سدیم نیتروپروساید مبین آن بود کاربرد سدیم نیتروپروساید توانست اثرات منفی کادمیوم را کاهش دهد، بیشترین تعداد برگ در بوته در شرایط مطلوب و حضور ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کادمیوم مربوط به تیمار ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و در شرایط کادمیوم ۱۰ و ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مربوط به تیمار ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید بود. همچنین مشخص شد که حداکثر درصد اسانس در شرایط مطلوب و در شرایط کادمیوم ۱۰ و ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مربوط به تیمار ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و در شرایط کادمیوم ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مربوط به تیمار ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید بود (جدول ۵). انباشته شدن فلزات سنگین در محیط ریشه سبب کاهش جذب آب و مواد غذایی، کاهش انتقال آب و بر هم خوردن تعادل آب، مهار فعالیت آنزیم‌ها، کاهش متابولیسم سلولی، کاهش فتوسنتز، تنفس و تعرق، فقدان نیتروژن و فسفر و درنتیجه مهار رشد و کاهش تعداد برگ می‌گردد (Cheng and Huang, 2006). بر اساس نتایج سایر محققان گیاه در شرایط تنش فلز سنگین بیشتر مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیبات تنظیم اسمزی ازجمله پرولین، گلیسین بتائین و ترکیبات قندی می‌کند تا بتواند شرایط لازم برای ادامه حیات را در این شرایط فراهم کند

بنابراین درصد اسانس با کاهش همراه خواهد بود (Yadollahi et al., 2016). اثر حفاظتی سدیم نیتروپروساید بر حفظ و افزایش کلروفیل و سبزینگی برگ و تأثیر آن بر دسترس بودن آهن، بر اثر مثبت آن بر تولید بیشتر برگ به‌خصوص در شرایط تنش دلالت دارد (Farooq et al., 2009). بر اساس نتایج پژوهشگران دیگر افزایش میزان اسانس در اثر مصرف سدیم نیتروپروساید به دلیل نقش مهم نیتروژن در توسعه و تقسیم سلول‌های جدید حاوی اسانس، کانال‌های اسانس، مجاری ترشحی و کرک‌های غده‌ای است، که این اثرات را می‌توان به ترکیب نیتروژن رهاشده از سدیم نیتروپروساید نسبت داد (Nasibi, 2011).

غلظت کادمیوم

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، کادمیوم و سدیم نیتروپروساید تأثیر معنی‌داری روی غلظت کادمیوم داشت ($P<۰/۰۱$). همچنین در اثر متقابل کادمیوم و سدیم نیتروپروساید تأثیر معنی‌داری ازنظر غلظت کادمیوم مشاهده گردید ($P<۰/۰۱$). افزایش کادمیوم موجب افزایش جذب غلظت کادمیوم شد، به‌گونه‌ای که بیشترین غلظت کادمیوم به میزان ۴/۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک مربوط به تیمار ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کادمیوم بود (جدول ۳). غلظت کادمیوم در گیاه با مصرف سدیم نیتروپروساید نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد، به‌نحوی‌که بالاترین غلظت کادمیوم در تیمار شاهد به میزان ۳/۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک و پایین‌ترین غلظت کادمیوم در تیمار ۱۰۰ میکرومولار به میزان ۲/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک حاصل شد (جدول ۴). همان‌طور که از نتایج مقایسه میانگین درصد غلظت کادمیوم تحت تأثیر فاکتور سدیم نیتروپروساید مشهود است غلظت کادمیوم در شرایط مطلوب صفر بود، در کادمیوم ۱۰ و ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کمترین غلظت کادمیوم مربوط به تیمار ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید بود، همچنین در کادمیوم ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بین سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۵).

پرولین

نتایج حاصل‌شده از تجزیه واریانس مشخص کرد که تأثیر معنی‌داری در اثر کادمیوم و سدیم نیتروپروساید بر پرولین وجود داشت ($P<۰/۰۱$). همچنین نتایج بیانگر این بود که اثر متقابل کادمیوم با سدیم نیتروپروساید بر پرولین معنی‌دار نشد (جدول ۲). با اعمال کادمیوم، پرولین نسبت به شاهد افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین پرولین به میزان ۹/۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر در کادمیوم ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک حاصل شد که بیانگر افزایش ۲۱۳/۵۳ درصدی پرولین بود (جدول ۳). مصرف سدیم نیتروپروساید سبب کاهش پرولین نسبت به شاهد شد، همچنین بالاترین پرولین در

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید بر خصوصیات مرفوفیزیولوژیک گیاه ریحان در سطوح مختلف کادمیوم

Table 2. Variance analysis results of the effect of sodium nitroprusside foliar application on morpho-physiological characteristics of basil plant under different levels of cadmium

S.O.V منابع تغییرات	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant Hight	وزن خشک بوته Plant dry weight	تعداد برگ در بوته Leaf number	درصد اسانس Essential oil	کادمیوم Cadmium	پرولین Proline	مالون دی آلدئید M.D.A	سوپر اکسید دیسموتاز S.O.D
Cadmium (a) کادمیوم (**a**)	3	412.8**	20.47**	932.38**	0.05**	40.99**	69.4**	1.65**	48.8**
Sodium nitroprusside(b) سدیم نیتروپروساید (**b**)	2	77.25**	3.37**	164.87**	0.03**	5.18**	7.92**	0.21**	6.72**
a*b کادمیوم× سدیم نیتروپروساید	6	34.35*	0.49*	56.72*	0.01*	1.28**	0.66 ns	0.05*	1.1 ns
Error خطا	24	13.03	0.2	22.1	0.003	0.18	1.35	0.01	0.61
CV (%) **ضریب تغییرات** (٪)		*13.46*	*11.22*	*19.11*	*19.07*	*16.21*	*19.44*	*14.7*	*17.16*

ns، * و** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns * and **: Non significant, Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های تأثیر سطوح مختلف کادمیوم بر خصوصیات مرفوفیزیولوژیک گیاه ریحان

Table 3. Mean comparison of the effect of different levels of cadmium on morpho-physiological characteristics of Basil

کادمیوم Cadmium	ارتفاع بوته Plant Height	وزن خشک بوته Plant dry weight	تعداد برگ در بوته Leaf number	درصد اسانس Essential oil	کادمیوم Cadmium	پرولین Proline	مالون دی آلدئید M.D.A	سوپراکسید دیسموتاز S.O.D
($mg.kg^{-1}$)	(cm)	(g)		(%)	($mg.kg^{-1}DW$)	($mg.g^{-1}FW$)	($mmol.g^{-1}FW$)	($unit.mg^{-1}FW$)
0	36.1^{a}	5.54^{a}	37.54^{a}	0.39^{a}	0^{d}	3.03^{d}	0.38^{d}	7.68^{a}
10	29.02^{b}	4.67^{b}	27.42^{b}	0.29^{b}	1.81^{c}	4.73^{c}	0.54^{c}	4.94^{b}
20	23.78^{c}	3.52^{c}	19.15^{c}	0.27^{b}	3.86^{b}	6.66^{b}	0.98^{b}	3.12^{c}
30	19.4^{d}	2.06^{d}	14.32^{d}	0.21^{c}	4.76^{a}	9.5^{a}	1.32^{a}	2.48^{c}

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

Means which have at least one common letter are not significantly different at the 5% level using DMRT

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های تأثیر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید بر صفات مرفوفیزیولوژیک گیاه ریحان

Table 4. Mean comparison of the effect of sodium nitroprusside foliar application on morpho-physiological characteristics of Basil

سدیم نیتروپروساید Sodium nitroprusside	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک بوته Plant dry weight	تعداد برگ در بوته Leaf number	درصد اسانس Essential oil	کادمیوم Cadmium	پرولین Proline	مالون دی آلدئید M.D.A	سوپراکسید دیسموتاز S.O.D
(µmol)	(cm)	(g)		(%)	($mg.kg^{-1}DW$)	($mg.g^{-1}FW$)	($mmol.g^{-1}FW$)	($unit.mg^{-1}FW$)
0	24.17^{b}	3.39^{c}	20.35^{b}	0.24^{c}	3.32^{a}	6.75^{a}	0.96^{a}	3.7^{b}
50	27.09^{ab}	4.01^{b}	27.12^{a}	0.29^{b}	2.49^{b}	6.05^{ab}	0.75^{b}	5.08^{a}
100	29.22^{a}	4.44^{a}	26.35^{a}	0.34^{a}	2.02^{c}	5.13^{b}	0.71^{b}	4.88^{a}

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند.

Means which have at least one common letter are not significantly different at the 5% level using DMRT

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های تأثیر محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید بر صفات مرفوفیزیولوژیک گیاه ریحان در سطوح مختلف کادمیوم

Table 5. Mean comparison of the effect of sodium nitroprusside foliar application on morpho-physiological characteristics of basil under different levels of cadmium

کادمیوم Cadmium	سدیم نیتروپروساید Sodium nitroprusside	ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک بوته Plant dry weight	تعداد برگ در بوته Leaf number	درصد اسانس Essential oil	کادمیوم Cadmium	مالون دی آلدئید M.D.A
($mg.kg^{-1}$)	(µmol)	(cm)	(g)		(%)	($mg.kg^{-1}DW$)	($mmol.g^{-1}FW$)
0	**0**	33.18^{bc}	4.54^{c}	31.94^{bc}	0.3^{bcd}	0^{f}	0.42^{f}
0	**50**	32.11^{bc}	5.86^{ab}	44.43^{a}	0.35^{b}	0^{f}	0.38^{f}
0	**100**	40^{a}	6.22^{a}	36.26^{b}	0.5^{a}	0^{f}	0.33^{f}
10	**0**	25.42^{de}	4.07^{c}	22.15^{def}	0.22^{def}	2.33^{d}	0.65^{e}
10	**50**	26.89^{cd}	4.57^{c}	25.71^{cd}	0.29^{bcd}	1.85^{de}	0.48^{ef}
10	**100**	34.75^{ab}	5.37^{b}	34.38^{b}	0.34^{bc}	1.27^{e}	0.5^{ef}
20	**0**	21.54^{def}	3.15^{d}	14.33^{fg}	0.25^{cdef}	4.7^{b}	1.12^{bc}
20	**50**	26.82^{cd}	3.23^{d}	24.86^{cde}	0.31^{bcd}	3.36^{c}	0.86^{d}
20	**100**	22.98^{def}	4.16^{c}	18.26^{defg}	0.25^{cdef}	3.53^{c}	0.97^{cd}
30	**0**	16.53^{f}	1.79^{e}	12.98^{g}	0.17^{f}	6.25^{a}	1.64^{a}
30	**50**	22.55^{def}	2.37^{e}	13.5^{fg}	0.19^{ef}	4.76^{b}	1.28^{b}
30	**100**	19.14^{ef}	2.01^{e}	16.48^{efg}	0.27^{bcde}	3.29^{c}	1.03^{cd}

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means which have at least one common letter are not significantly different at the 5% level using DMRT

تیمار شاهد به مقدار ۶/۷۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر و حداقل پرولین به مقدار ۵/۱۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر در کاربرد ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید مشاهده گردید که حاکی از کاهش ۲۴ درصدی پرولین نسبت به شاهد بود (جدول ۴). پرولین در گیاهان تحت شرایط نامناسب رشد، ازجمله تنش فلزات سنگین تجمع می‌یابد. بین تجمع پرولین و کمبود آب ایجادشده در اثر حضور فلز سنگین ارتباط ویژه‌ای وجود دارد (Metwally et al., 2003). مقدار افزایش پرولین در شرایط تنش برای بسیاری از گونه‌های گیاهی، به میزان مقاومت آن‌ها در برابر تنش بستگی دارد و غلظت پرولین در گیاهان مقاوم بیشتر از گیاهان حساس است (Ashraf and Foolad, 2007).

مالون دی آلدئید

نتایج تجزیه واریانس مبین این بود که اثر کادمیوم و سدیم نیتروپروساید در سطح احتمال یک درصد و همچنین اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر روی مالون دی آلدئید معنی‌دار شد (جدول ۲). با اعمال کادمیوم مالون دی آلدئید افزایش یافت به‌نحوی‌که بیشترین مالون دی آلدئید در تیمار ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، به مقدار ۱/۳۲ میلی‌مول در گرم وزن تر (۲۴/۳۷ درصد افزایش نسبت به شاهد) حاصل شد (جدول ۳). محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید سبب کاهش مالون دی آلدئید نسبت به شاهد گردید، به‌گونه‌ای که بیشترین مالون دی آلدئید به میزان ۰/۹۶ میلی‌مول در گرم وزن تر در تیمار شاهد و کمترین مالون دی آلدئید در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید حاصل گردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین مالون دی آلدئید تحت تأثیر برهمکنش کادمیوم و سدیم نیتروپروساید (جدول ۵) نشان داد که در شرایط عدم اعمال کادمیوم، تیمارهای مختلف سدیم نیتروپروساید در یک گروه آماری قرار گرفتند و تفاوت معنی‌دار با هم نداشتند، کمترین مقدار مالون دی آلدئید در شرایط ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مربوط به ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و در شرایط ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مربوط به ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید بود. تجمع یون کادمیوم منجر به تخریب غشا سلولی می‌شود و درنتیجه میزان مالون دی آلدئید افزایش می‌یابد، نتایج مشابهی توسط سایر محققان (Bandeoglu et al., 2004) به دست آمده است. در سایر بررسی‌ها، کاربرد سدیم نیتروپروساید به‌عنوان ترکیب رها کننده نیتریک اکسید باعث کاهش مقدار مالون دی آلدئید تحت تنش شده است (Nasibi et al., 2011) که با نتایج این آزمایش همخوانی داشت. واکنش نیتریک اکسید با ROS موجب جلوگیری از آسیب غشا می‌شود. واکنش نیتریک اکسید با آلکوکسی لیپیدها و رادیکال‌های پراکسیل سریع است و می‌تواند گسترش رادیکال و اکسیداسیون لیپید ناشی از آن را مستقیماً متوقف کند. نیتریک اکسید به‌عنوان جاروب کننده گونه‌های فعال اکسیژن عمل می‌کند. کاهش محتوای مالون دی آلدئید در اثر کاربرد سدیم نیتروپروساید مربوط به کاهش گونه‌های فعال اکسیژن مثل پراکسید هیدروژن در اندام‌های گیاه تحت تنش فلز سنگین است (Hsu and Kao, 2004).

سوپراکسید دیسموتاز

بر اساس نتایج حاصل‌شده از تجزیه واریانس اثر کادمیوم و سدیم نیتروپروساید در سطح احتمال یک درصد بر روی فعالیت سوپراکسید دیسموتاز معنی‌دار بود. همین‌طور اثر متقابل کادمیوم و سدیم نیتروپروساید بر فعالیت سوپراکسید دیسموتاز معنی‌دار نشد (جدول ۲). با اعمال کادمیوم، از فعالیت سوپراکسید دیسموتاز کاسته شد به‌نحوی‌که بیشترین فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در تیمار شاهد به میزان ۷/۶۸ جذب در گرم وزن تر و کمترین فعالیت سوپراکسید دیسموتاز به میزان ۲/۴۸ جذب در گرم وزن تر در تیمار ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک رخ داد (جدول ۳). مشاهده شد که با کاربرد سدیم نیتروپروساید فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزایش پیدا کرد، البته سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۴). کادمیوم سبب کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شد، زیرا این عنصر برای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سمی است، وجود این عنصر با اتصال به ساختمان آنزیم سبب آسیب به ساختمان و کاهش فعالیت آن می‌گردد (Daneshmand et al., 2010). بسیاری از پژوهش‌ها کارکرد نیتریک اکساید را در کاهش تنش اکسیداتیو به القای فعالیت آنزیم‌های حذف‌کننده رادیکال‌های آزاد نسبت داده‌اند (Zheng et al., 2009).

نتیجه‌گیری

می‌توان نتیجه گرفت که سدیم نیتروپروساید تا حد زیادی آثار مضر حاصل از تنش فلز سنگین کادمیوم را در ریحان از طریق بهبود سیستم آنزیمی گیاه و حذف رادیکال‌های آزاد تعدیل بخشید و سبب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش شد.

لذا در محدوده نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان محلول-پاشی این ماده را روی گیاه ریحان تنش دیده به‌عنوان عاملی برای کاهش شدت تنش و به دنبال آن افزایش عملکرد پیشنهاد نمود.

منابع

Amirmoradi, SH., Rezvani Moghaddam, P., Kocheki, A., Danesh, SH., Fotovat, A., 2017. Effect of Cadmium and Lead on Quantitative and Essential Oil Traits of Peppermint (*Mentha piperita* L.). Agroecology. 9(1), 142-157. [In Persian with English summary].

Asadi Sanam, S., Zavareh, M., Pirdashti, H., Hashempour, A., 2014. The effect of sodium nitroprusside (SNP) on some biochemical properties of barley seedlings in salinity. Plant Products Research Journal. 21(3), 19-32. [In Persian with English summary].

Ashraf, M., Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany. 59, 206-216.

Aydinalp, C., Marinova, S., 2009. The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago Sativa*). Bulgarian Journal of Agricultural Science. 15(4), 347-350.

Bandeoglu, E., Eyidogan, F., Yucel. M., Oktem, H.A., 2004. Antioxidant response of shoots and roots of lentil to NaCl Salinity stress. Plant Growth Regulation. 42, 69-77.

Bates, L.S., Waldern, R.P., Teave, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39, 205-207.

Cheng, S., Huang, C., 2006. Influence of cadmium on growth of root vegetable and accumulation of cadmium in the edible root. International Journal of Applied Sciences and Engineering. 3, 243-252.

Daneshmand, F., Arvin, M.J., Kalantari, K., 2010. Physiological response to NaCl stress in three wild species of potato in vitro. Acta Physiologiae Plantarum. 32, 91-98.

Del Rio, L.A., Corpas, F.J., Barroso, J.B., 2004. Nitric oxide and nitric oxide synthase activity in plants. Phytochem, 65, 783-792.

Esmail, N.Y., Hashem, H.A., Hassanein, A.A., 2018. Effect of treatment with different concentrations of sodium nitroprusside on survival, germination, growth, photosynthetic pigments and endogenous nitric oxide content of *Lupines termis* L. plants. Acta Scientific Agriculture. 2(5), 48-52.

Farooq. M., Basra, S.M.A., Wahid, A., Rehman, H., 2009. Exogenously applied mitric oxide enhances the drought tolerance in fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Agronomy and Crop Science. 195, 254-261.

Fusconi, A., Gallo, C., Camusso, W., 2007. Effect of cadmium on root apical meristems of *Pisum sativum* L.: cell viability, cell proliferation and microtubule pattern as suitable makers for assessment of stress pollution. Mutation Research-Genetic Toxicology Environmental Mutagenesis. 632, 9–19.

Ghaderian, S.M., Jamali Hajiani, N., 2010. The evaluation of tolerance and accumulation of cadmium in *Matthiola chenopodiifolia*. Iranian Journal of Botanical Biology. 6(8), 87-98. [In Persian with English summary].

Giannopolitis, C., Ries, S., 1997. Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plant. Plant Physiology. 59, 309-314.

Gorgini Shabankareh, H., Khorasani Nejhad, S., 2018. Effects of sodium nitroprusside on physiological, biochemical and essence characteristics of savory (*Satureja khuzestanica*) under deficit water regimes. Journal of Plant Production Research. 24(3), 55-70. [In Persian with English summary].

Hosseinpour, M.A., Afshari, H., 2016. Effect of different levels of cadmium and Lead on some phytochemical characteristics of Basil (*Ocimum basilicum*) under salt stress. Eco-Phytochemical Journal of Medical Plants. 3(2), 50-64. [In Persian with English summary].

Hsu, Y.T. Kao, C.H., 2004. Cadmium toxicity is reduced by nitric oxide in rice leaves. Plant Growth Regulation. 42, 227-238.

Jahanbakhshi, SH., Rezaei, M.R., Sayyari-Zahan, M.H., 2013. Study of phytoremediation of soil contaminated by cadmium and chromium and their bio-accumulation in spinach plant (*Spinacia Oleracea*). Journal of Natural Environment. 66(3), 275-284. [In Persian with English summary].

Khatamipour, M., Piri, E., Esmaeilian, Y., Tavassoli, A., 2011. Toxic effect of cadmium on germination, seedling growth and proline content of Milk thistle (*Silybum marianum*). Annals of Biological Research. 2(5), 527-532.

Kim. C.G., Power S.A., Bell, J.N., 2004. Effects of host plant exposure to cadmium on mycorrhizal infection and soluble carbohydrate levels of *Pinus sylvestris* seedlings. Environmental Pollution. 131(2), 287-94.

Kotyal, K., Mukkund, R., Koti, R.V., Bangi, S., 2018. Influence of Ferrous Sulfate and Sodium Nitroprusside on Physiology of Groundnut Genotypes. International Journal of Pure and Applied Bioscience. 6(1), 628-636.

Kumari, A., Sheokand, S., Kumari, S., 2010. Nitric oxide induced alleviation of toxic effects of short term and long term Cd stress on growth, oxidative metabolism and Cd accumulation in Chickpea. Brazilian Society of Plant Physiology. 22(4), 271-284.

Marwat, S.K., Rehman, F., Khan, M.S., Ghulam, S., Anwar, S., Mustafa, G., Usman, K., 2011. Phytochemical Constituents and Pharmacological Activities of Sweet Basil-*Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae). Asian Journal of Chemistry. 23, 3773-3782.

McCue, P., Shetty, K., 2002. A biochemical analysis of Mungbean (*Vigna radiata*) response to microbial polysaccharides and potential phenolic-enhancing effects for nutraceutical applications. Food Biotechnology. 16, 57–79.

Metwally, A., Finkemeier, I., George, M., Dietz, K.J., 2003. Salicylic acis alleriates the cadmium toxicity in borley seeding. Plant Physiology. 132, 272-287.

Munson, R.D., Nelson, W.L., 1990. Principle and practice in plant analysis. In: Westerman, R.L. (ed.), Soil Testing and Plant Analysis. 3rd ed. Pp: 359-387. SSSA. Madison, WI.

Nasibi, P., 2011. The effect of different concentrations of sodium nitroprusside (SNP) at a discount oxidative damage induced by drought stress in tomato plants. Journal of Plant Biology. 2(9), 74-63.

Noorani Azad, H., Kafilzadeh, F., 2010. The effect of cadmium toxicity on growth, soluble sugars, photosynthetic pigments and some of enzymes in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Biological Science Promotion. 24, 858-867.

Omidbaigi, R., 2004. Approaches to the production and processing of medicinal plants. Behnashr Publications. Mashhad. 397p. [In Persian].

Sheokand, S., Kumari, A., Sawhney, V., 2008. Effect of nitric oxide and putrescence on ant oxidative responses under NaCl stress in chickpea plants. Physiology and Molecular Biology of Plants. 14(4), 355-362.

Vodyanitskii, Y.N., 2016. Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. Annals of Agrarian Science. 14, 257-263.

Westerman, R.L., 1990. Soil testing and plant analysis. Wisconsin: Soil Science Society of America. 784p.

White, P.J., Brown, P.H., 2010. Plant nutrition for sustainable development and global health. Annals of Botany. 105(7), 1073-1080.

Yadegari, M., Eskandari, S., Irani Pour, R., 2017. Study of lead and cadmium accumulation in Marigold medicinal plant (*Calendula officinalis*). Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research (Plant Science Research). 47(12), 76-92. [In Persian with English summary].

Yadollahi, P., Asgharipour, M.R., Baghri, A., Kheiri, N., Amiri, A., 2016. The Effect of Ascorbic Acid on some Physiological and Biochemical Characteristics of Basil under Arsenic Toxicity. Plant Production Technology. 8(1), 207-217. [In Persian with English summary].

Yadollahi, P., Asgharipour, M.R., Baghri, A., Jabbari, B., Sheikhpour, S., 2013. Effects of sodium nitroprusside and arsenic on quantitive traits of bitter squash (*Momordica charantia* L.) medicinal plant. Journal of Crop Production Research. 5 (3), 215-225. [In Persian with English summary].

Zhang, F., Zhang, H., Wang, G., Xu, L., Shen, Z., 2009. Cadmium-induced accumulation of hydrogen peroxide in the leaf apoplast of *Phaseolus aureus* and *Vicia sativa* and the roles of different antioxidant enzymes. Journal of Hazard Materials. 168, 76-84.

Zheng, C., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., Liu, W., Jing, Qi., Cao, W., 2009. Exogenous nitric oxide improves seed germination in wheat against mitochondrial oxidative damage induced by high salinity. Environmental and Experimental Botany. 67, 222-227.

University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences
Vol. 13, No. 3, pp. 1009-1018
Fall 2020
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2272.1582

Original article

Investigating the effect of sodium nitroprusside in reducing cadmium toxicity in basil (*Ocimum basilicum* L.) plant

M. Asghari*[1], A. Masoumi Zavariyan[2], M. Yousefi Rad[3]

1. Graduated M.Sc., Department of Agronomy and Plant Breeding, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran
2. Young Researchers and Elite Club, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran
3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran

Received 16 February 2019; Accepted 16 March 2019

Abstract

In order to investigate the effect of sodium nitroprusside on reducing the toxicity of cadmium in basil plant, this study was conducted in 2017-2018. The experiment as a factorial form in a completely randomized design was conducted. The applied factors in this study were included cadmium at 0 (control), 10, 20 and 30 $mg.kg^{-1}$ soil and sodium nitroprusside solution at 0 (control), 50 and 100 µM. The measured traits were included plant height, plant dry weight, number of leaves per plant, essential oil percent, malondialdehyde, superoxide dismutase antioxidant activity, proline and cadmium concentration. The obtained results showed that cadmium caused to decrease plant height, plant dry weight, number of leaves per plant, essential oil percent and superoxide dismutase activity, and caused to increase Proline cadmium and malondialdehyde concentrates. The most effect of cadmium on 30 $mg.kg^{-1}$ treatment was obtained. It was also observed that Sodium nitroprusside using caused to increase plant height, plant dry weight, number of leaves per plant, essential oil percent and superoxide dismutase activity, and was decreased Proline, cadmium and malondialdehyde concentrations, in general, the most positive effect was obtained in 100 µM sodium nitroprusside using. Based on the results, sodium nitroprusside foliar application could improve the vegetative properties and reduce malondialdehyde under heavy metal cadmium stress conditions. According to the the results, it can be founded the positive effects of sodium nitroprusside, especially in the presence of cadmium and reducing the negative effects of stress on the basil drug. So using of 100 µM sodium nitroprusside is suggested to modify the negative effects of heavy metal cadmium.

Keywords: Basil, Cadmium, Heavy metal stress, Sodium Nitroposide, Malondialdehyde.

*Correspondent author: Mohsen Asghari; E-Mail: asghari.agri@gmail.com