Archive of SID

نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال چهاردهم، شماره ۵۶، زمستان ۱۳۹۸ / صفحات: ۲۷ -۱۳

بررسی برخی پاسخ‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی بادرشبویه (*Dracocephalum moldavica* L.) به سلنیوم تحت تنش شوری

بیتا زاجی[1]، رمضانعلی خاوری‌نژاد[1*]، سارا سعادتمند[1]، علیرضا ایرانبخش[1]

گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۲٤ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۰٤

چکیده

شوری یکی از مهم‌ترین تهدیدهای محیطی است که بر رشد، توسعه و بهره‌وری گیاهان اثر می‌گذارد، لذا دسترسی به روش‌های کاهش اثرات منفی آن بر روی گیاهان امری ضروری به نظر می رسد. به همین منظور، آزمایشی گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با تیمارهای شوری (۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی سلنیوم (۰، ۵، ۱۰ میکرومولار) اجرا گردید تا نقش احتمالی سلنیوم در تنظیم بردباری گیاه دارویی بادرشبویه به شوری مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا محلول‌پاشی پس از استقرار گیاهچه‌ها در سه مرحله زمانی، هم‌زمان با اعمال تنش شوری و سپس به فاصله هر هفته یک‌بار انجام شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب برگ گیاهان بادرشبویه تحت تأثیر تنش شوری در سطوح مختلف به‌طور معنی‌دار کاهش پیدا کردند. محلول‌پاشی سلنیوم به‌ویژه در غلظت کم سبب بهبود کلیه صفات ذکرشده در شرایط تنش شوری گردید. در مقابل، سطح بالای سلنیوم سبب تشدید اثر منفی شوری شد، به‌طوری‌که حداکثر میزان مالون‌دی‌آلدئید، نشت الکترولیتی و پتانسیل‌آب توسط سلنیوم (۱۰ میکرومولار) در شرایط تنش شوری شدید (۷۵ میلی‌مولار) حاصل گردید و منجر به تجمع پرولین و قندهای محلول شد. این بررسی نشان داد تیمار سلنیوم در غلظت پایین نقش بسزایی در کاهش اثرات مضر شوری از طریق افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، حفظ یکپارچگی غشاء، کاهش پتانسیل‌آب و انباشت محلول‌های سازگار داشته و در نتیجه سبب بهبود عملکرد گیاهان بادرشبویه تحت تنش شوری شد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل‌آب، رنگیزه‌های فتوسنتزی، سلنیوم، مالون‌دی‌آلدئید، محلول‌های سازگار، نشت الکترولیتی

مقدمه

گیاه بادرشبویه با نام علمی (*Dracocephalum moldavica* L.)، گیاهی علفی، معطر و متعلق به خانواده Lamiaceae (Labiatae) است (Yousefzadeh et al., 2013) که بومی آسیای مرکزی و اهلی‌شده در مرکز و شرق اروپا بوده و در مناطق شمال و شمال غرب ایران می‌روید (Dastmalchi et al., 2007). اندام هوایی این گیاه دارای انواعی ترکیبات ثانویه است که برای برخی از ترکیب‌های اسانس آن مصارف متعدد دارویی، بهداشتی و صنعتی ذکر شده است (Dastmalchi et al., 2007; Yousefzadeh et al., 2013). ترکیب‌های معطر آن نیز در طعم دهندگی و فرآوری انواع چای گیاهی کاربرد فراوان دارند (Dastmalchi et al., 2007).

شوری خاک یکی از تنش‌های غیر زیستی عمده است که با تأثیر فیزیولوژیکی و اثر بر روابط آبی گیاه در سطح سلولی و یا کل گیاه، منجر به خشکی فیزیولوژیکی یا تنش اسمزی (Rady, 2011) و تنش

*نویسنده مسئول: ra.khavarinejad@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

اکسیداتیو (Jiang et al., 2017) می‌گردد و نقش مهمی در کاهش تولیدات کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان دارد (Leyva et al., 2011; Rady, 2011). تحقیقات نشان داده است تجمع مقادیر سمی نمک در آپوپلاسم سلول منجر به از دست دادن آب و تورژسانس، مهار رشد و نمو گیاه و در نهایت مرگ سلول‌ها و بافت‌های گیاهی می‌شود (Rady, 2011).

به‌هرحال، اطلاعات مربوط به اثرات کاربرد سلنیوم بر صفات مورفولوژیکی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و اعمال فیزیولوژیکی گیاهان تحت تنش شوری به‌ویژه گیاهان دارویی نظیر بادرشبویه بسیار محدود است و نیاز به بررسی بیشتری دارد. پیش‌بینی می‌شود که سلنیوم در بعضی از غلظت‌ها می‌تواند سبب افزایش حفاظت گیاهان بادرشبویه در برابر تنش شوری شود. تحقیق حاضر اطلاعات بیشتری را برای درک بهتر مکانیسم‌های افزایش‌دهنده تحمل سلول‌های گیاهی به تنش شوری تحت شرایط محلول‌پاشی سلنیوم در غلظت‌های مختلف ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

مواد، تیمارها و شرایط کشت گیاه: این آزمایش در گلخانه دانشکده کشاورزی و آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی- واحد کرمانشاه انجام گرفت. بذرهای سالم بادرشبویه (*Dracocephalum moldavica* L.) از شرکت پاکان بذر استان اصفهان تهیه شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو تیمار شوری در چهار سطح صفر (شاهد)، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی مولار کلرید سدیم و سلنیوم در سه سطح صفر (شاهد)، ۵ و ۱۰ میکرومولار، در ٤ تکرار انجام شد. از گلدان‌های پلاستیکی به قطر و ارتفاع ۲۵ سانتیمتر استفاده گردید که به نسبت ۱: ۱: ۲ به ترتیب با ماسه‌بادی، کود دامی پوسیده و خاک زراعی پر شدند. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آورده شده است. حدود ۳۰ عدد بذر در هر گلدان (عمق کاشت ۰/۵ سانتی‌متر) کشت شد و پس از سبز شدن بذرها، تنک بوته‌ها در طی چند مرحله انجام گرفت و نهایتاً در داخل هر گلدان چهار بوته نگه‌داری گردید. هر ٦ گلدان یک واحد آزمایش را تشکیل داد که به‌منظور بررسی‌های آزمایشگاهی، به‌طور تصادفی از بین برگ‌های انتهایی توسعه‌یافته و جوان آن‌ها نمونه‌برداری شد. در طول مدت آزمایش دمای حداقل و حداکثر گلخانه به‌طور متوسط حدود ۲۰ الی ۲۵ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه‌داشته شد و روشنایی مورد نیاز گیاهان با نور طبیعی آفتاب تأمین شد. آبیاری تا شروع تیمارها (مرحله شش تا هشت برگی بوته‌ها) با آب معمولی (شاهد) انجام شد که بوته‌ها دچار تنش آبی نگردند. همچنین برای جلوگیری از شوک ناگهانی ناشی از شوری آب آبیاری، تیمارهای شوری از کمترین مقدار شروع شد و به‌تدریج در طی چند مرحله (هر مرحله ۲۵ میلی مول در لیتر) به گلدان‌ها افزوده شد. سه هفته یک‌بار نیز شستشوی کامل محیط ریشه گیاهان با آب معمولی (بدون شوری) انجام گرفت تا نمک‌های تجمع یافته احتمالی از گلدان‌ها خارج گردند و تغییرات هدایت الکتریکی (EC) و pH ناشی از تجمع نمک به کمترین حد ممکن برسد. جهت محلول‌پاشی برگی سلنیوم از سلنات سدیم (Na_2SeO_4) تهیه‌شده از شرکت سیگما بعلاوه توین-۲۰ (Tween-20) با غلظت ۰/۱ درصد، در سه مرحله زمانی، هم‌زمان با اعمال تنش شوری و سپس به فاصله هر هفته یک‌بار، استفاده شد. برداشت بوته‌ها به‌منظور اندازه‌گیری شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نیز در مرحله آغاز گلدهی (حدود هشت هفته پس از شروع تیمارهای شوری) انجام شد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک گلدانی

بافت خاک	اسیدیته (pH)	هدایت‌الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	کربن‌آلی (%)	ازت کل (%)	روی (ppm)	آهن (ppm)	منگنز (ppm)	پتاسیم (ppm)	فسفر (ppm)
سیلتی- رسی	۷/۸	۱/۲	۲/۵	۱/۰	۰/۸۸	۳/۹	۱٤/٦	٦۸۰	۱۵/۵

اندازه‌گیری پارامترهای رشد: در آغاز مرحله گلدهی، ارتفاع، وزن‌تر و سطح برگ هر گیاه تعیین شد. میزان سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح سنج برگ (مدل CRLA1، شرکت کیمیا رهاورد پایا مهر) محاسبه شد و برحسب میلی‌متر مربع ارائه گردید. وزن خشک نمونه‌ها نیز پس از قرار دادن آن‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٤۸ ساعت اندازه‌گیری شد.

سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی: رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها با استفاده از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) اندازه‌گیری شد و میزان آن‌ها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر ارائه گردید.

اندازه گیری میزان پرولین: محتوی پرولین با استفاده از روش رنگ سنجی نین‌هیدرین Bates و همکاران (۱۹۷۳) تعیین شد. سپس با استفاده از منحنی استاندارد، میزان پرولین هر نمونه محاسبه شد و برحسب میکرومول بر گرم وزن‌تر ارائه گردید.

تعیین میزان قندهای محلول: میزان قندهای محلول کل با استفاده از روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲) اندازه‌گیری شد و درنهایت با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز به‌عنوان شاهد، بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر گیاه بیان شد.

سنجش غلظت مالون‌دی‌آلدئید: جهت اندازه‌گیری پراکسیداسیون لیپید غشاء سلولی در برگ‌ها، تست تیوباربیتوریک اسید بکار برده شد (Heath and Packer, 1968). برای محاسبه غلظت مالون‌دی‌آلدئید به‌عنوان اولین محصول حاصل از پراکسیداسیون غشاء نیز از ضریب خاموشی معادل $۱۵۵\ mM^{-1}\ cm^{-1}$ استفاده شد و در نهایت بر اساس واحد میکرومول بر گرم وزن‌تر بیان گردید.

اندازه گیری میزان نشت الکترولیتی: میزان درصد نشت الکترولیتی (EL) نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۱ به روش Lutts و همکاران (۱۹۹٦) به‌دست آمد. EC_1 هدایت الکتریکی قطعاتی از برگ‌های جوان را که برای مدت ۲٤ ساعت در لوله‌های آزمایش حاوی آب مقطر در دمای آزمایشگاه بر روی شیکر با ۱۰۰ دور در دقیقه قرار داده شدند را نشان می‌دهد. EC_2 نیز نشان‌دهنده هدایت الکتریکی نمونه‌ها پس از قرار دادن آن‌ها در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه است.

رابطه (۱):
$$EL\ (\%) = EC_1/EC_2 \times 100$$

سنجش محتوی نسبی آب برگ: محتوی نسبی آب برگ (RWC) برحسب درصد، طبق رابطه ۲ محاسبه گردید (Ritchie et al., 1990) که در آن FM (وزن‌تر)، TM (وزن تورژسانس) و DM (وزن خشک) را تشکیل می‌دهند.

رابطه (۲):
$$RWC_(\%) = [(FM-DM)/(TM-DM)] \times 100$$

اندازه‌گیری پتانسیل‌آب برگ: جهت اندازه‌گیری پتانسیل‌آب برگ، دو ساعت بعد از دوره شروع روز، اولین برگ‌های جوان توسعه‌یافته به همراه دمبرگ از نزدیک به ساقه قطع شدند و ناحیه دمبرگ آن‌ها بلافاصله در محفظه فشار دستگاه اندازه‌گیری پتانسیل‌آب قرار گرفت. به‌تدریج با بازنمودن شیر کپسول هوا، فشار داخل محفظه فشار اضافه شد تا اینکه شیره خام از قسمت انتهایی دمبرگ خارج شود. در این زمان فشاری که سبب خروج شیره از دمبرگ

www.SID.ir

Archive of SID

گردید، معادل پتانسیل‌آب سلول‌های برگ در نظر گرفته شد. تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون حداقل سطح معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال خطای ۵ درصد استفاده شد.

نتایج

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲ و ۳) تیمارهای اعمال‌شده بر تمامی صفات مورد اندازه‌گیری اثر معنی‌دار داشت به‌طوری‌که شوری در سطح معنی‌دار یک درصد بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده مؤثر بود. همچنین اثر سلنیوم بر تمامی خصوصیات گیاه به‌جز سطح برگ که در سطح پنج درصد معنی‌دار بود، در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل شوری و سلنیوم نیز بر صفات سطح برگ، کاروتنوئیدها، قندهای محلول و مالون‌دی‌آلدئید در سطح پنج درصد و بر باقی صفات در سطح یک درصد اثر معنی‌دار داشت.

جدول ۲: تجزیه واریانس برخی صفات مورفولوژیکی و رنگیزه‌های فتوسنتزی مورد اندازه‌گیری در گیاه بادرشبویه تحت تأثیر تنش شوری و محلول‌پاشی برگی سلنیوم

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن‌تر (g plant^{-1})	وزن خشک (g plant^{-1})	ارتفاع (cm)	سطح برگ (cm^2 plant^{-1})	کلروفیل *a*	کلروفیل *b*	کاروتنوئیدها
						(mg g^{-1} FW)		
شوری	۳	۶۷۵/۱۲**	۶۴/۴۴**	/۳۲** ۱۴۲۲	۱۱/۰۳**	۰/۰۱۶**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۲**
سلنیوم	۲	۵۳۳/۱۱**	۵۳/۲۷**	۹۱۸/۰۰**	۴/۳۷*	۰/۰۱۲**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱**
شوری × سلنیوم	۶	۱۷/۳۲**	۸/۱۵**	۱۷/۷۲**	۰/۱۸*	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۱*
خطا	۳۶	۳/۸۵	۰/۴۸	۱۱/۰۷	۰/۱۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)		۴/۳۱	۶/۱۳	۵/۶۵	۸/۵۶	۴/۹	۴۳/۸	۷/۰۴

**و*به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

جدول ۳: تجزیه واریانس برخی صفات فیزیولوژیکی مورد اندازه‌گیری در گیاه بادرشبویه تحت تأثیر تنش شوری و محلول‌پاشی برگی سلنیوم

منابع تغییر	درجه آزادی	پرولین (µmol g^{-1} FW)	قندهای‌محلول (mg g^{-1} FW)	مالون‌دی‌آلدئید (µmol g^{-1} FW)	نشت الکترولیتی (%)	محتوی نسبی آب برگ (%)	پتانسیل‌آب (-MPa)
شوری	۳	۱۶۶/۴۳**	۴۴۶/۰۰**	۹۳۸/۷۰**	۷۱۲۸/۰۰**	۲۹۱۷/۱۰**	۷۲/۵۲**
سلنیوم	۲	۱۹/۰۵**	۸۰/۳۸**	۴۰۳/۴۱**	۱۳۳۳/۱۲**	۲۳۶۲/۱۷**	۳۸/۸۴**
شوری× سلنیوم	۶	۰/۴۹**	۴/۷۱*	۳۳۱/۷۳*	۹۰/۸۱**	۱۰۶/۶۹**	۱/۹۳**
خطا	۳۶	۰/۱۲	۱/۸۶	۳۲/۲۸	۱۱/۸۳	۱۲/۳۵	۰/۲۵۳
ضریب تغییرات (٪)		۲/۸۱	۴/۵۴	۱۲/۶۴	۹/۷۷	۵/۱۹	۹/۸۵

**و*به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

پارامترهای رشد: تنش شوری اثر قابل توجهی بر کاهش میزان وزن‌تر، وزن‌خشک، ارتفاع و سطح برگ گیاه بادرشبویه داشت به‌طوری‌که در بالاترین سطح شوری (۷۵ میلی‌مولار) به‌ترتیب ۴۵/۴، ۵۸/۸، ۵۰/۵ و

www.SID.ir

Archive of SID

۵۵/۵ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان دادند (جدول ٤). محلول‌پاشی سلنیوم ۵ میکرومولار سبب بهبود پارامترهای رشد شد، درحالی‌که به‌جز وزن خشک اختلاف معنی‌داری بین شاهد و تیمارهای سلنیوم با غلظت بالا (۱۰ میکرومولار) مشاهده نشد (جدول ٤).

جدول ٤: مقایسه میانگین وزن‌تر و وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع، سطح برگ، کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کاروتنوئیدهای برگ گیاه بادرشبویه تحت تأثیر اثرات ساده تنش شوری (mM) و سلنیوم (µM)

تیمار	وزن‌تر ($g\ plant^{-1}$)	وزن خشک ($g\ plant^{-1}$)	ارتفاع (cm)	سطح برگ ($cm^2\ plant^{-1}$)	کلروفیل *a*	کلروفیل *b*	کاروتنوئیدها
					($mg\ g^{-1}$ FW)		
شوری							
صفر	٥٤/٨٢ a	١٤/٢٨ a	٧٠/٢١ a	٥٩٠/٦ a	٠/٢١٤ a	٠/٠٤٤ a	٠/٠٤٠ a
٢٥	٤٨/١٢ b	١١/٨٥ b	٦٥/٥٢ b	٥٤١/٦ a	٠/١٨٥ b	٠/٠٤٠ ab	٠/٠٣٨ ab
٥٠	٤١/٧٣ c	١٠/٠٥ c	٥٣/١٣ c	٤٤٣/٨ b	٠/١٥١ c	٠/٠٣٣ b	٠/٠٣١ b
٧٥	٣٧/٧١ d	٨/٩٩ d	٤٦/٦٤ d	٣/٨٠c	٠/١٣٣ d	٠/٠٢٩ c	٠/٠٢٧ c
سلنیوم							
صفر	٤٣/٢٣ b	١٠/٦٢ b	٥٨/١٢ b	٤٨٠/٠ b	٠/١٦٣ b	٠/٠٣٦ b	٠/٠٣٤ b
٥	٥٢/٢٢ a	١٣/٣٦ a	٦٦/٨٠ a	٥٤١/٨ a	٠/٢٠١ a	٠/٠٤٢ a	٠/٠٣٨ a
١٠	٤١/٤٠ bc	٩/٩٠ c	٥٧/٧٠ b	٤٤٣/١ b	٠/١٤٧ c	٠/٠٣٢ bc	٠/٠٣ c

وجود حداقل یک حرف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار است.

جدول ۵: اثر متقابل سطوح مختلف شوری (mM) و سلنیوم (µM) بر وزن‌تر و وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع، سطح برگ، کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کاروتنوئیدهای برگ گیاه بادرشبویه

تیمار		وزن‌تر ($g\ plant^{-1}$)	وزن خشک ($g\ plant^{-1}$)	ارتفاع (cm)	سطح برگ ($cm^2\ plant^{-1}$)	کلروفیل *a*	کلروفیل *b*	کاروتنوئیدها
شوری	سلنیوم					($mg\ g^{-1}$ FW)		
صفر	٠	٥٣/٨٩ b	١٢/٧٨ b	٦٨/٨٢ bc	٥٧١/٤ b	٠/١٩٣ bc	٠/٠٤٢ ab	٠/٠٣٩ abc
	٥	٦٣/١١ a	١٧/٧٥ a	٨١/١٢ a	٦٧٣/٣ a	٠/٢٨٠ a	٠/٠٥٠ a	٠/٠٤٦ a
	١٠	٤٧/٥٥ c	١١/٣٣ c	٦٠/٦٤ d	٥٣٢/٠ bc	٠/١٧٠ d	٠/٠٣٧ bc	٠/٠٣٤ bc
٢٥	٠	٤٢/٢٥ d	١١/٧٥ c	٦٥/٧٠ c	٥٤٠/٧ bc	٠/١٨٤ c	٠/٠٤٠ bc	٠/٠٣٧ abc
	٥	٥٥/٤٢ b	١٢/٩٧ b	٧٠/٧١ b	٥٦١/٨ bc	٠/١٩٩ b	٠/٠٤٣ ab	٠/٠٠٤ ab
	١٠	٤٦/٥٧ c	١٠/٨١ cd	٥٩/٩١ d	٤٩٩/٦ c	٠/١٦٩ de	٠/٠٣٦ cd	٠/٠٣٤ abc
٥٠	٠	٤١/٢٩ d	٩/٤٣ ef	٥٢/٤٠ e	٤٤٢/١ d	٠/١٤٧ fg	٠/٠٣٢ cd	٠/٠٠٣ bcd
	٥	٤٧/٥٥ c	١١/٦٠ c	٦٠/٦٠ d	٥١١/٨ c	٠/١٧٠ d	٠/٠٣٨ bc	٠/٠٣٥ abc
	١٠	٣٦/٣٣ e	٩/١٢ efg	٤٦/٢١ f	٣٧٩/٨ de	٠/١٣٤ gh	٠/٠٢٩ de	٠/٠٢٧ bcd
٧٥	٠	٣٥/٤٩ e	٨/٥٢ fg	٤٥/٢٣ f	٣٧٠/٧ de	٠/١٢٧ hi	٠/٠٢٨ de	٠/٠٢٦ cd
	٥	٤٢/٦٥ d	١٠/١٠ de	٥٤/٦٤ e	٣٤١/٦ d	٠/١٥٥ ef	٠/٠٣٤ cd	٠/٠٣١ bcd
	١٠	٣٥/٠٩ e	٨/٣٣ g	٤٠/١٢ g	٣٣٠/٩ e	٠/١١٥ i	٠/٠٢٥ d	٠/٠٢٣ d

وجود حداقل یک حرف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار است.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

در بین تیمارهای ترکیبی، محلول‌پاشی سلنیوم با غلظت پایین در شرایط عدم تنش شوری بیشترین میزان وزن‌تر (٦٣/١ گرم)، وزن خشک (١٧/٧ گرم)، ارتفاع بوته (٨١/١ سانتی‌متر) و سطح برگ (٦/٧ سانتی‌متر مربع) را به دنبال داشت و در سطوح مختلف شوری نیز سبب بهبود این صفات نسبت به تیمارهای عدم محلول‌پاشی سلنیوم گردید. درحالی‌که محلول‌پاشی سلنیوم با غلظت بالا سبب تشدید اثرات منفی شوری بر پارامترهای رشد گیاه بادرشبویه نسبت به شاهد شد (جدول ٥).

رنگیزه‌های فتوسنتزی: بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها، میزان کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کاروتنوئیدهای برگ تحت تنش شوری به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت، به‌طوری‌که با افزایش شدت تنش شوری، کاهش بیشتری در میزان آن‌ها مشاهده شد (جدول ٤). محلول‌پاشی سلنیوم در غلظت پایین سبب بهبود میزان رنگیزه های فتوسنتزی در برگ گیاهان بادرشبویه گردید (جدول ٤). همچنین در رابطه با اثرات متقابل تنش شوری و محلول‌پاشی سلنیوم بر میزان کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کاروتنوئیدها، محلول‌پاشی سلنیوم در غلظت ٥ میکرومولار در تمام سطوح تنش شوری سبب بهبود وضعیت آن‌ها گردید، به‌طوری‌که اختلاف معنی‌داری بین گیاهان تحت تیمار شوری ٢٥ میلی‌مولار محلول‌پاشی شده با سلنیوم ٥ میکرومولار نسبت به شاهد مشاهده نشد. نتایج نشان می‌دهد که کاربرد سلنیوم در غلظت بالا سبب تشدید اثر منفی شوری بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی شد و درنتیجه کمترین میزان آن‌ها مربوط به تیمار شوری ٧٥ میلی‌مولار و محلول‌پاشی سلنیوم ١٠ میکرومولار بود (جدول ٥).

پرولین: تنش شوری افزایش چشمگیری را در میزان پرولین برگ‌های گیاه بادرشبویه نشان داد (جدول ٦)، به‌طوری‌که افزایش شوری در سطوح ٢٥، ٥٠ و ٧٥ میلی مولار، به‌ترتیب باعث ٤٠/٨، ٧٧/٨ و ١٠٧/٩ درصد افزایش پرولین نسبت به شاهد شد. در شرایط عدم تنش، محلول‌پاشی سلنیوم در هر دو سطح ٥ و ١٠ میکرومولار، سبب افزایش این صفت نسبت به شاهد گردید (جدول ٦) همچنین با افزایش غلظت سلنیوم روند افزایشی میزان پرولین در تمام سطوح تنش شوری نیز مشاهده شد. به‌طوری‌که بیشترین میزان پرولین (١٧/٨ میکرومول بر گرم وزن‌تر) که حدوداً بیش از دو برابر تیمار شاهد بود، از برهمکنش تیمار شوری ٧٥ میلی‌مولار و سلنیوم ١٠ میکرومولار حاصل شد (جدول ٧).

قندهای محلول: میزان قند های محلول با تشدید تنش شوری روند افزایشی داشت، به‌طوری‌که بیشترین میزان قند های محلول با میانگین ٣٦/٠ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر از تیمار شوری ٧٥ میلی مولار حاصل شد (جدول ٦). کاربرد سلنیوم ٥ میکرومولار با میانگین ٣٢/١ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر موجب ١٦/١ درصد افزایش این صفت نسبت به شاهد گردید (جدول ٦). در گزارش حاضر مشخص شد که کاربرد سلنیوم به‌ویژه در غلظت ٥ میکرومولار سبب تحریک تجمع قندهای محلول در سطوح مختلف شوری شد. بر اساس مقایسه میانگین اثر متقابل داده‌ها، بیشترین میزان قند در تیمار شوری ٧٥ میلی مولار به همراه محلول‌پاشی سلنیوم ٥ میکرومولار (٣٧/٦ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) حاصل شد که ٩٢/٢ درصد نسبت به شاهد (عدم تنش شوری و عدم محلول‌پاشی سلنیوم) بیشتر بود (جدول ٧).

مالون‌دی‌آلدئید: میزان مالون‌دی‌آلدئید به‌طور قابل‌توجهی با افزایش تنش شوری بیشتر شد، به‌طوری‌که در شدیدترین سطح تنش (٧٥ میلی مولار) ٥٤/٨ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ٦). کاربرد سلنیوم در غلظت بالا (١٠ میکرومولار) سبب افزایش این پارامتر گردید و میزان آن را نسبت به

www.SID.ir

Archive of SID

گیاهان شاهد ۱۸/۲ درصد افزایش داد (جدول ٦). در تمام سطوح شوری محلول‌پاشی سلنیوم در غلظت پایین موجب کاهش پراکسیداسیون لیپید شد. درایـن‌بین بیشترین میزان مالون‌دی‌آلدئید (٥٦/٤ میکرومول بر گرم وزن‌تر) متعلق به گیاهانی بود که غلظت ۱۰ میکرومولار سلنیوم را تحت تنش شوری ۷۵ میلی مولار دریافت کرده بودند (جدول ۷).

نشت الکترولیتی: یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که تنش شوری منجر به افزایش قابل‌توجهی در میزان نشت الکترولیتی شد. میزان آسیب غشایی بستگی به‌شدت تنش شوری داشت به‌طوری‌که بیشترین میزان نشت الکترولیتی (۸۷/۰ درصد) مربوط به تیمار ۷۵ میلی مولار شوری بود (جدول ٦). بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل داده‌ها محلول‌پاشی با سلنیوم در غلظت پایین سبب بهبود این صفت شد، به‌طوری‌که کمترین مقدار آن در تیمار عدم تنش شوری و محلول‌پاشی سلنیوم ۵ میکرومولار (٤۱/٥ درصد) به‌دست آمد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار شوری ۲۵ میلی مولار در همین شرایط نداشت. درحالی‌که محلول‌پاشی سلنیوم ۱۰ میکرومولار میزان نشت الکترولیتی را در سطوح مختلف تنش شوری تشدید نمود (جدول ۷).

محتوی آب نسبی برگ: بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در شرایط تنش شوری در سطوح ۲۵ تا ۷۵ میلی مولار، مقادیر آب نسبی برگ به‌ترتیب ۱۸/۰، ۳٥/۷ و ۷٥/٦ درصد کاهش نسبت به شاهد داشت (جدول ٦). محتوی آب نسبی برگ از سلنیوم تأثیر پذیرفت و بیشترین مقدار آن (۷۹/۹ درصد) از محلول‌پاشی این ماده با غلظت ۵ میکرومولار حاصل شد (جدول ٦). در شرایط تنش شوری، محلول‌پاشی با غلظت پایین سلنیوم در بهبود وضعیت آب برگ تأثیر معنی‌داری داشت، به‌طوری‌که بیشترین اثر محلول‌پاشی سلنیوم در شرایط شوری ۲۵ میلی مولار مشاهده شد که محتوی آب نسبی برگ را تا حدود ۳٥/۳ درصد نسبت به شرایط عدم تنش محلول‌پاشی افزایش داد (جدول ۷).

جدول ٦: مقایسه میانگین پرولین، قندهای محلول، مالون‌دی‌آلدئید، نشت الکترولیتی، محتوی نسبی آب و پتانسیل‌آب برگ گیاه بادرشبویه تحت تأثیر اثرات ساده تنش شوری (mM) و سلنیوم (µM)

تیمار	پرولین ($\mu mol\ g^{-1}$ FW)	قندهای محلول ($mg\ g^{-1}$ FW)	مالون‌دی‌آلدئید ($\mu mol\ g^{-1}$ FW)	نشت الکترولیتی (%)	محتوی نسبی آب (%)	پتانسیل‌آب (-MPa)
شوری						
صفر	۷/۹۷ d	۲۱/۹٥ d	۳٥/۸۰ cd	٤۸/٥۳ d	۸٥/۸٤ a	۱/۲٥ c
۲٥	۱۱/۲۲ c	۲۸/۹۸ c	۳۹/٦۹ c	٥٥/۱۲ c	۷۲/۷٦ ab	۱/٤۲ bc
٥۰	۱٤/۱۷ b	۳۳/۱۲ b	٤۸/۷۲ b	٦٦/۰۰ b	٦۳/۲٤ ab	۱/٦٥ b
۷٥	۱٦/٥۷ a	۳٥/۹۹ a	٥٥/٤۳ a	۸۷/۰۱ a	٤۸/۸۷ b	۲/۱٤ a
سلنیوم						
صفر	۱۱/۲۹ c	۲۷/٦٤ b	٤۲/۸۱ b	٦٤/۱۲b	٦۷/٥٤ b	۱/٦۱ ab
٥	۱۲/۷۲ b	۳۲/۱۰ a	٤۱/۳۲ b	٥٦/٤۲c	۷۹/۸۹ a	۱/٤۳ b
۱۰	۱۳/٤٤ a	۳۰/۲۹ a	٥۰/٥۹ a	۷۲/٤۰a	٥٥/٥۹ c	۱/۸۱ a

وجود حداقل یک حرف مشترک، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار است.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

پتانسیل آب برگ: پتانسیل آب برگ در اثر افزایش سطوح تنش شوری به‌شدت کاهش یافت، به‌طوری‌که در بالاترین سطح تنش نسبت به گیاهان شاهد ۷۱/۲ درصد کاهش نشان داد (جدول ٦). در شرایط عدم تنش، بیشترین میزان پتانسیل آب از محلول‌پاشی سلنیوم با غلظت ۵ میکرومولار (۱/٤۳ MPa–) حاصل گردید که از نظر آماری با شاهد (عدم محلول‌پاشی) در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ٦). نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که در شرایط اعمال شوری، محلول‌پاشی سلنیوم با غلظت پایین اثر مثبتی بر میزان پتانسیل آب داشت و میزان این صفت را در سطوح شوری ۲۵ تا ۷۵ میلی مولار به ترتیب ۳۲/۱، ۱۷/۱ و ۱۱/۰ درصد نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی سلنیوم در سطوح شوری) افزایش داد که نشان می‌دهد محلول‌پاشی سلنیوم در شرایط شوری ۲۵ میلی مولار نسبت به سایر سطوح شوری، اثربخشی بیشتری در حفظ پتانسیل آب سلول‌های گیاهی دارد (جدول ۷).

جدول ۷: اثر متقابل سطوح مختلف شوری (mM) و سلنیوم (µM) بر پرولین، قندهای محلول، مالوندی‌آلدئید، نشت الکترولیتی، محتوی نسبی آب و پتانسیل آب برگ گیاه بادرشبویه

تیمار		پرولین ($\mu mol\ g^{-1}\ FW$)	قندهای محلول ($mg\ g^{-1}\ FW$)	مالوندی‌آلدئید ($\mu mol\ g^{-1}\ FW$)	نشت الکترولیتی (%)	محتوی نسبی آب (%)	پتانسیل آب (-MPa)
شوری	سلنیوم						
صفر	۰	٦/۹۵ i	۱۹/۵۸ i	۲۷/۸۹ gh	٤٦/۷۰ ef	۸۹/۵۳ ab	۱/۲۱ ef
	۵	۸/۲۷ h	۲۳/۳۳ gh	۲٦/۵۸ hi	٤۱/٤۹ f	۹۳/۱۸ a	۱/۰۹ f
	۱۰	۸/٦۷ h	۲۲/۹۵ h	۲۸/۹۲ ghi	۵۷/۲۲ cd	۷٤/۸۲ abc	۱/٤۵ cd
۲۵	۰	۱۰/۲۲ g	۲۵/۱۳ g	۳٦/۵۹ gh	۵۸/٤۱ cd	٦۸/۱۰ abcd	۱/٤۸ cd
	۵	۱۱/۰۵ f	۳۲/۳۵ de	۳٤/٦۸ fg	٤۳/۱۰ f	۹۲/۱۵ ab	۱/۱۲ f
	۱۰	۱۲/۳۷ e	۲۹/٤۸ f	۳۵/۷۰ ef	٦۳/۷۳ cd	۵۸/۰۳ cd	۱/٦۰ cd
۵۰	۰	۱۲/۹۵ d	۳۱/۱۳ ef	٤٤/۵۲ cd	٦٦/٦۲ c	٦۲/۳۳ bcd	۱/٦٤ c
	۵	۱٤/۷۲ c	۳۵/۱۰ bc	۳۸/۵۷ de	۵۵/۱۱ de	۷۷/۷۸ abc	۱/٤۰ de
	۱۰	۱٤/۸۵ c	۳۳/۱۵ c	٤٦/٤۸ cd	۷۷/۳۲ b	٤۹/٦۳ cd	۱/۹۱ b
۷۵	۰	۱۵/۰۵ c	۳٤/۷۵ bc	۵۵/٤۰ a	۹۰/۵۱ a	۵۰/۲۲ cd	۲/۲۱ a
	۵	۱٦/۸۲ b	۳۷/٦۳ a	٤۸/٦۱ bc	۸۱/۱٤ b	۵٦/٤۷ cd	۱/۹۹ b
	۱۰	۱۷/۸۵ a	۳۵/٦ b	۵٦/۳۷ a	۹۱/۲۳ a	۳۹/۹۰ d	۱/۲۳ a

وجود حداقل یک حرف مشترک، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار است.

بحث

همان‌طور که از نتایج مشخص است با افزایش سطح تنش شوری، میزان وزن‌تر، وزن‌خشک، ارتفاع و سطح برگ کاسته شد. شواهد کافی وجود دارد که نشان می‌دهد کاربرد سلنیوم در غلظت مناسب سبب بهبود رشد و نمو گیاهان در شرایط تنش ازجمله تنش شوری می‌شود (Djanaguiraman et al., 2005; Hawrylak-Nowak, 2009; Kong et al., 2005). Jiang و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند که بهبود رشد گیاه تحت غلظت کم سلنیوم می‌تواند به‌دلیل افزایش میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای باشد. بر اساس گزارش Malik و همکاران (۲۰۱۱)، سلنیوم با اثر بر افزایش میزان قندهای احیاء کننده، نقش عمده‌ای در افزایش تنفس سلولی دارد و انرژی لازم

www.SID.ir

Archive of SID

برای رشد گیاه را فراهم می‌کند.

در تأیید یافته‌های تحقیق حاضر، تنش شوری از طریق اعمال اثرات منفی اسمزی و یونی، رنگیزه‌های فتوسنتزی را به‌عنوان یکی از عوامل محدودکننده میزان فتوسنتز خالص تحت تأثیر قرار می‌دهد (Chutipaijit et al., 2011) که بستگی به‌شدت و مدت‌زمان تنش دارد (Agami, 2013). مکانیسم‌های متفاوتی مبنی بر اثر مهارکنندگی شوری بر میزان رنگیزه‌های گیاهی بیان شده است که از آن جمله می‌توان به افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز درنتیجه صدمات اکسیداتیو (Jiang et al., 2006)، تخریب غشاء رنگیزه‌های سبز کلروفیل و جایگزینی یون منیزیم، جزء حیاتی در ساختار کلروفیل با یون‌های سدیم و کلر اشاره نمود (Shahid et al., 2014). در رابطه با تأثیر مثبت محلول‌پاشی سلنیوم در غلظت پایین بر محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاهان بادرشبویه تحت تنش شوری، نتایج مشابهی توسط محققین دیگر نیز گزارش‌شده است (Ashraf et al., 2018; Hawrylak-Nowak, 2009). سلنیوم در غلظت بهینه، علاوه بر حفظ ساختار کلروپلاست از آسیب اکسیداتیو (Filek et al., 2008)، با تغییر مسیر بیوسنتز کلروفیل (Djanaguiraman et al., 2005) و افزایش جذب عناصر معدنی مرتبط با سنتز کلروفیل (Han et al., 2013) سبب افزایش رنگیزه‌ها در گیاهان نیز می‌گردد. Filek و همکاران (۲۰۰۸) بیان کرده‌اند که افزودن سطوح مناسب سلنیوم به گیاهان تحت تنش شوری تا حدودی می‌تواند به کاهش آسیب کلروپلاست و بهبود میزان کلروفیل کمک کند. کاروتنوئیدها نوع دیگری از رنگیزه‌های گیاهی هستند که قادر به جاروب مستقیم گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشند و بنابراین نقش حفاظتی در مقابل تخریب کلروفیل و غشاءها دارند (Mostofa et al., 2017). در تأیید یافته‌های این پژوهش، Nawaz و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که کاربرد سلنیوم در غلظت مناسب می‌تواند سبب افزایش میزان کاروتنوئیدهای ذرت تحت تنش آبی گردد که با یافته‌های Hawrylak-Nowak (۲۰۰۹) مبنی بر عدم وجود اختلاف معنی‌داری در میزان کاروتنوئیدهای گیاهچه خیار در شرایط تنش شوری مغایرت دارد. نقش مضر کاربرد سلنیوم با غلظت زیاد بر روی رنگیزه‌های فتوسنتزی در این تحقیق با یافته‌های سایر پژوهشگران همخوانی دارد (Agami, 2013; Mostofa et al., 2017; Nawaz et al., 2016). احتمالاً یکی از راه‌های آسیب سلنیوم در غلظت بالا به کلروفیل، جایگزینی سلنیوم به‌جای منیزیم است (Chen et al., 2005). از طرفی افزایش سنتز برخی ترکیبات فنولی در پاسخ به سلنیوم می‌تواند سبب تحریک فعالیت آنزیم کلروفیلاز گردد (Zhu et al., 2004).

افزایش میزان پرولین در شرایط شوری در گیاهان مختلفی نظیر برنج (Chutipaijit et al., 2011)، کاهو (Leyva et al., 2011) و *Brassica juncea* (Naz et al., 2015) گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. تجمع پرولین که معمولاً در سیتوزول رخ می‌دهد (Chutipaijit et al., 2011)، در شرایط تنش‌زا نقش مهمی در کاهش پراکسیداسیون لیپید و بهبود یکپارچگی غشاء دارد و با تحریک بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدان، موجب کاهش میزان آسیب تنش اکسیداتیو حاصل از شوری می‌گردد (Iqbal et al., 2014). از سوی دیگر، پرولین در تنظیم آب درون سلول‌های گیاهی و پایداری آنزیم‌ها و پروتئین‌ها از طریق حفظ pH سلولی نیز نقش بسزایی دارد (Iqbal et al., 2014; Mostofa et al., 2017). تأثیر محلول‌پاشی سلنیوم بر افزایش میزان پرولین گیاهان بادرشبویه تحت تنش شوری در تحقیق حاضر، با یافته‌های محققان دیگر نیز مطابقت دارد (Hawrylak-Nowak, 2009; Shekari et al., 2015). بر اساس

www.SID.ir

Archive of SID

یافته‌های Hawrylak-Nowak و همکاران (۲۰۰۹)، افزایش سطح پرولین ناشی از کاربرد سلنیوم می‌تواند نقش مؤثری در تجمع رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان رشد و درنتیجه افزایش مقاومت گیاهچه‌های خیار در معرض تنش شوری داشته باشد.

قندهای محلول نشانگر خوبی برای تعیین میزان بردباری گیاهان به شوری و خشکی می‌باشند (Kong et al., 2005)، به‌طوری‌که از بین ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی، ۵۰ درصد کل توانایی گلیکوفیت‌ها در شرایط شوری مربوط به قندها است (Ashraf and Harris, 2004). بر اساس گزارش Leyva و همکاران (۲۰۱۱)، میزان قندهای محلول نظیر ساکارز و پیش‌سازهای آن، فروکتوز و گلوکز، ۵-٤ برابر نسبت به شاهد در گیاهان کاهو که در معرض ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl قرار گرفته بودند، افزایش یافت. انباشت قندهای محلول می تواند نقش فیزیولوژیکی مهمی در تأمین انرژی، تنظیم اسمزی، حفظ پتانسیل‌آب، افزایش محتوی آب نسبی برگ (Rady et al., 2019)، جاروب گونه‌های فعال اکسیژن و حفظ متابولیسم پایه سلول‌های گیاهی در شرایط محیطی نامساعد داشته باشند (Leyva et al., 2011). در رابطه با افزایش رشد و زیست‌توده ناشی از تجمع قندهای محلول تحت غلظت مناسب سلنیوم و تنش شوری در گیاهان بادرشبویه، نتایج این تحقیق با یافته‌های Ahmad و همکاران (۲۰۱٦) در گیاهان *B. juncea* تحت تنش کادمیوم و Abbas (۲۰۱۳) در ذرت خوشه‌ای تحت تنش سرما مطابقت دارد. درواقع سلنیوم در غلظت مناسب با تنظیم میزان فعالیت آنزیم‌هایی نظیر آمیلاز و اینورتاز، منجر به افزایش قندهای محلول می‌شوند که با افزایش تنفس سلولی همراه است و انرژی لازم برای رشد سریع را به‌ویژه در ساقه فراهم می‌کند (Malik et al., 2011). به نظر می‌رسد سلنیوم از طریق افزایش فتوسنتز موجب افزایش تشکیل قندهای محلول شده است که احتمالاً علاوه بر تحریک رشد عمومی، به‌عنوان محلول سازگار در حفظ تعادل آبی نیز مؤثر است، به‌طوری‌که افزایش جذب آب هم‌زمان با افزایش انباشتگی قندهای محلول در تیمارهای شوری محلول‌پاشی شده با غلظت مناسب سلنیوم، منجر به افزایش پتانسیل‌آب در گیاهان شد.

در واکنش پراکسیداسیون لیپید، مالون دی آلدئید اولین محصولی است که در اثر آسیب رادیکال های آزاد و تجزیه اسیدهای چرب اشباع‌نشده در فسفولیپید غشاءها تشکیل می‌شود که در شرایط تنش شوری شدت می‌یابد (Chutipaijit et al., 2011). افزودن سلنیوم در غلظت پایین سبب کاهش نفوذپذیری غشاء پلاسمایی سلول‌های برگ و کاهش غلظت مالون‌دی‌آلدئید در گیاهان تحت تنش شوری شد که با یافته‌های تحقیقات قبلی بر روی گیاهانی نظیر سورگوم (Djanaguiraman et al., 2010)، ذرت (Ashraf et al., 2018)، گیاهچه‌های خیار (Hawrylak-Nowak, 2009)، گیاهچه‌های کلزا (Hasanuzzaman et al., 2011) و شوید (Shekari et al., 2015) مطابقت دارد. به‌این‌ترتیب سلنیوم در غلظت مناسب با کاهش میزان تجمع سدیم در سلول‌ها (Diao et al., 2014)، با ایجاد یک نوع به‌هم‌ریختگی در زنجیره تولید گونه‌های فعال اکسیژن و کاهش میزان آن‌ها، بهبود سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی و کاهش آسیب‌های وارده به لیپید در غشاءهای سلولی و درنتیجه کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید (Feng et al., 2013)، سبب بهبود رشد گیاهان می‌گردد و توانایی گیاه را برای مقاومت در برابر تنش‌های غیرزیستی افزایش می‌دهد (Han et al., 2013).

کاهش محتوی آب نسبی برگ‌ها تحت تنش شوری دال بر مهار جذب آب است که توسط محققان دیگر در گیاهان ماش (Kaur and Nayyar, 2015) و

www.SID.ir

Archive of SID

ذرت (Nawaz et al., 2016) نیز گزارش شده است. احتمالاً کاهش دسترسی گیاه به آب در شرایط تنش شوری موجب کاهش رشد گیاهان بادرشبویه در مطالعه حاضر شده است که با یافته‌های Kaur و Nayyar (۲۰۱۵) بر روی ماش نیز همخوانی دارد. از دلایل آن می‌توان به کاهش هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌ای گیاه اشاره نمود که به دلیل کاهش سطح جذب، قادر به جبران آب ازدست‌رفته از طریق تعرق نیست (Rady et al., 2019). اثرات مثبت کاربرد سلنیوم در افزایش محتوی آب نسبی برگ و کاهش شدت تنش وارده به گیاه توسط Nawaz و همکاران (۲۰۱٦) و Djanaguiraman و همکاران (۲۰۰۵) نیز توضیح داده شده است. تأثیر کاربرد سلنیوم در بهبود مدیریت آبی گیاه در شرایط تنش ممکن است ناشی از اثر آن در افزایش یکپارچگی غشاء (Nawaz et al., 2015) و افزایش هدایت روزنه‌ای (Kaur and Nayyar, 2015) باشد که می‌تواند سبب تجمع محلول‌های سازگار نظیر پرولین و قندهای محلول شود (Handa et al., 2018).

تنش شوری و کمبود آب بشدت وابسته به یکدیگر هستند، غلظت بالای یون سدیم در سلول‌های گیاهی سبب اختلال در تعادل اسمزی گشته و با ایجاد خشکی فیزیولوژیکی، مانع از جذب آب در گیاه می‌گردد (Wani et al., 2017) که منفی‌تر شدن پتانسیل‌آب برگ را در پی دارد. کاربرد سلنیوم نقش بهبوددهنده‌ای در پتانسیل‌آب سلول دارد که ممکن است به دلیل تأثیر مثبت آن در حفظ تعادل اسمزی و هوموستازی یونی در جهت افزایش جذب آب باشد (Nawaz et al., 2016)؛ بنابراین سلنیوم از طریق بهبود وضعیت آب و تأخیر مرحله پیری، در تنظیم رشد و نمو گیاه اثربخشی بسیاری دارد (Ashraf et al., 2018; Djanaguiraman et al., 2005; Naz et al., 2015). بر اساس نتایج تحقیق حاضر، سلنیوم با تأثیر بر تجمع اسمولیت‌ها نقش مؤثری در حفظ وضعیت آب در گیاهان تحت تنش دارد که با یافته‌های Nawaz و همکاران (۲۰۱٦) مطابقت دارد. بعلاوه، کاهش نشت الکترولیتی غشاء با افزودن سلنیوم می‌تواند منجر به کمتر منفی شدن پتانسیل‌آب گردد که باعث کاهش تعرق در شرایط کمبود آب می‌گردد (Nawaz et al., 2016).

در مقابل، کاربرد سلنیوم در غلظت بالا تنش اکسیداتیو را تحریک و با تخریب کلروفیل و درنتیجه کاهش کارایی فتوسنتز (Agami, 2013; Mostafa et al., 2017; Nawaz et al. 2016)، افزایش پراکسیداسیون لیپید (Han et al., 2013) و آسیب به غشاء سلولی (Kaur and Nayyar, 2015; Mostofa et al., 2017) سبب مهار رشد گیاه می‌شود که با نتایج یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد. یکی از اساسی‌ترین علت‌های سمیت سلنیوم در غلظت بالا را جایگزینی سلنیوم به‌جای گوگرد در برخی اسیدهای آمینه اعلام نمودند که منجر به اختلال عمل آنزیم‌ها و پروتئین‌های سلولی می‌گردد (Mostofa et al., 2017). همچنین در تأیید نتایج این تحقیق، محلول‌پاشی سلنیوم با غلظت زیاد می‌تواند سبب تحریک سنتز اسمولیت‌های قند (Dalio et al., 2011) و پرولین (Mostofa et al., 2017) شود تا به این وسیله اثر سمی آن را تا حدی کاهش دهند.

نتیجه‌گیری نهایی

در مطالعه حاضر مشخص شد که محلول‌پاشی سلنیوم در غلظت کم (۵ میکرومولار) سبب تحریک رشد و همچنین تجمع رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان بادرشبویه تحت تنش شوری شد. نقش حفاظتی یون‌های سلنیوم در گیاهان تحت تنش مبهم است ولی می‌تواند با مهار فرایند پراکسیداسیون لیپید، افزایش تجمع پرولین و قندهای محلول و همچنین

www.SID.ir

Archive of SID

حفظ یکپارچگی و عملکرد غشاء در گیاهان مرتبط باشد. به نظر می‌رسد کاربرد سلنیوم می‌تواند به‌عنوان یک روش امیدبخش در کاهش اثرات سمی شوری و حفظ محتوی آب نسبی برگ در گیاهان تحت تنش بکار رود. از سوی دیگر، انباشت مقدار غیرضروری سلنیوم در بافت‌های گیاهی منجر به کاهش زیست‌توده و درنتیجه مهار رشد گیاه، کاهش پتانسیل‌آب و محتوای نسبی آب برگ، آسیب به غشاء توسط پراکسیداسیون لیپید (مالون‌دی‌آلدئید) و نشت الکترولیتی می‌گردد.

References

Abbas, S.M. (2013). Low levels of selenium application attenuate low temperature stress in sorghum (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench.) seedlings. Pakistan Journal of Botany. 45(5): 1597-1604.

Agami, R.A. (2013). Alleviating the adverse effects of NaCl stress in maize seedlings by pretreating seeds with salicylic acid and 24-epibrassinolide. South African Journal of Botany. 88: 171-177.

Ahmad, P., Allah, E.A., Hashem, A., Sarwat, M. and Gucel, S. (2016). Exogenous application of selenium mitigates cadmium toxicity in *Brassica juncea* L. (Czern & Cross) by up-regulating antioxidative system and secondary metabolites. Journal of Plant Growth Regulation. 35(4): 936-950.

Ashraf, M. and Harris, P. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Science. 166(1): 3-16.

Ashraf, M.A., Akbar, A., Parveen, A., Rasheed, R., Hussain, I. and Iqbal, M. (2018). Phenological application of selenium differentially improves growth, oxidative defense and ion homeostasis in maize under salinity stress. Plant Physiology and Biochemistry.123: 268-280.

Astaneh, R.K., Bolandnazar, S., Nahandi, F. Z. and Oustan, S. (2017). Effects of selenium on some physiological traits and K, Na concentration of garlic (*Allium sativum* L.) under NaCl stress. Information Processing in Agriculture. 5(1): 156-161.

Bates, L., Waldren, R. and Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39(1): 205-207.

Chen, T., Zheng, W., Luo, Y., Yang, F., Bai, Y. and Tu, F. (2005). Effects of selenium stress on photosynthetic pigment contents and growth of *Chlorella vulgaris*. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology. 31(4): 369-373.

Chutipaijit, S., Cha-um, S. and Sompornpailin, K. (2011). High contents of proline and anthocyanin increase protective response to salinity in '*Oryza sativa*' L. spp. '*indica*'. Australian Journal of Crop Science. 5(10): 1191-1198.

Dalio, R.J.D., Pinheiro, H.P., Sodek, L. and Haddad, C.R.B. (2011). The effect of 24-epibrassinolide and clotrimazole on the adaptation of *Cajanus cajan* (L.) Millsp. to salinity. Acta Physiologiae Plantarum. 33(5): 1887-1896.

Dastmalchi, K., Dorman, H. D., Koşar, M. and Hiltunen, R. (2007). Chemical composition and in vitro antioxidant evaluation of a water-soluble Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) extract. LWT-Food Science and Technology. 40(2): 239-248.

Diao, M., Ma, L., Wang, J., Cui, J., Fu, A. and Liu, H.-y. (2014). Selenium promotes the growth and photosynthesis of tomato seedlings under salt stress by enhancing chloroplast antioxidant defense system. Journal of Plant Growth Regulation. 33(3): 671-682.

Djanaguiraman, M., Devi, D.D., Shanker, A. K., Sheeba, J.A. and Bangarusamy, U. (2005). Selenium-an antioxidative protectant in soybean during senescence. Plant and Soil. 272(1-2): 77-86.

Djanaguiraman, M., Prasad, P. and Seppanen, M. (2010). Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defense system. Plant Physiology and Biochemistry. 48(12): 999-1007.

Feng, R., Wei, C. and Tu, S. (2013). The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. Environmental and Experimental Botany. 87: 58-68.

Filek, M., Keskinen, R., Hartikainen, H., Szarejko, I., Janiak, A., Miszalski, Z. and Golda, A. (2008). The protective role of selenium in rape seedlings subjected to cadmium stress. Journal of Plant Physiology. 165(8): 833-844.

Han, D., Li, X., Xiong, S., Tu, S., Chen, Z., Li, J. and Xie, Z. (2013). Selenium uptake, speciation and stressed response of *Nicotiana tabacum* L. Environmental and Experimental Botany. 95: 6-14.

www.SID.ir

Archive of SID

Handa, N., Kohli, S. K., Thukral, A. K., Bhardwaj, R., Alyemeni, M. N., Wijaya, L. and Ahmad, P. (2018). Protective role of selenium against chromium stress involving metabolites and essential elements in *Brassica juncea* L. seedlings. 3 Biotechnology.8(1): 66.

Hasanuzzaman, M., Hossain, M.A. and Fujita, M. (2011). Selenium-induced up-regulation of the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system reduces salinity-induced damage in rapeseed seedlings. Biological Trace Element Research. 143(3): 1704-1721.

Hawrylak-Nowak, B. (2009). Beneficial effects of exogenous selenium in cucumber seedlings subjected to salt stress. Biological Trace Element Research. 132(1-3): 259-269.

Heath, R.L. and Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics. 125(1): 189-198.

Iqbal, N., Umar, S., Khan, N. A. and Khan, M.I.R. (2014). A new perspective of phytohormones in salinity tolerance: regulation of proline metabolism. Environmental and Experimental Botany. 100: 34-42.

Irigoyen, J., Einerich, D. and Sánchez-Díaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativd*) plants. Physiologia Plantarum. 84(1): 55-60.

Jiang, C., Zu, C., Lu, D., Zheng, Q., Shen, J., Wang, H. and Li, D. (2017). Effect of exogenous selenium supply on photosynthesis, Na+ accumulation and antioxidative capacity of maize (*Zea mays* L.) under salinity stress. Scientific Reports. 7: 42039.

Jiang, Q., Roche, D., Monaco, T.A. and Durham, S. (2006). Gas exchange, chlorophyll fluorescence parameters and carbon isotope discrimination of 14 barley genetic lines in response to salinity. Field Crops Research. 96(2): 269-278.

Kamran, M., Parveen, A., Ahmar, S., Malik, Z., Hussain, S., Chattha, M. S., Saleem, M. H., Adil, M., Heidari, P. and Chen, J.-T. (2020). An overview of hazardous impacts of soil salinity in crops, tolerance mechanisms, and amelioration through selenium supplementation. International Journal of Molecular Sciences. 21(1): 148.

Kaur, S. and Nayyar, H. (2015). Selenium fertilization to salt-stressed mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) plants reduces sodium uptake, improves reproductive function, pod set and seed yield. Scientia Horticulturae. 197: 304-317.

Kong, L., Wang, M. and Bi, D. (2005). Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stress. Plant Growth Regulation. 45(2): 155-163.

Leyva, R., Sánchez-Rodríguez, E., Ríos, J.J., Rubio-Wilhelmi, M.M., Romero, L., Ruiz, J.M. and Blasco, B. (2011). Beneficial effects of exogenous iodine in lettuce plants subjected to salinity stress. Plant Science. 181(2): 195-202.

Lichtenthaler, H. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods Enzymology. 148: 350-382.

Lutts, S., Kinet, J. and Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Annals of Botany. 78(3): 389-398.

Malik, J. A., Kumar, S., Thakur, P., Sharma, S., Kaur, N., Kaur, R., Pathania, D., Bhandhari, K., Kaushal, N., Singh, K., Srivastava, A. and Nayyar, H. (2011). Promotion of growth in Mungbean *(Phaseolus aureus* Roxb.) by selenium is associated with stimulation of carbohydrate metabolism. Biological Trace Element Research. 143(1): 530-539.

Mostofa, M. G., Hossain, M. A., Siddiqui, M. N., Fujita, M. and Tran, L.-S. P. (2017). Phenotypical, physiological and biochemical analyses provide insight into selenium-induced phytotoxicity in rice plants. Chemosphere. 178: 212-223.

Nawaz, F., Ahmad, R., Ashraf, M., Waraich, E. and Khan, S. (2015). Effect of selenium foliar spray on physiological and biochemical processes and chemical constituents of wheat under drought stress. Ecotoxicology and Environmental Safety. 113: 191-200.

Nawaz, F., Naeem, M., Ashraf, M. Y., Tahir, M. N., Zulfiqar, B., Salahuddin, M., Shabbir, R. N. and Aslam, M. (2016). Selenium supplementation affects physiological and biochemical processes to improve fodder yield and quality of maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. Frontiers in Plant Science. 7: 1438.

Naz, F.S., Yusuf, M., Khan, T.A., Fariduddin, Q. and Ahmad, A. (2015).

www.SID.ir

Archive of SID

Low level of selenium increases the efficacy of 24-epibrassinolide through altered physiological and biochemical traits of *Brassica juncea* plants. Food Chemistry. 185: 441-448.

Nothstein, A.K., Eiche, E., Riemann, M., Nick, P., Winkel, L.H.E., Göttlicher, J., Steininger, R., Brendel, R., von Brasch, M., Konrad, G. and Neumann, T. (2016). Tracking Se assimilation and speciation through the rice plant e nutrient competition, toxicity and distribution. PLOS One, 11(4): 1-15.

Rady, M.M. (2011). Effect of 24-epibrassinolide on growth, yield, antioxidant system and cadmium content of bean *(Phaseolus vulgaris* L.) plants under salinity and cadmium stress. Scientia Horticulturae. 129(2): 232-237.

Rady, M.M., Desoky, E.-S., Elrys, A. and Boghdady, M. (2019). Can licorice root extract be used as an effective natural biostimulant for salt-stressed common bean plants? South African Journal of Botany. 121: 294-305.

Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. and Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science. 30(1): 105-111.

Shahid, M.A., Balal, R.M., Pervez, M. A., Garcia-Sanchez, F., Gimeno, V., Abbas, T., Mattson, N.S. and Riaz, A. (2014). Treatment with 24-epibrassinolide mitigates NaCl-induced toxicity by enhancing carbohydrate metabolism, osmolyte accumulation, and antioxidant activity in *Pisum sativum*. Turkish Journal of Botany. 38(3): 511-525.

Shekari, F., Abbasi, A. and Mustafavi, S. H. (2015). Effect of silicon and selenium on enzymatic changes and productivity of dill in saline condition. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 16: 367-374.

Wani, A.S., Tahir, I., Ahmad, S.S., Dar, R. A. and Nisar, S. (2017). Efficacy of 24-epibrassinolide in improving the nitrogen metabolism and antioxidant system in chickpea cultivars under cadmium and/or NaCl stress. Scientia Horticulturae. 225: 48-55.

Yousefzadeh, S., Modarres-Sanavy, S. A. M., Sefidkon, F., Asgarzadeh, A., Ghalavand, A. and Sadat-Asilan, K. (2013). Effects of Azocompost and urea on the herbage yield and contents and compositions of essential oils from two genotypes of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in two regions of Iran. Food Chemistry. 138(2): 1407-1413.

Zhu, Y., G., Huang, Y., Hu, Y., Liu, Y. and Christie, P. (2004). Interactions between selenium and iodine uptake by spinach (*Spinacia oleracea* L.) in solution culture. Plant and Soil. 261(1-2): 99-105.

www.SID.ir