

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

بیبا زاجی^۱، رمضانعلی خاوری‌نژاد^{۱*}، سارا سعادت‌مند^۱، علیرضا ایرانبخش^۱

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

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۰۴

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 می‌رسد. به همین منظور، آزمایشی گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با تیمارهای شوری (۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی سلینیوم (۰، ۵، ۱۰ میکرومولار) اجرا گردید تا نقش احتمالی سلینیوم 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 سلینیوم به‌ویژه در غلظت کم سبب بهبود کلیه صفات ذکر شده در شرایط تنش شوری گردید. در مقابل، سطح بالای سلینیوم سبب تشدید اثر منفی شوری شد، به‌طوری‌که حداکثر میزان مالون‌دی‌آلدئید، نشت الکترولیتی و پتانسیل آب توسط سلینیوم (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 سلینیوم در غلظت پایین نقش بسزایی در کاهش اثرات مضر شوری از طریق افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، حفظ یکپارچگی غشاء، کاهش پتانسیل آب و انباشت محلول‌های سازگار داشته و در نتیجه سبب بهبود عملکرد گیاهان بادرشبویه تحت تنش شوری شد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب، رنگیزه‌های فتوسنتزی، سلینیوم، مالون‌دی‌آلدئید، محلول‌های سازگار، نشت الکترولیتی

مقدمه

ترکیبات ثانویه است که برای برخی از ترکیب‌های اساس آن مصارف متعدد دارویی، بهداشتی و صنعتی ذکر شده است (Dastmalchi et al., 2007; Yousefzadeh et al., 2013). ترکیب‌های معطر آن نیز در طعم‌دهندگی 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

گیاه بادرشبویه با نام علمی (*Dracocephalum moldavica* L.)، گیاهی علفی، معطر و متعلق به خانواده Labiatae (Lamiaceae) است (Yousefzadeh et al., 2013) که بومی آسیای مرکزی و اهلی شده 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

* نویسنده مسئول: ra.khavarinejad@gmail.com

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 ۶ 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 میلی‌مول 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.

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).

به‌رحال، 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 میلی‌مولار کلرید سدیم و سلنیوم در سه سطح صفر (شاهد)، ۵ و ۱۰ میکرومولار، در ۴ 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

جدول ۱: مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک گلدانی

بافت خاک	اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	کربن آلی (%)	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	۱۴/۶	۶۸۰	۱۵/۵

گرم وزن تر بیان گردید.

اندازه گیری میزان نشت الکترولیتی: میزان درصد نشت الکترولیتی (EL) نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۱ به روش Lutts و همکاران (۱۹۹۶) به دست آمد. EC₁ هدایت الکتریکی قطعاتی از برگ‌های جوان را که برای مدت ۲۴ ساعت در لوله‌های آزمایش حاوی آب مقطر در دمای آزمایشگاه بر روی شیکر با ۱۰۰ دور در دقیقه قرار داده شدند را نشان می‌دهد. EC₂ نیز نشان‌دهنده هدایت الکتریکی نمونه‌ها پس از قرار دادن آن‌ها در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه است.

$$\text{EL (\%)} = \text{EC}_1 / \text{EC}_2 \times 100 \quad \text{رابطه (۱):}$$

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 (وزن تر)، TM (وزن تورژسانس) و DM (وزن خشک) را تشکیل می‌دهند.

رابطه (۲):

$$\text{RWC (\%)} = [(FM - DM) / (TM - DM)] \times 100$$

اندازه گیری پتانسیل آب برگ: جهت اندازه گیری پتانسیل آب برگ، دو ساعت بعد از دوره شروع روز، اولین برگ‌های جوان توسعه یافته به همراه دمبرگ از نزدیک به ساقه قطع شدند و ناحیه دمبرگ آن‌ها بلافاصله در محفظه فشار دستگاه اندازه گیری پتانسیل آب قرار گرفت. به تدریج با باز نمودن 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

اندازه گیری پارامترهای رشد: در آغاز مرحله گلدهی، ارتفاع، وزن تر و سطح برگ هر گیاه تعیین شد. میزان سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح سنج برگ (مدل CRLAI، 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 به مدت ۴۸ ساعت اندازه گیری شد.

سنجش رنگی‌های فتوسنتزی: رنگی‌های فتوسنتزی کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها با استفاده از روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) اندازه گیری شد و میزان آن‌ها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر 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 وزن تر ارائه گردید.

تعیین میزان قندهای محلول: میزان قندهای محلول کل با استفاده از روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲) اندازه گیری شد و در نهایت با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز به عنوان شاهد، بر اساس میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه بیان شد.

سنجش غلظت مالون‌دی‌آلدئید: جهت اندازه گیری پراکسیداسیون لیپید غشاء سلولی در برگ‌ها، تست تیوباربیتوریک اسید بکار برده شد (Heath and Packer, 1968). برای محاسبه غلظت مالون‌دی‌آلدئید به عنوان 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

گردید، معادل پتانسیل آب 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 اعمال شده بر تمامی صفات مورد اندازه‌گیری

اثر معنی‌دار داشت به طوری که شوری در سطح معنی‌دار یک درصد بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده مؤثر بود. همچنین اثر سلنیوم بر تمامی خصوصیات گیاه به جز 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 رنگی‌های فتوسنتزی مورد اندازه‌گیری در گیاه بادرشبویه تحت تأثیر تنش شوری و محلول‌پاشی برگی سلنیوم

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن تر (g plant ⁻¹)	وزن خشک (g plant ⁻¹)	ارتفاع (cm)	سطح برگ (cm ² plant ⁻¹)	کلروفیل <i>a</i> و <i>b</i> (mg g ⁻¹ FW)		
						<i>a</i>	<i>b</i>	کاروتنوئیدها
شوری	۳	۶۷۵/۱۲**	۶۴/۴۴**	۳۷** 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* به ترتیب 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	پروکلین (μmol g ⁻¹ FW)	قندهای محلول (mg g ⁻¹ FW)	مالون‌دی‌آلدئید (μmol g ⁻¹ FW)	نشت الکترولیتی (%)	محتوی نسبی آب برگ (%)	پتانسیل آب (-MPa)
شوری	۳	۱۶۶/۴۳**	۴۴۶/۰۰**	۹۳۸/۷۰**	۷۱۲۸/۰۰**	۲۹۱۷/۱۰**	۷۲/۵۲**
سلنیوم	۲	۱۹/۰۵**	۸۰/۳۸**	۴۰۳/۴۱**	۱۳۳۳/۱۶**	۲۳۶۲/۱۷**	۳۸/۸۴**
شوری × سلنیوم	۶	۰/۴۹**	۴/۷۱*	۳۳۱/۸۳*	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

گیاه بادرشبویه داشت به طوری که در بالاترین سطح شوری (۷۵ میلی‌مولار) به ترتیب ۴/۵، ۵۸/۸، ۵۰/۵ و

پارامترهای رشد: تنش شوری اثر قابل توجهی بر کاهش میزان وزن تر، وزن خشک، ارتفاع و سطح برگ

۵۵/۵ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان دادند خشک اختلاف معنی‌داری بین شاهد و تیمارهای (جدول ۴). محلول پاشی سلیوم ۵ میکرومولار سبب سلیوم با غلظت بالا (۱۰ میکرومولار) مشاهده نشد بهبود پارامترهای رشد شد، درحالی‌که به‌جز وزن (جدول ۴).

جدول ۴: مقایسه میانگین وزن تر 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 سلیوم (μM)

تیمار	وزن تر (g plant ⁻¹)	وزن خشک (g plant ⁻¹)	ارتفاع (cm)	سطح برگ (cm ² plant ⁻¹)	کلروفیل		کاروتنوئیدها (mg g ⁻¹ FW)
					<i>a</i>	<i>b</i>	
شوری							
صفر	۵۴/۸۲ a	۱۴/۲۸ a	۷۰/۲۱ a	۵۹۰/۶ a	۰/۲۱۴ a	۰/۰۴۴ a	۰/۰۴۰ a
۲۵	۴۸/۱۲ b	۱۱/۸۵ b	۶۵/۵۲ b	۵۴۱/۶ a	۰/۱۸۵ b	۰/۰۴۰ ab	۰/۰۳۸ ab
۵۰	۴۱/۷۳ c	۱۰/۰۵ c	۵۳/۱۳ c	۴۴۳/۸ b	۰/۱۵۱ c	۰/۰۳۳ b	۰/۰۳۱ b
۷۵	۳۷/۷۱ d	۸/۹۹ d	۴۶/۶۴ d	۳/۸۰ c	۰/۱۳۳ d	۰/۰۲۹ c	۰/۰۲۷ c
سلیوم							
صفر	۴۳/۲۳ b	۱۰/۶۲ b	۵۸/۱۲ b	۴۸۰/۰ b	۰/۱۶۳ b	۰/۰۳۶ b	۰/۰۳۴ b
۵	۵۲/۲۲ a	۱۳/۳۶ a	۶۶/۸۰ a	۵۴۱/۸ a	۰/۲۰۱ a	۰/۰۴۲ a	۰/۰۳۸ a
۱۰	۴۱/۴۰ bc	۹/۹۰ c	۵۷/۷۰ b	۴۴۳/۱ b	۰/۱۴۷ c	۰/۰۳۲ bc	۰/۰۳ c

وجود حداقل یک حرف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار است.

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

تیمار	وزن تر (g plant ⁻¹)	وزن خشک (g plant ⁻¹)	ارتفاع (cm)	سطح برگ (cm ² plant ⁻¹)	کلروفیل		کاروتنوئیدها (mg g ⁻¹ FW)
					<i>a</i>	<i>b</i>	
شوری							
صفر	۵۳/۸۹ b	۱۲/۷۸ b	۶۷/۸۲ bc	۵۷۱/۴ b	۰/۱۹۳ bc	۰/۰۴۲ ab	۰/۰۳۹ abc
۵	۶۳/۱۱ a	۱۷/۷۵ a	۸۱/۱۲ a	۶۷۳/۳ a	۰/۲۸۰ a	۰/۰۵۰ a	۰/۰۴۶ a
۱۰	۴۷/۵۵ c	۱۱/۳۳ c	۶۰/۶۴ d	۵۳۲/۰ bc	۰/۱۷۰ d	۰/۰۳۷ bc	۰/۰۳۴ bc
۲۵							
۰	۴۲/۲۵ d	۱۱/۷۵ c	۶۵/۷۰ c	۵۴۰/۷ bc	۰/۱۸۴ c	۰/۰۴۰ bc	۰/۰۳۷ abc
۵	۵۵/۴۲ b	۱۲/۹۷ b	۷۰/۷۱ b	۵۶۱/۸ bc	۰/۱۹۹ b	۰/۰۴۳ ab	۰/۰۰۴ ab
۱۰	۴۶/۵۷ c	۱۰/۸۱ cd	۵۹/۹۱ d	۴۹۹/۶ c	۰/۱۶۹ de	۰/۰۳۶ cd	۰/۰۳۴ abc
۵۰							
۰	۴۱/۲۹ d	۹/۴۳ ef	۵۲/۴۰ e	۴۴۲/۱ d	۰/۱۴۷ fg	۰/۰۳۲ cd	۰/۰۰۳ bcd
۵	۴۷/۵۵ c	۱۱/۶۰ c	۶۰/۶۰ d	۵۱۱/۸ c	۰/۱۷۰ d	۰/۰۳۸ bc	۰/۰۳۵ abc
۱۰	۳۶/۳۳ e	۹/۱۲ efg	۴۶/۲۱ f	۳۷۹/۸ de	۰/۱۳۴ gh	۰/۰۲۹ de	۰/۰۲۷ bcd
۷۵							
۰	۳۵/۴۹ e	۸/۵۲ fg	۴۵/۲۳ f	۳۷۰/۷ de	۰/۱۲۷ hi	۰/۰۲۸ de	۰/۰۲۶ cd
۵	۴۲/۶۵ d	۱۰/۱۰ de	۵۴/۶۴ e	۳۴۱/۶ d	۰/۱۵۵ ef	۰/۰۳۴ cd	۰/۰۳۱ bcd
۱۰	۳۵/۰۹ e	۸/۳۳ g	۴۰/۱۲ g	۳۳۰/۹ e	۰/۱۱۵ i	۰/۰۲۵ d	۰/۰۲۳ d

وجود حداقل یک حرف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار است.

میلی مولار، به ترتیب باعث ۴۰/۸، ۷۷/۸ و ۱۰۷/۹ درصد افزایش پرولین نسبت به شاهد شد. در شرایط عدم تنش، محلول پاشی سلنیوم در هر دو سطح ۵ و ۱۰ میکرومولار، سبب افزایش این صفت نسبت به شاهد گردید (جدول ۶) همچنین با افزایش غلظت سلنیوم روند افزایشی میزان پرولین در تمام سطوح تنش شوری نیز مشاهده شد. به طوری که بیشترین میزان پرولین (۱۷/۸ میکرومول بر گرم وزن تر) که حدوداً بیش از دو برابر تیمار شاهد بود، از برهمکنش تیمار شوری ۷۵ میلی مولار و سلنیوم ۱۰ میکرومولار حاصل شد (جدول ۷).

قندهای محلول: میزان قند های محلول با تشدید تنش شوری روند افزایشی داشت، به طوری که بیشترین میزان قند های محلول با میانگین ۳۶/۰ میلی گرم بر گرم وزن تر از تیمار شوری ۷۵ میلی مولار حاصل شد (جدول ۶). کاربرد سلنیوم ۵ میکرومولار با میانگین ۳۲/۱ میلی گرم بر گرم وزن تر موجب ۱۶/۱ درصد افزایش این صفت نسبت به شاهد گردید (جدول ۶). در گزارش حاضر مشخص شد که کاربرد سلنیوم به ویژه در غلظت ۵ میکرومولار سبب تحریک تجمع قندهای محلول در سطوح مختلف شوری شد. بر اساس مقایسه میانگین اثر متقابل داده ها، بیشترین میزان قند در تیمار شوری ۷۵ میلی مولار به همراه محلول پاشی سلنیوم ۵ میکرومولار (۳۷/۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) حاصل شد که ۹۲/۲ درصد نسبت به شاهد (عدم تنش شوری و عدم محلول پاشی سلنیوم) بیشتر بود (جدول ۷).

مالون دی آلدئید: میزان مالون دی آلدئید به طور قابل توجهی با افزایش تنش شوری بیشتر شد، به طوری که در شدیدترین سطح تنش (۷۵ میلی مولار) ۵۴/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۶). کاربرد سلنیوم در غلظت بالا (۱۰ میکرومولار) سبب افزایش این پارامتر گردید و میزان آن را نسبت به

در بین تیمارهای ترکیبی، محلول پاشی سلنیوم با غلظت پایین در شرایط عدم تنش شوری بیشترین میزان وزن تر (۶۳/۱ گرم)، وزن خشک (۱۷/۷ گرم)، ارتفاع بوته (۸۱/۱ سانتی متر) و سطح برگ (۶۷/۷ سانتی متر مربع) را به دنبال داشت و در سطوح مختلف شوری نیز سبب بهبود این صفات نسبت به تیمارهای عدم محلول پاشی سلنیوم گردید. در حالی که محلول پاشی سلنیوم با غلظت بالا سبب تشدید اثرات منفی شوری بر پارامترهای رشد گیاه بادرشوبیه نسبت به شاهد شد (جدول ۵).

رنگیزه های فتوسنتزی: بر اساس مقایسه میانگین داده ها، میزان کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کاروتنوئیدهای برگ تحت تنش شوری به طور معنی داری نسبت به شاهد کاهش یافت، به طوری که با افزایش شدت تنش شوری، کاهش بیشتری در میزان آن ها مشاهده شد (جدول ۴). محلول پاشی سلنیوم در غلظت پایین سبب بهبود میزان رنگیزه های فتوسنتزی در برگ گیاهان بادرشوبیه گردید (جدول ۴). همچنین در رابطه با اثرات متقابل تنش شوری و محلول پاشی سلنیوم بر میزان کلروفیل *a*، کلروفیل *b* و کاروتنوئیدها، محلول پاشی سلنیوم در غلظت ۵ میکرومولار در تمام سطوح تنش شوری سبب بهبود وضعیت آن ها گردید، به طوری که اختلاف معنی داری بین گیاهان تحت تیمار شوری ۲۵ میلی مولار محلول پاشی شده با سلنیوم ۵ میکرومولار نسبت به شاهد مشاهده نشد. نتایج نشان می دهد که کاربرد سلنیوم در غلظت بالا سبب تشدید اثر منفی شوری بر میزان رنگیزه های فتوسنتزی شد و در نتیجه کمترین میزان آن ها مربوط به تیمار شوری ۷۵ میلی مولار و محلول پاشی سلنیوم ۱۰ میکرومولار بود (جدول ۵).

پرولین: تنش شوری افزایش چشمگیری را در میزان پرولین برگ های گیاه بادرشوبیه نشان داد (جدول ۶)، به طوری که افزایش شوری در سطوح ۲۵، ۵۰ و ۷۵

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، ۳۵/۷ و ۷۵/۶ درصد کاهش نسبت به شاهد داشت (جدول ۶). 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 ۶). 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 ۳۵/۳ درصد نسبت به شرایط عدم تنش محلول‌پاشی افزایش داد (جدول ۷).

گیاهان شاهد ۱۸/۲ درصد افزایش داد (جدول ۶). در تمام سطوح شوری محلول‌پاشی سلنیوم در غلظت پایین موجب کاهش پراکسیداسیون لیپید شد. در این بین بیشترین میزان مالون‌دی‌آلدئید (۵۶/۴ میکرومول بر گرم وزن تر) 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 آسیب‌غشایی بستگی به شدت تنش شوری داشت به‌طوری‌که بیشترین میزان نشت الکترولیتی (۸۷/۰ درصد) مربوط به تیمار ۷۵ میلی مولار شوری بود (جدول ۶). 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 (۴۱/۵ درصد) به‌دست آمد که از نظر آماری تفاوت

جدول ۶: مقایسه میانگین پرولین، قندهای محلول، مالون‌دی‌آلدئید، نشت الکترولیتی، محتوی نسبی آب و پتانسیل آب برگ گیاه بادرشبویه تحت تأثیر اثرات ساده تنش شوری (mM) و سلنیوم (μM)

تیمار	پرولین (μmol g ⁻¹ FW)	قندهای محلول (mg g ⁻¹ FW)	مالون‌دی‌آلدئید (μmol g ⁻¹ FW)	نشت الکترولیتی (%)	محتوی نسبی آب (%)	پتانسیل آب (-MPa)
شوری						
صفر	۷/۹۷ d	۲۱/۹۵ d	۳۵/۸۰ cd	۴۸/۵۳ d	۸۵/۸۴ a	۱/۲۵ c
۲۵	۱۱/۲۲ c	۲۸/۹۸ c	۳۹/۶۹ c	۵۵/۱۲ c	۷۲/۷۶ ab	۱/۴۲ bc
۵۰	۱۴/۱۷ b	۳۳/۱۲ b	۴۸/۷۲ b	۶۶/۰۰ b	۶۳/۲۴ ab	۱/۶۵ b
۷۵	۱۶/۵۷ a	۳۵/۹۹ a	۵۵/۴۳ a	۸۷/۰۱ a	۴۸/۸۷ b	۲/۱۴ a
سلنیوم						
صفر	۱۱/۲۹ c	۲۷/۶۴ b	۴۲/۸۱ b	۶۴/۱۲ b	۶۷/۵۴ b	۱/۶۱ ab
۵	۱۲/۷۲ b	۳۲/۱۰ a	۴۱/۳۲ b	۵۶/۴۲ c	۷۹/۸۹ a	۱/۴۳ b
۱۰	۱۳/۴۴ a	۳۰/۲۹ a	۵۰/۵۹ a	۷۲/۴۰ a	۵۵/۵۹ c	۱/۸۱ a

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

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).

پتانسیل آب برگ: پتانسیل آب برگ در اثر افزایش سطوح تنش شوری به شدت کاهش یافت، به طوری که در بالاترین سطح تنش نسبت به گیاهان شاهد ۷۱/۲ درصد کاهش نشان داد (جدول ۶). در شرایط عدم تنش، بیشترین میزان پتانسیل آب از محلول‌پاشی سلنیوم با غلظت ۵ میکرومولار (۱/۴۳ MPa-) حاصل گردید که از نظر آماری با شاهد (عدم محلول‌پاشی) در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۶). نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که در شرایط اعمال

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

پتانسیل آب (-MPa)	محتوی نسبی آب (%)	نشت الکترولیتی (%)	مالون‌دی‌آلدئید ($\mu\text{mol g}^{-1}$ FW)	قندهای محلول (mg g^{-1} FW)	پرولین ($\mu\text{mol g}^{-1}$ FW)	تیمار	
						سلنیوم	شوری
۱/۲۱ ef	۸۹/۵۳ ab	۴۶۷۰ ef	۲۷/۸۹ gh	۱۹/۵۸ i	۶/۹۵ i	۰	صفر
۱/۰۹ f	۹۳/۱۸ a	۴۱/۴۹ f	۲۶/۵۸ hi	۲۳/۳۳ gh	۸/۲۷ h	۵	
۱/۴۵ cd	۷۴/۸۲ abc	۵۷/۲۲ cd	۲۸/۹۲ ghi	۲۲/۹۵ h	۸/۶۷ h	۱۰	
۱/۴۸ cd	۶۸/۱۰ abcd	۵۸/۴۱ cd	۳۶/۵۹ gh	۲۵/۱۳ g	۱۰/۲۲ g	۰	۲۵
۱/۱۲ f	۹۲/۱۵ ab	۴۳/۱۰ f	۳۴/۶۸ fg	۳۲/۳۵ de	۱۱/۰۵ f	۵	
۱/۶۰ cd	۵۸/۰۳ cd	۶۳/۷۳ cd	۳۵/۷۰ ef	۲۹/۴۸ f	۱۲/۳۷ e	۱۰	
۱/۶۴ c	۶۲/۳۳ bcd	۶۶/۶۲ c	۴۴/۵۲ cd	۳۱/۱۳ ef	۱۲/۹۵ d	۰	۵۰
۱/۴۰ de	۷۷/۷۸ abc	۵۵/۱۱ de	۳۸/۵۷ de	۳۵/۱۰ bc	۱۴/۷۲ c	۵	
۱/۹۱ b	۴۹/۶۳ cd	۷۷/۳۲ b	۴۶/۴۸ cd	۳۳/۱۵ c	۱۴/۸۵ c	۱۰	
۲/۲۱ a	۵۰/۲۲ cd	۹۰/۵۱ a	۵۵/۴۰ a	۳۴/۷۵ bc	۱۵/۰۵ c	۰	۷۵
۱/۹۹ b	۵۶/۴۷ cd	۸۱/۱۴ b	۴۸/۶۱ bc	۳۷/۶۳ a	۱۶/۸۲ b	۵	
۱/۲۳ a	۳۹/۹۰ d	۹۱/۲۳ a	۵۶/۳۷ a	۳۵/۶ b	۱۷/۸۵ a	۱۰	

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

(Hawrylak-Nowak, 2009; Kong et al., 2005).

Jiang و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند که بهبود رشد گیاه تحت غلظت کم سلنیوم می‌تواند به دلیل 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

بحث

همان‌طور که از نتایج مشخص است با افزایش سطح تنش شوری، میزان وزن تر، وزن خشک، 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 از جمله تنش شوری می‌شود (Djanaguiraman et al., 2005).

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 به شدت 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 در نتیجه 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 گزارش شده است (Ashraf et al., 2009; Hawrylak-Nowak, 2018). 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., 2016; Nawaz et al., 2017). احتمالاً یکی از راه‌های آسیب سلنیوم در غلظت بالا به کلروفیل، جایگزینی سلنیوم به جای 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 (*Brassica juncea*) (Leyva et al., 2011) و (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., 2017; Mostofa et al., 2014). 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

احتمالاً علاوه بر تحریک رشد عمومی، به عنوان محلول سازگار در حفظ تعادل آبی نیز مؤثر است، به طوری که افزایش جذب آب هم‌زمان با افزایش انباشتگی قندهای محلول در تیمارهای شوری محلول‌پاشی شده با غلظت مناسب سلیوم، منجر به افزایش پتانسیل آب در گیاهان شد.

در واکنش پراکسیداسیون لیپید، مالون دی آلدئید اولین محصولی است که در اثر آسیب رادیکال‌های آزاد و تجزیه اسیدهای چرب اشباع نشده در فسفولیپید غشاءها تشکیل می‌شود که در شرایط تنش شوری شدت می‌یابد (Chutipaijit et al., 2011). افزودن سلیوم در غلظت پایین سبب کاهش نفوذپذیری غشاء پلاسمایی سلول‌های برگ و کاهش غلظت مالون دی آلدئید 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. به این ترتیب سلیوم در غلظت مناسب با کاهش میزان تجمع سدیم در سلول‌ها (Diao et al., 2014)، با ایجاد یک نوع به هم‌ریختگی 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 در نتیجه کاهش میزان مالون دی آلدئید (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

یافته‌های Hawrylak-Nowak و همکاران (۲۰۰۹)، افزایش سطح پرولین ناشی از کاربرد سلیوم می‌تواند نقش مؤثری در تجمع رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان رشد و در نتیجه 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)، به طوری که 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، ۴-۵ برابر نسبت به شاهد در گیاهان کاهو که در معرض ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl قرار گرفته بودند، افزایش یافت. انباشت قندهای محلول می‌تواند نقش فیزیولوژیکی مهمی در تأمین انرژی، تنظیم اسمزی، حفظ پتانسیل آب، 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 سلیوم و تنش شوری در گیاهان بادرشویه، نتایج این تحقیق با یافته‌های Ahmad و همکاران (۲۰۱۶) در گیاهان *B. juncea* تحت تنش کادمیوم و Abbas (۲۰۱۳) در ذرت خوشه‌ای تحت تنش سرما مطابقت دارد. در واقع سلیوم 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 سلیوم از طریق افزایش فتوسنتز موجب افزایش تشکیل قندهای محلول شده است که

بر تجمع اسمولیت‌ها نقش مؤثری در حفظ وضعیت آب در گیاهان تحت تنش دارد که با یافته‌های Nawaz و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. بعلاوه، کاهش نشت الکترولیتی غشاء با افزودن سلنیوم می‌تواند منجر به کمتر منفی شدن پتانسیل آب 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 در نتیجه 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 به جای 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

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 (۲۰۱۶) 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 پتانسیل آب برگ را در پی دارد. کاربرد سلنیوم نقش بهبوددهنده‌ای در پتانسیل آب 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

سلنیوم در بافت‌های گیاهی منجر به کاهش زیست‌توده و در نتیجه مهار رشد گیاه، کاهش پتانسیل آب و محتوای نسبی آب برگ، آسیب به غشاء توسط پراکسیداسیون لیپید (مالون‌دی‌آلدئید) و نشت الکترولیتی می‌گردد.

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 محتوای آب نسبی برگ در گیاهان تحت تنش بکار رود. از سوی دیگر، انباشت مقدار غیرضروری

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 Guce, 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., Kozar, 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.

- 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 sativa*) 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).**

- 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.