مقاله پژوهشی

نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال شانزدهم، شماره ۶۴، زمستان ۱۴۰۰ / صفحات: ۷۴-۵۵
Doi: 10.30495/iper.2022.688791 Dor: 20.1001.1.24237671.1400.16.64.6.0

تأثیر تنش خشکی و سلنیوم بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژی گیاه بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* L.)

معصومه عامریان*، علی‌رضا زبرجدی، جوانه‌السادات محرابی

گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۷

چکیده

سلنیوم یک عنصر غذایی مهم برای حیوانات و انسان است که در بسیاری از گونه‌های گیاهی نیز نقش مؤثری دارد. نقش مثبت سلنیوم در کاهش اثر تنش‌های محیطی مختلف بر گیاهان مورد تأیید قرار گرفته است. هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی اثر سلنیوم بر برخی شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* L.) در شرایط تنش خشکی می‌باشد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در شرایط گلخانه اجرا گردید. فاکتور اول شامل سطوح مختلف رطوبت (آبیاری کامل، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و فاکتور دوم شامل غلظت‌های مختلف سلنیوم (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم) بود. محلول‌پاشی برگی سلنات‌سدیم طی دو مرحله انجام شد. سلنیوم برخلاف تنش خشکی، وزن خشک ساقه و برگ، طول گل‌آذین و میزان نسبی آب برگ را افزایش داد. در شرایط تنش خشکی، سلنیوم موجب افزایش ارتفاع گیاه، تعداد شاخه، وزن تر ساقه، تعداد برگ و وزن تر برگ شد. سلنیوم عملکرد بیولوژیکی، وزن خشک گل‌آذین، تعداد گل، وزن بذر در هر بوته، وزن هزار دانه و عملکرد بذر را افزایش داد. سلنیوم بر هدایت روزنه‌ای، فلورسانس کلروفیل برگ و فعالیت آنزیم کاتالاز تأثیر مثبت داشت. نتایج این تحقیق نشان داد با محلول‌پاشی برگی سلنات‌سدیم می‌توان بر تنش خشکی غلبه کرده و از کاهش عملکرد بذر جلوگیری به‌عمل آورد. درنتیجه محلول‌پاشی ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم برای کاهش اثرات تنش خشکی در کشت گلخانه‌ای گیاه بالنگوی شهری قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: سلنات‌سدیم، عملکرد بذر، فلورسانس کلروفیل برگ و هدایت روزنه‌ای

مقدمه

بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* L.) از خانواده‌ی نعناعیان (Lamiaceae) گیاهی است یک‌ساله، تقریباً بدون کرک، به ارتفاع ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر، برگ‌های آن متقابل و دندانه‌دار و گل‌های آن آبی رنگ و مایل به زرد روشن است (Mohammad ghasemi et al., 2021). بذرهای بالنگو دارای موسیلاژ است که در درمان اختلال‌های گوناگون مانند برخی اختلال‌های عصبی، کبدی و بیماری‌های کلیوی به‌کار می‌روند (Heydari and pizad, 2020). بالنگو با توجه به ویژگی‌های دارویی و صنعتی و نقش آن در کشاورزی، گیاهی چندمنظوره

*نویسنده مسئول: masoomehamerian@yahoo.com

به‌شمار می‌آید (Rohi Saralan et al., 2019). این گیاه به‌صورت بومی در بخش‌های مختلفی از ایران به‌عنوان یک گیاه دارویی از اهمیت خاصی برخوردار است. با وجود اثرات دارویی فراوان و ارزش اقتصادی بالای این گیاه نسبت به سایر گیاهان زراعی، متأسفانه اطلاعات جامعی در ارتباط با سطح زیر کشت آن در کشور وجود ندارد (Izadi Darbandi and Bakhsh Mohamadnejad, 2016).

تنش خشکی یکی از عمده‌ترین محدودکننده‌های تولیدات کشاورزی در سراسر جهان است (Sarshad et al., 2021). کشور ایران با متوسط بارندگی ۲٤۰ میلی‌متر در سال جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. بروز تنش خشکی در ایران محتمل‌تر از سایر تنش‌ها بوده که کیفیت و کمیت محصول را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. در نتیجه، گیاهان در طول دوره رشد خود در معرض تنش‌های گوناگونی قرار دارند و در این میان کمبود آب بزرگ‌ترین چالش در تولید محصول خصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله ایران می‌باشد (Abbasi et al., 2018). تأثیر تنش خشکی بر رشد و تولید گیاه به مدت زمان، شدت تنش و ژنوتیپ گیاه بستگی دارد. اولین تأثیر تنش خشکی کاهش فشار آماس است که سرعت رشد سلول و اندازه‌ی نهایی آن را کاهش می‌دهد (Shamsai et al., 2021). تنش خشکی منجر به اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و در نتیجه ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شود (Mahmood et al., 2020). گیاهان طی تنش از طریق ترکیبات و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش می‌دهند (Gao et al., 2020).

سلنیوم یک عنصر کم‌مصرف ضروری برای انسان و حیوانات است و در تعدادی از فرایندهای بیولوژیکی نقش مهمی دارد. گرچه نقش آن در گیاهان هنوز به‌درستی شناخته نشده است اما نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که این عنصر در فیزیولوژی و متابولیسم گیاهان نقش دارد. این عنصر نقش آنتی‌اکسیدانی مهمی در گیاهان و انسان دارد و ماده‌ی معدنی کمیاب مهمی در بدن انسان می‌باشد. هم‌چنین سلنیوم در متابولیسم سلول‌های گیاهی نقش مهمی را ایفاء می‌کند (Borbely et al., 2021). سلنیوم در غلظت‌های بالا برای گیاهان سمی است و به‌عنوان یک اکسیدان عمل می‌کند و موجب کاهش محصول می‌شود اما در غلظت‌های پائین می‌تواند اثرات مفیدی بر رشد گیاه و تحمل به تنش‌ها داشته باشد (Huang et al., 2021). چرا که بیشتر گونه‌های گیاهی رشدیافته در محیط‌های غنی شده با سلنیوم تحمل بالایی را به تنش‌های غیر زنده مانند خشکی، شوری، سرما، فلزهای سنگین و اشعه ماورا بنفش نشان می‌دهند (Adnan, 2020). چنان‌چه گیاهان با غلظت‌های پایین سلنات تیمار شوند، میزان آنزیم‌های جاروب‌کننده پراکسید هیدروژن (به‌ویژه آسکوبات پراکسیداز و گلوتاتیون پراکسیداز) و ترکیبات آنتی‌اکسیدان (مانند آسکوربات و گلوتاتیون) افزایش می‌یابد و به‌همین دلیل است که سلنیوم میزان پراکسیدهیدروژن را در گیاهان کاهش می‌دهد (Gouveia et al., 2020). تحت شرایط تنش خشکی نقش تنظیم‌کنندگی سلنیوم در وضعیت آبی گیاه نیز بررسی شده است و اثرات حفاظتی آن به اثبات رسیده است. اثر محافظتی سلنیوم در شرایط تنش از طریق افزایش ظرفیت جذب آب توسط سیستم ریشه حادث می‌شود (Radya et al., 2020). سلنیوم باعث جلوگیری از تخریب کلروفیل در شرایط تنش‌های محیطی و سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تنش دیده می‌شود (Jawad Hassan et al., 2020). از دیگر اثرهای

سودمند سلنیوم می‌توان به افزایش متابولیسم کربوهیدرات‌ها اشاره کرد (Shab et al., 2020).

با توجه به خواص دارویی و صنعتی، بالنگو به‌عنوان گیاهی چندمنظوره معرفی می‌شود. با توجه به احتمال وقوع تنش خشکی در طول دوره رشد بالنگو، لازم است که بررسی اثرات ناشی از تنش خشکی بر روی تغییرات برخی پارامترهای رشدی و فیزیولوژیکی این گیاه پرداخته شود، تا پاسخ‌های گیاه در مقابله با تنش خشکی ارزیابی شود. با این وجود، مطالعات محدودی در رابطه با رشد و نمو گیاه دارویی بالنگوی شهری در شرایط تنش انجام شده است. نتایج برخی پژوهش‌های دیگر نشان می‌دهد که تیمار گیاه با سلنیوم می‌تواند مقاومت گیاه به خشکی را افزایش دهد به طوری‌که این افزایش مقاومت می‌تواند به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باشد. از این رو هدف اصلی پژوهش بررسی اثر تنش خشکی همراه با سطوح مختلف سلنیوم (سلنات‌سدیم) بر برخی ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه بالنگوی شهری بود.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه و فاکتورهای آزمایش: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور (سطوح مختلف آبیاری و سلنیوم) با سه تکرار در گلخانه‌ی تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری و سلنیوم بر برخی ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی بالنگوی شهری انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل سطوح مختلف آبیاری در چهار سطح آبیاری کامل، ۲۵، ۵۰ و ۷۵درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی برگی سلنیوم در سه غلظت صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم بود. در مرحله‌ی ۸ برگی (یک ماه پس از کشت بذر) تنش خشکی اعمال گردید. محلول‌پاشی برگی سلنیوم در دو مرحله انجام شد، مرحله اول در زمان شروع تنش و مرحله‌ی دوم با فاصله زمانی دو هفته‌ای بعد از محلول‌پاشی مرحله اول صورت گرفت. در طول دوره آزمایش دمای روز بین ۲۵-۲۳ درجه سلسیوس و دمای شب بین۲۱-۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۰-۷۰ درصد بود. بذر گیاه دارویی بالنگو از توده‌های بومی شهرستان سنقروکلیایی استان کرمانشاه جمع‌آوری شد. بذور در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و طول ۱۸ سانتی‌متر حاوی ترکیب کود حیوانی، ماسه و خاک به نسبت ۱:۱:۳ کشت گردیدند. در مرحله‌ی چهار برگی گیاهچه‌های ضعیف حذف و در هر گلدان فقط ۳ بوته تا انتهای آزمایش حفظ شدند (Azad et al., 2018).

اندازه‌گیری ظرفیت زراعی: به‌منظور اعمال تیمارهای رطوبتی، گلدان‌ها به‌صورت هم‌وزن با ترکیب خاکی مورد نظر پر شدند و جهت خروج کامل هوای موجود در خلل و فرج خاک به‌طور کامل آبیاری شدند. به‌منظور ممانعت از تبخیر رطوبت گلدان‌ها سطح فوقانی آن‌ها با فویل آلومینیومی پوشانده شد. گلدان‌ها به‌مدت ٤٨ ساعت روی سطوح مشبک جهت زهکشی و رسیدن به ظرفیت زراعی قرار داده شدند. سپس گلدان‌ها وزن شدند و خاک آن‌ها جهت خشک شدن کامل در دمای ١٠٤ درجه سلسیوس به‌مدت ٢٤ ساعت قرار داده شدند. در نهایت وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. رطوبت زراعی خاک طبق فرمول زیر محاسبه شد (Schonfeld et al., 1988). FCW وزن خاک در ظرفیت زراعی، DW وزن خاک خشک شده در آون است.

$$FC = \frac{FCW - DW}{DW} \times 100$$

برای اعمال سطوح مختلف تنش از روش وزنی استفاده گردید. بدین صورت که بعد از محاسبه ظرفیت زراعی سایر سطوح تنش به‌صورت درصدی

از رطوبت زراعی در نظر گرفته شد و مقدار کاهش رطوبت تا رسیدن به مقدار رطوبت مدنظر بر حسب گرم آب محاسبه و به گلدان‌ها اضافه گردید. برای هر یک از سطوح تنش رطوبتی وزن نهایی گلدان در سطح تنش مذکور محاسبه شد و جهت رسیدن وزن گلدان به مقدار مدنظر به آن آب اضافه شد و پس از رسیدن به سطح تنش مربوطه در همان روز در سطح آن تنش حفظ گردید. توزین و محاسبه‌ی میزان رطوبت مورد نظر در طوت مدت تنش روزانه محاسبه گردید. گیاهان تا مرحله‌ی رسیدن بذر در معرض تنش خشکی قرار گرفتند سپس بوته‌ها برداشت و جهت سنجش برخی از شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی ((آنزیم کاتالاز (Bergmeyer, 1970)، مقدار نسبی آب برگ (Schonfeld et al., 1988)، هدایت روزنه‌ای (Karimzadeh et al., 2016) و فلورسانس کلروفیل (Javadipour et al., 2013) و نیز عملکرد بذر و اجزای عملکرد به آزمایشگاه منتقل شدند.

مقدار نسبی آب برگ: به‌منظور تعیین میزان نسبی آب برگ از هر تیمار پنج برگ به‌طور تصادفی انتخاب شد و در کیسه پلاستیکی قرار گرفت و بلافاصله جهت اندازه‌گیری رطوبت به آزمایشگاه انتقال یافت. در فاصله انتقال به آزمایشگاه نمونه‌ها در فلاسک یخ قرار گرفت. در آزمایشگاه پس از پانچ کردن برگ‌ها وزن تازه آن‌ها تعیین و سپس قطعات پانچ شده به مدت ۱۸-۱۶ ساعت در درجه حرارت اتاق (۲۰-۱۸ سلسیوس) و در تاریکی قرار گرفت و متعاقب آن وزن آماس پس از حذف رطوبت سطح نمونه‌ها با قرار دادن آن‌ها در بین کاغذ خشک کن، تعیین گردید. وزن خشک نیز پس از قرار گرفتن نمونه‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ سلسیوس تعیین شد و در نهایت محتوای آب نسبی برگ‌ها از رابطه‌ی زیر به دست آمد (Schonfeld et al., 1988).

RWC درصد= (FW-DW)/ (TW-DW) × 100

FW: وزن تر، DW: وزن خشک و TW وزن آماس می‌باشند.

اندازه‌گیری میزان هدایت روزنه‌ای: هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر (Porometere) اندازه‌گیری شد. به‌طور تصادفی پنج برگ بالنگوی شهری انتخاب و برگ‌ها در ما بین سنسورهای حساس پرومتر قرار داده شدند و هدایت روزنه‌ای بر حسب میلی‌مول بر مترمربع ثانیه گزارش گردید.

اندازه‌گیری فلورسنس کلروفیل: برای سنجش فلورسنس کلروفیل پنج برگ بالنگوی شهری به‌طور تصادفی انتخاب و ماکزیمم عملکرد کوانتوم بعد از سازش با تاریکی (Fv/Fm) هر برگ توسط دستگاه تجزیه‌گر عملکرد فتوسنتز- MINI-PAM اندازه‌گیری شد.

عملکرد کوانتوم= Fv/Fm

که در معادله‌ی فوق Fm ماکزیمم عملکرد فلورسنس و Fv تغییرات عملکرد فلورسنس را نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز

عصاره آنزیمی: به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، ابتدا عصارهٔ آنزیمی تهیه شد؛ به این ترتیب که ابتدا بافت منجمد شدهٔ سوخ در حضور ازت مایع در هاون چینی آسیاب شد و مقدار ۰/۱ گرم از آن به تیوب پلاستیکی حاوی ۱ میلی‌لیتر بافر استخراج اضافه و هم‌زده شد. نمونه از صافی عبور داده شد و عصارهٔ تهیه شده به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ٤ درجهٔ سانتی‌گراد سانتریفیوژ و محلول شفاف رویی به آرامی جدا شد؛ محلول حاصل برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز استفاده شد.

سنجش آنزیم کاتالاز: به‌منظور تعیین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز، ابتدا مقدار ۵۰ میکرولیتر از عصارهٔ

گیاهی با ۳ میلی‌لیتر بافر استخراج شامل فسفات‌سدیم ۵۰ میلی‌مولار (اسیدیته‌ی ۷) و ۲ میلی‌مولار اتیلن‌دی‌آمین‌ترا استیک‌اسید آمیخته و واکنش آنزیم کاتالاز با اضافه‌کردن ۵ میکرولیتر پراکسیدهیدروژن ۳۰ درصد به این مخلوط آغاز شد. تغییرات جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۲٤۰ نانومتر به‌مدت ۱ دقیقه ثبت شد. هر واحد از فعالیت آنزیم کاتالاز، مقداری از آنزیم در نظر گرفته شد که موجب کاهش ۱ میکرومول پراکسیدهیدروژن در دقیقه می‌شود. میزان فعالیت آنزیم بر حسب واحد در میلی‌گرم پروتئین برگ بیان شد (Bergmeyer, 1970). تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (۹/۱) انجام و برای مقایسه میانگین‌های داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P\leq0.05$) استفاده گردید.

نتایج

براساس نتایج تجزیه واریانس، سطوح مختلف آبیاری و سلنیوم اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک ساقه، تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ و عملکرد بیولوژیکی گیاه بالنگوی شهری داشتند. اثر متقابل بین سطوح مختلف آبیاری و سلنیوم اثر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه، وزن تر برگ (در سطح احتمال یک درصد)، تعداد شاخه فرعی، وزن تر ساقه، تعداد برگ و عملکرد بیولوژیکی (در سطح احتمال پنج درصد) داشت. اثر متقابل بین دو فاکتور اثر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه و برگ بالنگوی شهری نداشتند (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌های ارتفاع، تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد برگ گیاه بالنگوی شهری نشان داد تنش خشکی تأثیر منفی بر آن داشت، در حالی‌که با افزایش غلظت سلنیوم ارتفاع گیاه افزایش نشان داد. بیش‌ترین ارتفاع گیاه (٤٤/۵۰ سانتی‌متر)، تعداد شاخه فرعی (۷) و تعداد برگ (۳۲/۲۵) در تیمار آبیاری کامل همراه با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم مشاهده شد. کم‌ترین ارتفاع گیاه (۲۷/۳۳ سانتی‌متر)، تعداد شاخه فرعی (۲/۷۰) و تعداد برگ (۱۱/٦٤) در سطح آبیاری ۲۵درصد ظرفیت زراعی همراه با صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم بود. با توجه به نتایج اثر متقابل بین دو فاکتور، در تیمارهای آبیاری کامل و ۲۵درصد ظرفیت زراعی با افزایش سطح سلنیوم ارتفاع گیاه افزایش نشان داد. در حالی‌که با افزایش غلظت سلنیوم در سطوح آبیاری ۵۰ و ۷۵درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۲). در تیمار آبیاری کامل با افزایش غلظت سلنیوم تعداد شاخه فرعی افزایش نشان داد. در تیمار ۲۵درصد تنش خشکی تفاوت نامحسوسی بین سطوح مختلف سلنیوم از نظر تعداد شاخه فرعی مشاهده شد. تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف سلنیوم در سطح آبیاری ۵۰درصد ظرفیت زراعی وجود نداشت. در سطح آبیاری ۲۵درصد ظرفیت زراعی کم‌ترین تعداد برگ در تیمار صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم بود و سطوح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (جدول ۲). سطوح مختلف آبیاری و سلنیوم در تیمار آبیاری کامل با افزایش غلظت سلنیوم تعداد برگ بالنگوی شهری افزایش نشان داد. در تیمار آبیاری ۷۵درصد ظرفیت زراعی تفاوت نامحسوسی بین سطوح مختلف سلنیوم مشاهده شد. در سطوح آبیاری ۵۰درصد و ۲۵درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم از نظر تعداد برگ وجود نداشت (جدول ۲).

جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری، سلنیوم و اثر متقابل بین دو فاکتور بر برخی ویژگی‌های مرفولوژیکی دانهال بالنگوی شهری

		میانگین مربعات							
منبع پراکنش	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	تعداد شاخه فرعی	وزن تر ساقه	وزن‌خشک ساقه	تعداد برگ	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	عملکرد بیولوژیکی
رطوبت	۳	۱۵۱/۶۸**	۷/۳۲**	٤/٥٩٥**	۰/۱٦**	۳۱۰/۰٦**	۸/۸٦**	۲۷۹۰٥/۱**	۰/۰۱**
سدیم سلنات	۲	۹۲/٥۱**	۷/٦۸**	٦/۷۲**	۰/۱۸**	۹٥/٦٥**	٤/۷٤**	۹۹۲۰۹/۳**	۰/۰۱**
رطوبت×سدیم سلنات	٦	۹/۲۱**	۰/٥٦*	۰/۲۹*	۰/۰۰۱٦^{ns}	٥/۰۱*	۰/۸٤**	٦٥۱/٦۲^{ns}	۰/۰۰۰۳*
اشتباه آزمایشی	۲٤	۱/٤٤	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۰۰۲۸	۱/٤٥	۰/۰۷	٥۰۲/۷۷	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات	-	۳/٤۸	۹/۱۳	۱۹/۱۰	۱۱/۲۰	٥/٦۳	۱٤/۲۱	۱۰/۱٦	۱۲/٤۹

ns ، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

با توجه به نتایج مقایسه میانگین وزن تر ساقه، بیش‌ترین وزن تر ساقه (۳/۷٥ گرم) در تیمار آبیاری کامل همراه با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم بود و اختلاف معنی‌داری با سطح آبیاری ۷٥درصد ظرفیت زراعی همراه با ۱۰میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم نداشت. با توجه به نتایج اثر متقابل بین سطوح مختلف آبیاری و سلنیوم، در تیمار آبیاری کامل و سطح آبیاری ۷٥درصد ظرفیت زراعی با افزایش سطح سلنیوم وزن تر ساقه افزایش یافت. با افزایش غلظت سلنیوم در سطح آبیاری ٥۰درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری بین سطوح پایین سلنیوم از نظر وزن تر ساقه مشاهده نشد. تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف سلنیوم و سطح آبیاری ۲٥درصد ظرفیت زراعی وجود نداشت (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین وزن تر برگ نشان داد تنش خشکی وزن تر برگ را کاهش داد، درحالی‌که با افزایش سطح سلنیوم وزن تر برگ افزایش نشان داد. بیش‌ترین وزن تر برگ (٤/۲٥ گرم) در تیمار آبیاری کامل همراه با ۱۰ میلی‌گرم ر لیتر سلنات‌سدیم بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بین سطوح مختلف آبیاری و سلنیوم، در تیمارهای آبیاری کامل و سطح آبیاری ۷٥درصد ظرفیت زراعی با افزایش غلظت سلنیوم وزن تر برگ افزایش یافت. با افزایش غلظت سلنیوم در سطح آبیاری ٥۰درصد و ۲٥درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری بین تیمارها از نظر وزن تر برگ مشاهده نشد (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیکی نشان داد با افزایش غلظت سلنیوم عملکرد بیولوژیکی گیاه بالنگوی شهری افزایش یافت. در حالی‌که تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد بیولوژیکی گیاه بالنگوی شهری گردید. بیش‌ترین عملکرد بیولوژیکی (٤۳/٤۱ گرم بر متر مربع) در تیمار آبیاری کامل همراه با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم مشاهده شد. کم‌ترین میزان عملکرد بیولوژیکی (۱۰/۰٦ گرم بر متر مربع) در در سطح آبیاری ۲٥درصد ظرفیت زراعی همراه با صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم بود که اختلاف معنی‌داری با سطوح آبیاری ٥۰درصد و ۲٥درصد ظرفیت زراعی همراه با صفر میلی‌گرم بر

لیتر سلنات‌سدیم نداشت. براساس نتایج به‌دست آمده، در تیمارهای آبیاری کامل و سطح آبیاری ۷۵درصد ظرفیت زراعی عملکرد بیولوژیکی گیاه با افزایش سطح سلنیوم افزایش نشان داد. در سطح آبیاری ۵۰درصد و ۲۵درصد ظرفیت زراعی نیز با افزایش غلظت سلنیوم عملکرد بیولوژیکی گیاه افزایش نشان داد اما تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم مشاهده نشد (جدول ۲).

جدول ۲: مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و سلنات‌سدیم بر برخی ویژگی‌های مرفولوژیکی بالنگوی شهری

سطح آبیاری (ظرفیت زراعی: درصد)	سطوح سدیم سلنات (میلی‌گرم بر لیتر)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	تعداد شاخه فرعی	تعداد برگ	وزن تر ساقه (گرم)	وزن تر برگ (گرم)	عملکرد بیولوژیکی (گرم بر متر مربع)
آبیاری کامل	۰	۳۶/۹۱^{c}	٤/٥٦^{cd}	۲۳/۷۰^{cd}	۱/۹۰^{de}	۲/۰۲^{d}	۲۵/۱۵^{c}
	۵	۳۹/۸۲^{b}	۵/۸۸^{b}	۲۸/۹۳^{b}	۲/۷۰^{bc}	۳/۱٦^{b}	۳۳/۷۵^{b}
	۱۰	٤٤/۵۰^{a}	۷/۰۰^{a}	۳۲/۲۵^{a}	۳/۷۰^{a}	٤/۲۰^{a}	٤۱/٤۳^{a}
۷۵	۰	۳۳/۲۲^{de}	٤/٦٦^{cd}	۲۲/۱٤^{ed}	۱/۲۰^{f}	۱/۵۰^{e}	۱٦/۹۸^{ef}
	۵	۳۳/۷۲^{de}	۵/۳۳^{bc}	۲۳/۱۵^{cd}	۲/۱۳^{ef}	۲/۵۳^{c}	۲٦/٤۳^{c}
	۱۰	۳۵/۲۲^{cd}	٦/۱۰^{b}	۲٤/۹۸^{c}	۳/۲۰^{ab}	۳/۵۰^{b}	۳٦/۰۹^{b}
۵۰	۰	۳۰/۷۷^{f}	٤/۳۲^{d}	۱٦/٦٤^{f}	۱/۰۰^{f}	۱/۰۰^{e}	۱۱/۹۷^{fg}
	۵	۳۱/۹٤^{ef}	٤/٤۹^{d}	۲۰/۰۵^{e}	۱/۳۸^{ef}	۱/۱۳^{e}	۱۵/۷۵^{ef}
	۱۰	۳۳/٦۰^{de}	٤/۸۲^{cd}	۲۱/۵۸^{ed}	۲/۳۸^{cd}	۱/٤۳^{e}	۲۳/۰۷^{cd}
۲۵	۰	۲۷/۳۳^{g}	۲/۷۰^{e}	۱۱/٦٤^{g}	۰/۸۰^{f}	۱/۰۰^{e}	۱۰/۰٦^{g}
	۵	۳۰/۳۳^{f}	۳/۹۹^{d}	۱٤/۷۲^{f}	۱/۰۰^{f}	۱/۰۰^{e}	۱۳/۸۸^{fg}
	۱۰	۳٦/۲۲^{c}	٤/٤٤^{d}	۱٦/۷۷^{f}	۱/٤۲^{ef}	۱/۱۸^{e}	۱۹/۲۰^{de}

در هر ترکیب تیماری حروف مشابه عدم اختلاف معنادار و حروف غیرمشابه اختلاف معنادار را در سطح احتمال ۵ درصد نشان می‌دهد (آزمون چنددامنه‌ای دانکن)

جدول ۳: اثر سطوح مختلف آبیاری و سلنیوم بر وزن خشک ساقه و برگ گیاه بالنگوی شهری

تیمارها	وزن خشک ساقه (گرم)	وزن خشک برگ (گرم)
سطوح آبیاری (ظرفیت زراعی=درصد)		
آبیاری کامل	۰/٦۲^{a}	۰/۵۰^{a}
۷۵	۰/۵۲^{b}	۰/٤۲^{b}
۵۰	۰/٤۱^{c}	۰/۳۰^{c}
۲۵	۰/۳۳^{d}	۰/۳۰^{c}
سطوح سلنات سدیم (میلی‌گرم بر لیتر)		
۰	۰/۳٦^{c}	۰/۲۸^{c}
۵	۰/٤۷^{b}	۰/۳۹^{b}
۱۰	۰/٦۰^{a}	۰/۵۰^{a}

در هر ترکیب تیماری حروف مشابه عدم اختلاف معنادار و حروف غیرمشابه اختلاف معنادار را در سطح احتمال ۵ درصد نشان می‌دهد (آزمون چنددامنه‌ای دانکن)

طبق نتایج مقایسه میانگین، تنش خشکی وزن خشک ساقه و برگ را کاهش داد. بیش‌ترین وزن خشک ساقه (۰/۶۲ گرم) و برگ (۰/۵۰ گرم) در تیمار آبیاری کامل بود. کم‌ترین وزن خشک ساقه (۰/۳۳ گرم) در تیمار ۲۵درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید. کم‌ترین وزن خشک برگ (۰/۳۰ گرم) نیز در سطح آبیاری ۲۵درصد ظرفیت زراعی بود که اختلاف معنی‌داری با سطح آبیاری ۵۰درصد ظرفیت زراعی نداشت (جدول ۳).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین وزن خشک ساقه و برگ، سلنیوم تأثیر مثبت بر وزن خشک ساقه و برگ دارد. به طوری‌که بیش‌ترین وزن خشک ساقه (۰/۶۰ گرم) و برگ (۰/۵۰ گرم) در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم مشاهده شد. کم‌ترین وزن خشک ساقه (۰/۳۶ گرم) و برگ (۰/۲۸ گرم) در تیمار صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم بود (جدول ۳).

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری، سلنیوم و اثر متقابل بین دو فاکتور بر برخی ویژگی‌های مرفولوژیکی گل آذین بالنگوی شهری، سطح آبیاری و سلنیوم اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر طول گل آذین، تعداد گلچه، وزن تر و خشک گل آذین داشتند. اثر متقابل بین سطح مختلف آبیاری و سلنیوم بر تعداد گلچه و وزن خشک گل آذین معنی‌دار (در سطح احتمال پنج درصد) بود. در حالی‌که اثر متقابل بین دو فاکتور اثر معنی‌داری طول و وزن تر گل آذین نداشتند (جدول ٤).

جدول ٤: نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری، سلنیوم و اثر متقابل بین دو فاکتور بر برخی ویژگی‌های مرفولوژیکی گل آذین بالنگوی شهری

		میانگین مربعات			
منبع پراکنش	درجه آزادی	طول گل آذین	تعداد گلچه	وزن تر گل آذین	وزن خشک گل آذین
آبیاری	۳	۱۰۵/۳۸**	۱۶۳۸/۷۰**	۱۰/۳۱٤**	۰/۱۸**
سدیم سلنات	۲	۲٤/۲٤**	٤٤۷/۵۳**	۱۱/۸۷**	۰/۱٦**
آبیاری×سدیم سلنات	٦	۰/٤۳^{ns}	۱۵/۷۵*	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۱*
اشتباه آزمایشی	۲٤	۰/٤۰	۵/۸۵	۰/۱۲	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات	-	٤/۱۷	۱/۸۳	۱۰/٦۲	۷/۵۵

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

طبق نتایج مقایسه میانگین وزن خشک گل‌آذین، سلنیوم باعث افزایش وزن خشک گل‌آذین گردید. در حالی‌که تنش خشکی وزن خشک گل‌آذین را کاهش داد. بیش‌ترین وزن خشک گل‌آذین (۱/۰۳ گرم) در تیمار آبیاری کامل همراه با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سطح آبیاری ۷۵درصد ظرفیت زراعی همراه با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم و آبیاری کامل همراه با صفر و ۵ میلی‌گرم بر لیتر نداشت. با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بین سطوح مختلف آبیاری و سلنیوم، در تیمار آبیاری کامل با افزایش سطح سلنیوم تفاوت معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت. در سایر تیمارهای آبیاری همراه به افزایش سطح سلنیوم وزن خشک گل آذین افزایش نشان داد (جدول ۵).

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر متقابل بین سطوح مختلف آبیاری و سلنات‌سدیم بر وزن خشک گل‌آذین و تعداد گلچه‌ی گیاه بالنگوی شهری

سطوح آبیاری (ظرفیت زراعی: درصد)	سلنات‌سدیم (میلی‌گرم بر لیتر)	وزن خشک گل آذین (گرم)	تعداد گلچه
آبیاری کامل	۰	۰/۹۱^{ab}	۱۳/۸^{c}
	۵	۱^{a}	۱٤/٦^{b}
	۱۰	۱/۰۳^{a}	۱۵/٦^{a}
۷۵	۰	۰/۷۱^{c}	۱۳/۲^{de}
	۵	۰/۸۳^{b}	۱۳/٤^{d}
	۱۰	۰/۹٤^{a}	۱۳/۹^{c}
۵۰	۰	۰/٦۰^{d}	۱۲/۳^{f}
	۵	۰/۷۱^{c}	۱۳/۰^{e}
	۱۰	۰/۸۲^{b}	۱۳/۲^{de}
۲۵	۰	۰/٤٦^{e}	۱۰/۸^{h}
	۵	۰/٦۵^{cd}	۱۱/۵^{g}
	۱۰	۰/۸٤^{b}	۱۲/۰^{f}

در هر ترکیب تیماری حروف مشابه عدم اختلاف معنادار و حروف غیرمشابه اختلاف معنادار را در سطح احتمال ۵ درصد نشان می‌دهد (آزمون چنددامنه‌ای دانکن)

با توجه به نتایج مقایسه میانگین تعداد گلچه، تنش خشکی تعداد گلچه را کاهش داد و با افزایش سطح سلنیوم تعداد گلچه افزایش نشان داد. بیش‌ترین (۱۵٦/۱۱) و کم‌ترین (۱۰۸/۰۵) تعداد گلچه به‌ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل همراه با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم و سطح آبیاری ۲۵درصد ظرفیت زراعی همراه با صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم مشاهده گردید. با توجه به نتایج مقایسه اثر متقابل بین دو فاکتور، در تیمارهای آبیاری کامل و سطح آبیاری ۲۵درصد ظرفیت زراعی با افزایش سطح سلنیوم تعداد گلچه افزایش یافت. در سطح آبیاری ۷۵درصد ظرفیت زراعی همراه با افزایش سطح سلنیوم تعداد گلچه افزایش یافت اما تفاوت معنی‌داری بین سطوح صفر و ۵ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم مشاهده نشد. در سطح آبیاری ۵۰درصد ظرفیت زراعی نیز با افزایش غلظت سلنیوم تعداد گلچه افزایش نشان داد البته تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم وجود نداشت (جدول ۵).

براساس نتایج، تنش خشکی طول و وزن تر گل آذین را کاهش داد. بیش‌ترین طول (۱۹/۱۹ سانتی‌متر) و وزن تر گل‌آذین (٤/٦۱ گرم) در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد. در حالی‌که کم‌ترین طول (۱۱/۸۳ سانتی‌متر) و وزن تر گل‌آذین (۲/۳۸ گرم) در سطح رطوبتی ۲۵درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ٦).

براساس نتایج با افزایش غلظت سلنیوم طول و وزن تر گل‌آذین افزایش نشان داد. بیش‌ترین طول (۱٦/٤٦ سانتی‌متر) و وزن تر گل آذین (٤/۳۰ گرم) و کم‌ترین طول (۱٤/۰۳ سانتی‌متر) و وزن تر گل آذین (۲/٤۵ گرم) به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰ و صفر میلی‌گرم سلنات‌سدیم مشاهده شد (جدول ٦).

طبق نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری و سلنیوم بر عملکرد و اجزء عملکرد بذر بالنگوی شهری، آبیاری، سلنیوم و اثر متقابل بین دو فاکتور اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد و اجزء عملکرد بذر بالنگوی شهری داشتند (جدول ۷).

جدول ٦: اثر سطوح مختلف آبیاری و سلنیوم بر طول و زون تر گل‌آذین گیاه بالنگوی شهری

تیمارها	طول گل آذین (سانتی‌متر)	وزن تر گل آذین (گرم)
سطوح آبیاری (ظرفیت زراعی=درصد)		
آبیاری کامل	۱۹/۱۹^{a}	٤/٦١^{a}
۷۵	۱٦/۳۸^{b}	۳/٦۳^{b}
۵۰	۱۳/۰۳^{c}	۲/۵۳^{c}
۲۵	۱۱/۸۳^{d}	۲/۳۸^{c}
سطوح سلنات سدیم (میلی‌گرم بر لیتر)		
۰	۱٤/۰۳^{c}	۲/٤۵^{c}
۵	۱۵/۲٤^{b}	۳/۲۸^{b}
۱۰	۱٦/٤۹^{a}	٤/۳۰^{a}

در هر ترکیب تیماری حروف مشابه عدم اختلاف معنادار و حروف غیرمشابه اختلاف معنادار را در سطح احتمال ۵ درصد نشان می‌دهد (آزمون چنددامنه‌ای دانکن)

جدول ۷: نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری، سلنیوم و اثر متقابل بین دو فاکتور بر عملکرد و اجزاء عملکرد بذر بالنگوی شهری

		میانگین مربعات		
منبع پراکنش	درجه آزادی	وزن بذر	وزن هزار دانه	عملکرد بذر
آبیاری	۳	٤/۱۹**	۵/۸۱**	۰/۰۰۷**
سدیم سلنات	۲	۰/۵۹**	۱/٤۲**	۰/۰۰۱**
آبیاری×سدیم سلنات	٦	۰/۱۹**	۰/۱۸**	۰/۰۰۰۳**
اشتباه آزمایشی	۲٤	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰٦	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰٤
ضریب تغییرات	-	۰/۳۹	۰/۸	۰/۳۹

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۸: مقایسه میانگین اثر متقابل بین سطوح مختلف آبیاری و سلنیوم بر عملکرد و اجزاء عملکرد بذر بالنگوی شهری

سطح آبیاری (ظرفیت زراعی: درصد)	سدیم سلنات (میلی‌گرم بر لیتر)	وزن تر بذر (گرم)	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد بذر (گرم بر متر مربع)
آبیاری کامل	۰	۱/۵۰^{f}	۳/۵۲^{c}	۰/۰٦۲^{f}
	۵	۱/٦۷^{c}	۳/۹۰^{b}	۰/٦۹^{c}
	۱۰	۲/۵۵^{a}	٤/۸٦^{a}	۰/۱۰^{a}
۷۵	۰	۱/۵۷^{e}	۳/٤۸^{c}	۰/۰٦۲^{e}
	۵	۱/٦۱^{d}	۳/۵۱^{c}	۰/۰٦٦^{d}
	۱۰	۱/۷۰^{b}	۳/۹٤^{b}	۰/۰۷۰^{b}
۵۰	۰	۰/۵۸^{i}	۲/٤۷^{g}	۰/۰۲٤^{i}
	۵	۰/۹۹^{h}	۲/٦۷^{e}	۰/۰٤۱^{h}
	۱۰	۱/۰۵^{g}	۲/۹۰^{d}	۰/۰٤۳^{g}
۲۵	۰	۰/۳٤۱^{m}	۲/۰۵^{h}	۰/۰۱٤^{i}
	۵	۰/٤۵^{k}	۲/۵۱^{g}	۰/۰۱۸^{k}
	۱۰	۰/٤۳^{j}	۲/۵۷^{f}	۰/۰۱۹^{j}

در هر ترکیب تیماری حروف مشابه عدم اختلاف معنادار و حروف غیرمشابه اختلاف معنادار را در سطح احتمال ۵ درصد نشان می‌دهد (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

براساس نتایج مقایسه میانگین، کم‌ترین میزان وزن بذر (۰/۴۳ گرم)، وزن هزار دانه (۲/۰۵ گرم) و عملکرد بذر (۰/۰۱۴ گرم بر متر مربع) در سطح آبیاری ۲۵درصد ظرفیت زراعی همراه با صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم مشاهده شد. بیش‌ترین میزان وزن بذر (۲/۵۵ گرم)، وزن هزار دانه (۴/۸۶ گرم) و عملکرد بذر (۰/۰۱۴ گرم بر متر مربع ۰/۱۰) در تیمار آبیاری کامل همراه با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم بود. در هر چهار سطح آبیاری با افزایش غلظت سلنیوم (صفر تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم) میزان وزن بذر، وزن هزار دانه و عملکرد بذر افزایش نشان داد (جدول ۸).

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری، سلنیوم و اثر متقابل بین دو فاکتور بر محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای و کلروفیل فلورسانس برگ بالنگوی شهری، آبیاری و سلنیوم اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، فلورسانس کلروفیل و فعالیت آنزیم کاتالاز داشتند. اثر متقابل بین سطوح مختلف آبیاری و سلنیوم، اثر معنی‌داری بر هدایت روزنه‌ای و کلروفیل فلورسانس برگ (در سطح احتمال یک درصد) داشتند. درحالیکه اثر متقابل بین دو فاکتور بر میزان محتوای نسبی آب برگ و آنزیم کاتالاز معنی‌دار نبود (جدول ۹).

جدول ۹: نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری، سلنیوم و اثر متقابل بین دو فاکتور بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی برگ بالنگوی شهری

منبع پراکنش	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		محتوای نسبی آب برگ	هدایت روزنه‌ای	فلورسانس کلروفیل	فعالیت کاتالاز
آبیاری	۳	۱۱۱/۵۶**	۶۰/۶۳**	۰/۰۰۴**	۰/۹۵**
سدیم سلنات	۲	۱۱۵۰/۰۴**	۳۷/۴۹**	۰/۰۰۲**	۰/۰۹۴**
آبیاری×سدیم سلنات	۶	۳/۱۳^{ns}	۳/۴۲**	۰/۰۰۰۰۸**	۰/ ۰۰۸^{ns}
اشتباه آزمایشی	۲۴	۳/۶۸	۰/۴۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/ ۰۰۰۷
ضریب تغییرات	-	۳/۵۹	۵/۹۲	۰/۵۷	۴/۶۸

ns و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

نتایج مقایسه میانگین هدایت روزنه‌ای نشان داد تنش خشکی هدایت روزنه‌ای را کاهش داد اما سلنیوم تأثیر مثبت بر هدایت روزنه‌ای برگ بالنگوی شهری داشت. بیش‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای (۱/۰۹ میلی‌مول بر متر مربع) در تیمار آبیاری کامل همراه با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم بود. کم‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای (۰/۴۶ میلی‌مول بر متر مربع) در سطح آبیاری ۲۵درصد ظرفیت زراعی همراه با صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم بود که تفاوت معنی‌داری با سطح آبیاری ۲۵درصد ظرفیت زراعی و ۵ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم نشان نداد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بین سطوح آبیاری و سلنیوم (جدول ۱۰)، در تیمارهای آبیاری کامل و سطح آبیاری ۷۵درصد ظرفیت زراعی با افزایش غلظت سلنیوم هدایت روزنه‌ای افزایش نشان داد. در حالی‌که در سطوح آبیاری ۵۰درصد و ۲۵درصد ظرفیت زراعی تفاوت نامحسوسی بین سطوح مختلف سلنیوم از نظر میزان هدایت روزنه‌ای مشاهده گردید (جدول ۱۰).

جدول ۱۰: مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و سلنیوم بر هدایت روزنه‌ای و فلورسانس کلروفیل برگ گیاه بالنگوی شهری

سطح آبیاری (ظرفیت زراعی: درصد)	سلنات‌سدیم (میلی‌گرم بر لیتر)	هدایت روزنه‌ای ($mmol/m^2s$)	فلورسانس کلروفیل (Fw/Fm)
آبیاری کامل	۰	۱۰/۵۹^{de}	۰/۸۰۳^{c}
	۵	۱۴/۹۰^{b}	۰/۸۲۰^{b}
	۱۰	۱۶/۶۵^{a}	۰/۸۳۱^{a}
۷۵	۰	۹/۷۵^{f}	۰/۷۸۱^{de}
	۵	۱۱/۲۱^{de}	۰/۷۹۰^{d}
	۱۰	۱۲/۶۸^{c}	۰/۸۰۵^{c}
۵۰	۰	۹/۷۸^{f}	۰/۷۷۱^{g}
	۵	۱۰/۸۶^{def}	۰/۷۸۳^{de}
	۱۰	۷/۹۵^{cd}	۰/۸۰۳^{c}
۲۵	۰	۶/۴۷^{h}	۰/۷۴۵^{h}
	۵	۷/۵۲^{gh}	۰/۷۷۵^{fg}
	۱۰	۸/۵۷^{g}	۰/۷۸۰^{ef}

در هر ترکیب تیماری حروف مشابه عدم اختلاف معنادار و حروف غیرمشابه اختلاف معنادار را در سطح احتمال ۵ درصد نشان می‌دهد (آزمون چنددامنه‌ای دانکن)

نتایج مقایسه میانگین کلروفیل فلورسانس نشان داد با افزایش غلظت سلنیوم میزان کلروفیل فلورسانس افزایش نشان داد، در حالی‌که تنش خشکی تأثیر منفی بر میزان کلروفیل فلورسانس داشت. بیش‌ترین میزان کلروفیل فلورسانس (Fw/Fm ۰/۸۳۱) در تیمار آبیاری کامل همراه با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم بود و کم‌ترین میزان کلروفیل فلورسانس برگ (Fw/Fm ۰/۷۴۵) در سطح آبیاری ۲۵درصد ظرفیت زراعی همراه با صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم بود. در تیمارهای آبیاری کامل، سطوح آبیاری ۵۰درصد و ۷۵درصد ظرفیت زراعی با افزایش غلظت سلنیوم میزان کلروفیل فلورسانس افزایش نشان داد. در سطح آبیاری ۲۵درصد ظرفیت زراعی با افزایش غلظت سلنیوم میزان کلروفیل فلورسانس افزایش نشان داد، البته تفاوت معنی‌داری بین ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم مشاهده نشد (جدول ۱۰). براساس نتایج مقایسه میانگین مقدار نسبی آب برگ، تنش خشکی مقدار نسبی آب برگ را کاهش داد. کم‌ترین مقدار نسبی آب برگ (۴۹/۳۳) در سطح آبیاری ۲۵درصد ظرفیت زراعی بود. بیش‌ترین مقدار نسبی آب برگ (۵۵/۵۰) در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سطح آبیاری ۷۵درصد ظرفیت زراعی نشان نداد (جدول ۱۱).

جدول ۱۱: اثر سطوح مختلف آبیاری و سلنیوم بر مقدار نسبی آب برگ گیاه بالنگوی شهری

تیمارها	RWC (-)	CAT (واحد میلی‌گرم بر پروتئین)
سطوح آبیاری (ظرفیت زراعی=درصد)		
آبیاری کامل	۵۵/۵^{a}	۰/۲۱۵^{d}
۷۵	۵۶/۴۴^{ab}	۰/۴۷۱^{c}
۵۰	۵۲/۳۳^{b}	۰/۷۳۳^{b}
۲۵	۴۹/۳۳^{c}	۰/۹۷۳^{a}
سطوح سلنات سدیم (میلی‌گرم بر لیتر)		
۰	۴۴/۳۰^{c}	۰/۵۰۲^{c}
۵	۵۳/۴۱^{b}	۰/۶۰۵^{b}
۱۰	۶۳/۴۱^{a}	۰/۶۷۹^{a}

طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، با افزایش سطح سلنیوم مقدار نسبی آب برگ و فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش نشان داد. به طوری‌که بیش‌ترین مقدار نسبی آب برگ (۶۳/۴۱) و فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۶۷۱ واحد در میلی‌گرم پروتئین برگ) در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم و کم‌ترین مقدار نسبی آب برگ (۴۴/۳۳) و فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۵۰۲ واحد در میلی‌گرم پروتئین برگ) در تیمار صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم مشاهده شد (جدول ۱۱).

براساس نتایج مقایسه میانگین آنزیم کاتالاز با افزایش سطح تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت. بیش‌ترین (۰/۹۷۳ واحد در میلی‌گرم پروتئین برگ) و کم‌ترین (۰/۲۱۵ واحد در میلی‌گرم پروتئین برگ) میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به‌ترتیب در سطح آبیاری ۲۵درصد ظرفیت زراعی و آبیاری کامل مشاهده شد. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در بالاترین سطح تنش خشکی تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان داد (جدول ۱۱).

بحث

طبق نتایج به‌دست آمده تنش خشکی تعداد گل، طول گل‌آذین، وزن هزار دانه و عملکرد بذر را کاهش داد که مطابق نتایج Motamedi-Mirhoseini و همکاران (2011) در گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)، Nguyen و همکاران (۲۰۲۱) در گیاه ذرت (*Zea mays*) و Hosseinzadeh و همکاران (۲۰۲۱) در گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) بود. در گیاه جو دوسر (*Avena nuda* L.) در شرایط تنش خشکی ارتفاع گیاه، تعداد برگ و گل و عملکرد بذر کاهش نشان داد (Batool et al., 2021). ارتفاع گیاهان تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی، شرایط محیطی نظیر رطوبت، نور، تغذیه، کمیت و کیفیت نور قرار می‌گیرد. معمولاً ارتفاع بوته جزء مهمی در تعیین عملکرد دانه نیست ولی ارقامی که ارتفاع بلندتری دارند دارای عملکرد بیولوژیک بیشتری هستند. به‌نظر می‌رسد رقابت بین بوته‌ها برای به‌دست آوردن آب در تیمارهای تنش خشکی، کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه را به‌دنبال داشته که این امر کوتاه قدی گیاه را سبب می‌شود (Koocheki et al., 2005). از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش فشار آماس و درنتیجه کاهش رشد و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها است. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود و به‌همین دلیل اولین اثر محسوس کم

آبی بر گیاهان را می‌توان از روی اندازه کوچک‌تر برگ‌ها و ارتفاع کم‌تر گیاهان تشخیص داد. درنتیجه، ارتفاع بوته‌ی بالنگوی شهری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. کاهش رشد رویشی و زایشی تحت تنش خشکی در گیاه اسفرزه (*Plantago scabra*) (Koocheki et al., 2006) نیز گزارش شده است. با توجه به این‌که بالنگوی شهری گیاهی رشد محدود می‌باشد لذا با افزایش شدت تنش خشکی از رشد رویشی گیاه کاسته می‌شود و استراتژی گیاه این است که با حداقل رشد رویشی وارد فاز زایشی شود و سریع دوره رشد خود را به اتمام برساند (Mozzafari et al., 2000)، بنابراین تعداد شاخه‌های جانبی در این گیاه روند کاهشی پیدا می‌کند. گیاه جهت مقابله با کم آبی بخشی از مواد پرورده را به ریشه جهت توسعه سیستم ریشه منتقل نموده و در نتیجه از سهم اختصاص یافته به تولید دانه کاسته می‌شود. خشکی در هر مرحله از رشد و نمو گیاه حادث شود، عملکرد دانه کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد، بیش‌ترین کاهش زمانی است که خشکی در زمان شروع گلدهی اتفاق می‌افتد (Safari et al., 2015). در این آزمایش نیز می‌توان یکی از علت‌های کاهش عملکرد دانه را به کاهش عملکرد بیولوژیک تعمیم داد. در واقع تنش بر تمام فرایندهای متابولیک گیاه اثر می‌گذارد و درنتیجه موجب کاهش عملکرد دانه در گیاه بالنگوی شهری شده است. بهبود تسهیم ماده خشک به ساختارهای زایشی و دانه (بهبود شاخص برداشت)، از جمله صفاتی هستند که می‌تواند سبب بهبود عملکرد دانه شود. شاخص برداشت در شرایط خشکی اغلب تابع نسبت آب استفاده شده، پس از گرده‌افشانی است که هرچه بیشتر باشد شاخص برداشت نیز بیشتر می‌شود (Safari et al., 2015). شاخص برداشت دلالت بر توزیع نسبی محصولات فتوسنتزی بین مخازن اقتصادی و دیگر مخازن موجود در گیاه می‌باشد (Shubhra et al., 2004). در نتیجه، در گیاه بالنگوی شهری کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی را می‌توان به محدود بودن انتقال مجدد عناصر غذایی در تیمارهای تحت تنش خشکی نسبت داد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در گیاه بالنگوی شهری کاهش عملکرد به‌دلیل کاهش دوره پر شدن دانه، کوچک شدن دانه‌ها و کاهش وزن هزار دانه است. در مطالعه‌ی انجام شده توسط ملکی‌فراهانی و عبدالهی (Maleki Farahani and Abdolahi, 2014)، افزایش تنش خشکی منجر به کاهش تعداد فندقه در بوته، تعداد دانه در بوته، تعداد چرخه‌ی گل در بوته، طول گل‌آذین، ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی در گیاه بالنگوی شهری شد. در گیاه زیره سبز، با افزایش تنش خشکی تعداد چتر در هر گیاه، تعداد بذر در هر چتر، وزن بذر، شاخص برداشت و عملکرد بذر کاهش نشان داد (Safari et al., 2015). تنش خشکی در لوبیاها (Phaseolus spp) باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، گل‌دهی زودتر، رسیدگی سریع‌تر و کاهش عملکرد دانه شده است (Sica et al., 2021). در تحقیق حاضر نیز تنش خشکی باعث کاهش رشد رویشی و عملکرد بذر شد که این می‌تواند به معنی سازگاری بالای این گیاه به شرایط تنش رطوبتی باشد. در نتیجه احتمالاً کاهش عملکرد دانه در بالنگوی شهری در شرایط تنش خشکی می‌تواند نشان‌دهنده پیری برگ و فقدان عامل محافظت‌کننده تحت شرایط تنش و به تبع آن کاهش فتوسنتز و تولید آسیمیلات جهت انتقال به دانه‌ها باشد. فلورسانس کلروفیل (عملکرد کوآنتومی) (Fv/Fm) ابزار مفیدی برای بررسی اثرهای تنش‌های محیطی روی گیاهان است، زیرا در بیشتر مواقع فتوسنتز تحت تنش‌های مختلف مانند خشکی، گرما، کمبود مواد غذایی، آلاینده‌های محیطی و حمله آفات و بیماری‌ها کاهش می‌یابد (Reis et al., 2021). در نتیجه اندازه‌گیری فلورسانس

کلروفیل برای بررسی وضعیت عملکرد کوانتومی سیستم نوری II می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مهم برای تعیین میزان تحمل به تنش خشکی باشد (Karami et al., 2017). گیاهان برای کاهش اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن سازوکارهای متفاوتی دارند از جمله افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی که آنزیم کاتالاز از مؤثرترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان است. این آنزیم به شرایط تنش بسیار حساس است درنتیجه می‌توان از آن به‌عنوان یک نشانگر اعمال تنش استفاده کرد. آنزیم کاتالاز یک آنزیم مهم برای مقابله با پراکسید هیدروژن تولید شده در شرایط تنش می‌باشد (Borna et al., 2021). افزایش در فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تنش خشکی در گیاه دارویی آدونیس (*Adonis vernalis*) (Gao et al., 2020)، شلغم (Shawon et al., 2020) و مرزنجوش (*Origanum majorana*) (Farsi et al., 2020) نیزگزارش شده است که با نتایج این پژوهش نیز مطابقت دارد. بر اساس نتاج حاصل می‌توان نتیجه گرفت که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش به‌دلیل ضروری بودن این آنزیم‌ها برای زنده ماندن گیاه بالنگوی شهری است. افزایش فعالیت آنزیم باعث مقاومت گیاه در شرایط تنش و درنتیجه افزایش عملکرد بالنگوی شهری شد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده سلنیوم تأثیر مثبتی بر رشد، عملکرد و اجزاء عملکرد بالنگوی شهری داشت (جدول‌های ۲ و ۸) که مطابق نتایج به‌دست آمده در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) (Alves et al., 2020)، توت‌فرنگی (*Fragaria* × *ananassa* Duch) (Zahedi et al., 2020)، برنج (Huang et al., 2021) بود. کاربرد سلنیوم در سطوح مناسب رشد و نمو، متابولیسم، جذب و انتقال مواد غذایی و عملکرد گیاه را بهبود می‌بخشد (Borbély et al., 2021). علاوه بر این سلنیوم با مهار رادیکال‌های آزاد رشد و نمو و فعالیت های بیوشیمیایی گیاه را افزایش می دهد و این امر موجب افزایش عملکرد گیاه می‌شود. بدیهی است با افزایش مقدار آب قابل دسترس رشد رویشی گیاه تحریک شده و این خود یک عامل مهم در از بین بردن رادیکال های آزاد اکسیژن توسط آنزیم های آنتی اکسیدانی تلقی می‌گردد (Huang et al., 2021). طبق نتایج به‌دست آمده در گیاه قهوه (*Coffea arabica* L.) محلول‌پاشی برگی سلنیوم رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی و متابولیسم آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده است که افزایش عملکرد و کیفیت دانه‌ی قهوه را درپی داشته است (Mateus et al., 2021). در گیاه بالنگوی شهری سلنیوم فعالیت آنزیم کاتالاز را افزایش داد (جدول ۱۱) که با کاهش رادیکال‌های آزاد همراه است که منجر به انتقال مواد فتوسنتزی به دانه می‌شود (Mateus et al., 2021) که درنهایت عملکرد دانه افزایش می‌یابد (جدول ۸).

غنی‌سازی زراعی محصولات با استفاده از کودهای حاوی سلنیوم یک استراتژی مناسب برای افزایش تحمل به خشکی در گیاهان است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان گفت در بالنگوی شهری سلنیوم باعث کاهش خسارت تنش خشکی شده است. به‌طوری‌که با افزایش سطح تنش، سلنیوم ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، وزن تر ساقه، تعداد برگ و وزن تر برگ را افزایش داد. در شرایط تنش خشکی سلنیوم تأثیر مثبتی بر میزان عملکرد بیولوژیکی گیاه بالنگوی شهری داشت. وزن خشک گل‌آذین، تعداد گل در هر گل‌آذین، وزن بذر در هر بوته، وزن هزار دانه بذر، عملکرد بذر با افزایش سطح سلنیوم در هر سه سطح تنش افزایش نشان داد. سلنیوم اثر آنتی‌اکسیدانی دارد و باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شده، در نتیجه تحمل گیاه را افزایش می‌دهد (Mohtashami et al., 2020). سلنیوم با بهبود

فتوسنتز و کاهش پیری برگ و درنتیجه افزایش تولید و انتقال آسیمیلات‌ها به دانه‌ها افزایش عملکرد حاصل می‌شود (Xue et al., 2001). افزایش عملکرد بذر بالنگوی شهری با کاربرد سلنیوم به‌علت افزایش وزن هزار دانه و تعداد دانه است که با نتایج به‌دست آمده در گیاه جو بهاره (*Hordeum vulgare* L.) (Habibi, 2013)، گندم (*Triticum aestivum* L.) (Dawood et al., 2020)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) (Saleem et al., 2020) و کنجد (*Sesamum indicum* L.) (Thuc et al., 2021) مطابقت دارد. براساس گزارش‌های Davoudi و همکاران (۲۰۱۶) در گیاه کلزا کاربرد سلنیوم باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه گردید. در شرایط تنش خشکی محلول‌پاشی سلنیوم اثر معنی‌داری بر عملکرد بذر کلزا داشت (Habibi, 2013). سلنیوم یک راه‌کار مناسب برای افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی جهت افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی و کاهش خسارات ناشی از آن است. در گیاه بادرنجبویه (Tavakuli et al., 2020) و برنج (Ei et al., 2020) نیز سلنیوم اثر مثبتی بر میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز داشت. سلنیوم در شرایط تنش خشکی باعث افزایش میزان هدایت روزنه‌ای و فلورسانس کلروفیل برگ بالنگوی شهری شد. یکی از دلایل اصلی افزایش رشد در گیاهانی که با غلظت مناسب سلنیوم تیمار شده‌اند، خنثی شدن پیری به‌وسیله‌ی آنتی‌اکسیدان‌های تولید شده توسط سلنیوم است (Mohammadi et al., 2019). طبق نتایج به‌دست آمده (Seppänen et al., 2003) سلنیوم باعث بهبود پتانسیل تعرق، فتوسنتز و عملکرد کوانتومی II شد، در تحقیق حاضر نیز سلنیوم برخلاف تنش خشکی میزان فلورسانس برگ بالنگوی شهری را افزایش داد که این افزایش با افزایش عملکرد بیولوژیکی بالنگوی شهری همراه بود. کاهش نسبت Fv/Fm حاکی از کارایی کمتر فتوسیستم II و کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو می‌باشد. این کاهش احتمالاً به علت صدمات وارده بر کلروپلاست بوده و منجر به کاهش میزان کلروفیل می‌گردد که کاهش عملکرد بیولوژیک این موضوع را تأیید می‌کند. این کاهش ممکن است به‌دلیل آسیب دیدن چرخه تنظیم آب و انتقال الکترون در فتوسیستم II باشد (Mohamadian et al., 2018).

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، تنش خشکی سبب کاهش صفت مرفولوژیکی، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد بذر گردید. استفاده از سلنات‌سدیم موجب افزایش صفات فوق تحت تنش خشکی شد. علت افزایش عملکرد بذر در بالنگوی شهری می‌تواند مربوط به افزایش در تعداد گل در هر گل‌آذین، تعداد بذر در هر بوته، وزن بذر در هر بوته و وزن هزار دانه باشد. بنابراین در شرایط تنش خشکی محلول‌پاشی برگی سلنات‌سدیم در دو مرحله از طریق کاهش اثرات تنش خشکی می‌تواند از کاهش عملکرد بذر جلوگیری کند.

References

Abbasi, A., Lotfi, R. and Janmohammadi, M. (2018). Response of antioxidant defense mechanism and wheat yield changes to drought stress with application of different concentrations of nano-silicone and nano-titanium. Iranian Journal of Dryland Agriculture. 7(1): 101-79. (In Persian)

Adnan, M. (2020). Application of selenium A useful way to mitigate drought stress; A review. Open Access Journal of Biomedical Engineering and Biosciences Science and Reseaech. 3(1). 1-4.

Alves, L.R., Prado, E.R., Oliveira, R., Santos, E.F., Lemos de Souza, I., Dos Reis, A.R., Azevedo, R.A. and Gratão, P.L. (2020). Mechanisms of cadmium-stress avoidance by selenium in tomato plant. Ecotoxicology 29(5): 594–606.

Azad, M., Rostami, M., Ghabooli, M. and Movahhedi, Z. (2018). Effect of salinity stress and salicylic acid on physiological characteristics of Lallemantia royleana. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). 31(2): 259-307. (In Persian)

Batool, H., Tahir, A., Fang, X. and Yasmin, T. (2021). Impact of early ephemeral and terminal drought on the grain yield of the naked oat (*Avena Nuda* L.). The Journal of Animal & Plant Sciences, 31(3): 868-876.

Bergmeyer, H.U. (1970). Methods of enzymatic analysis. Akademie Verlag, Berlin, Germany, pp, 636-647.

Borbély, P., Molnár, A., Valyon, E., Ördög, A., Horváth-Boros, K., Csupor, D., Fehér, A. and Kolbert, Z. (2021). The effect of foliar selenium (Se) treatment on growth, photosynthesis, and oxidative-nitrosative signalling of *Stevia rebaudiana* leaves. Antioxidants. 10(1): 1-18.

Borna, F., Nazeri, V., Ghaziani, F. and Shokrpour, M. (2021). Morphological and physiological response of some Iranian ecotypes of *Leonurus cardiac* L. to drought stress. Journal of Horticulture and Postharvest Research. 4(3): 37-50.

Davoudi, A.R., MirShekari, B., Shirvani Rad, A.H., FrhVash, F. and Rashidi, V. (2016). Investigate the effect of selenium application on quantity and quality of oil yield in canola cultivars under delayed planting conditions. Crop Physiology Journal. 31(8): 129-143. (In Persian)

Dawood, M.G., Sadak, M.S., Bakry, B.A. and Kheder, H.H. (2020). Effect of glutathione and/or selenium levels on growth, yield, and some biochemical constituents of some wheat cultivars grown under sandy soil conditions. Bulletin of the National Research Centre. 44(158): 1-11.

Ei, H.H., Zheng, T., Farooq, M.U., Zeng, R., Yang, S., Yujie, Z., Yuanke, L., Zhichen, T., Ye, X., Jia, X. and Zhu, J. (2020). Impact of selenium, zinc and their interaction on key enzymes, grain yield, selenium, zinc concentrations, and seedling vigor of biofortified rice. Environmental Science and Pollution Research|. 27, 16940–16949.

Farsi, M., Abdollahi, F., Salehi, A. and Ghasemi, Sh. (2020). Physiological response of medicinal plant, marjoram (*Origanum majorana*) to methyl jasmonate in drought stress conditions. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). 33(3): 674-688. (In Persian)

Gao, Sh., Wanga, Y., Yua, Sh., Huanga, Y., Liua, H., Chena, W. and Hea, X. (2020). Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of Two Adonis species in Northeast China. Scientia Horticulturae. 259: 108795.

Gouveia, G.C.C., Galindo, F.Sh., Lanza Maria, M.G.D.B., Silva, A.C.d.R., Mateus, M.P.d.B., Silva, M.S.d., Tavanti, R.F.R., Tavanti, T.R., Lavresc, J. and Reis, A.R.d. (2020). Selenium toxicity stress-induced phenotypical, biochemical and physiological responses in rice plants: Characterization of symptoms and plant metabolic adjustment. Ecotoxicology and Environmental Safety. 202:110916.

Habibi, Gh. (2013). Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. Acta agriculturae Slovenica. 101(1): 31–39.

Heydari, Sh. and Pirzad, A.R. (2020). Mycorrhizal Fungi and *Thiobacillus* Co-inoculation Improve the physiological indices of *Lallemantia iberica* under salinity stress. Current Microbiology. 77(9): 2523–2534.

Hosseinzadeh, M.H., Ghalavand, A., Mashhadi-Akbar Boojar, M., Modarres-Sanavy, S.A.M. and Mokhtassi-Bidgoli, A. (2021). Application of manure and biofertilizer to improve soil properties and increase grain yield, essential oil and ω3 of

purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress. Soil & Tillage Research. 205, 104633.

Huang, H., Li, M., Rizwan, M., Dai, Z., Yuan, Y., Hossain, M.M., Cao, M., Xiong, S. and Tu, S. (2021). Synergistic effect of silicon and selenium on the alleviation of cadmium toxicity in rice plants. Journal of Hazardous Materials. 401(1): 123393.

Huang, H., Mei, L., Muhammad, R., Zhihua, D., Yuan, Y., Md Muzammel, H., Menghua, C., Shuanglian, X. and Shuxin, T. (2021). Synergistic effect of silicon and selenium on the alleviation of cadmium toxicity in rice plants. Journal of Hazardous Materials. 401:123393.

Izadi Darbandi, E. and Bakhsh Mohamadnejad, R. (2016). Investigation the feasibility of chemical weed control in Balangu (*Lallemanti aroyleana* Benth). Weed Research Journal. 8(1): 1-12. (In Persian)

Javadipour, Z., Movahhedi Dehnavi, M. and Balouchi, H.R. (2013). Evaluation of photosynthesis parameters, chlorophyll content and fluorescence of safflower cultivars under saline condition. Journal of Crop Production 6(2): 35-56. (In Persian)

Jawad Hassan, M., Ali Raza, M., Khan, I., Ahmad Meraj, T., Ahmed, M., Abbas Shah, G., Ansar, M., Awan, S.A., Khan, N., Iqbal, N., Peng, Y. and Li, Z. (2020). Selenium and salt interactions in Black Gram (*Vigna mungo* L): Ion uptake, antioxidant defense system, and photochemistry efficiency. Plants. 9(4): 1-16.

Karami, M.J., Eshghi, S. and Tafazoli, E. (2017). Leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in yaghooti grapevine under heat stress conditions in greenhouse and vineyard. Iranian Journal of Horticultural Science and Technology. 18(3): 237-250. (In Persian)

Karimzadeh, H., Nezami, A., Kafi, M. and Tadayon, M. (2016). Investigation of changes in stomatal conductivity, canopy temperature and relative leaf water content of pinto bean genotypes. Crop Physiology Journal. 30(8): 105-120. (In Persian)

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Azizi, G. (2006). The effect of different irrigation intervals and plant densities on yield and yield components of two fennel (*Foenicolum vulgare*) landraces. Iranian Journal of Field Crops Research. 4(1): 131-140. (In Persian)

Koocheki, A., Tabrizi, L. and Nassiri Mahallati, M. (2005). Organic cultivation of *Plantago ovate* and *Plantago psyllium* in response to water stress. Iranian Journal of Field Crops Research. 1(2): 67-78. (In Persian)

Mahmood, T., Khalid, Sh., Abdullah, M., Ahmed, Z., Kausar Nawaz Shah, M., Ghafoor, A. and Du, X. (2020). Insights into drought stress signaling in plants and the molecular genetic basis of cotton drought tolerance. Cells. 9(1): 1-30.

Maleki Farahani, S. and Abdolahi, M. (2014). Effect of deficit irrigation on yield and yield components of two different species of Balangu (*Lallemantia royleana & iberica*) from Mashhad and Urmia. Iranian Journal of Field Crops Research. 12(3): 502-515. (In Persian)

Mateus, M.P.B., Tavanti, R.F.R. and Tavanti, T.R. (2021). Selenium biofortification enhances ROS scavenge system increasing yield of coffee plants. Ecotoxicology and Environmental Safety. 209(1): 1-10.

Mohamadian, M.A., Omidipour, M. and Jamal Omidi, F. (2018). Effect of different drought stress levels on chlorophyll fluorescence indices of two bean cultivars. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). 31(3): 511-525. (In Persian)

Mohammad ghasemi, V., Moghaddam, S.S., Rahimi, A., Pourakbar, L. and Popović-Djordjević, J. (2021). Morpho-biochemical traits and macro-elements of *Lallemantia iberica* (M.B.) Fischer & Meyer, as affected by winter (late autumn) sowing, chemical and nano-fertilizer sources. Acta Physiologiae Plantarum. 43(2):

Mohammadi, H., Sepehri, A. and Sabaghpour, S.H. (2019). Effect of kaolin, chitosan, chloride calcium and selenat sodium on growth, grain yield and yield components of chickpea (*Cicer*

arietinum L.) under supplemental irrigation. Iranian Journal of Pulses Research. 10(2): 178-192. (In Persian)

Mohtashami, R., Movahhedi Dehnavi, M., Balouchi, H.R. and Faraji, H. (2020). Improving yield, oil content and water productivity of dryland canola by supplementary irrigation and selenium spraying. Agricultural Water Management. 232, 106046.

Motamedi-Mirhoseini, L., Mohamadi-Nejad, G., Bahraminejad, A., Golkar, P. and Mohammadinejad, Z. (2011). Evaluation of cumin (*Cuminum cyminum* L.) landraces under drought stress based on some agronomic traits. African Journal of Plant Science. 5(14): 819-822.

Mozzafari, F., Ghorbanli, S., Babai, M. and Farzami, A. (2000). The effect of water stress on the seed oil of Nigella sativa L. Journal of Essential Oil Research. 12(1): 36-38.

Nguyen, D.V., Nguyen, H.M., Le, N.T., Nguyen, K.H., Le, H.M., Nguyen, A.T., Dinh, N.T.T., Hoang, S.A. and Ha, C.V. (2021). Copper nanoparticle application enhances plant growth and grain yield in maize under drought stress conditions. Journal of Plant Growth Regulation. 1-29.

Radya, M.M., Belal, H.E.E., Gadallah, F.M. and Semid, W.M. (2020). Selenium application in two methods promotes drought tolerance in *Solanum lycopersicum* plant by inducing the antioxidant defense system. Scientia Horticulturae. 266, 109290

Reis, L.A.C., Oliveira, J.A., Farnese, F.d.S., Rosado, A.M. and Reis, L.A.C. (2021). Chlorophyll fluorescence and water content parameters are good biomarkers for selecting drought tolerant eucalyptus clones. Forest Ecology and Management. 481, 118682.

Rohi Saralan, A., Shafagh-Kolvanagh, J., Dabbagh Mohammadi Nassab, A. and Saeidi, M.R. (2019). Yield and fatty acid composition of Dragon's head (*Lallemantia iberica Fischer* & C.A. Meyer) intercropped with purslane (*Portulaca oleracea* L.) under mulching and biofertilizers. Journal of Agricultural science and sustainable production. 29(1): 51-66. (In Persian).

Safari, B., Mortazavianv, S.M.M., Noori, S.A.S. and Foghi, B. (2015). Effect of water stress on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes behzad. Journal of Plant Physiology and Breeding. 5(2): 51-61.

Saleem, M.F., Kamal, M.A., Shahid, M., Awais, M., Saleem, A., Raza, M.A.S. and Ma, B.L. (2020). Studying the foliar selenium-modulated dynamics in phenology and quality of terminal heat-stressed cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in association with yield. Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology. 1-11.

Sarshad, A., Talei, D., Torabi, M., Rafiei, F. and Nejatkhah, P. (2021). Morphological and biochemical responses of *Sorghum bicolor* (L.) Moench under drought stress. SN Applied Sciences. 3(1): 1-12.

Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carwer, B.F. and Mornhinweg, D.W. (1988). Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Sciences. 28(3): 526-531.

Seppänen, M., Turakainen, M. and Hartikainen, H. (2003). Selenium effects on oxidative stress in potato. Plant Science. 165(2): 311-319.

Shah, W.H., Rasool, A., Tahir, I. and Ul Rehman, R. (2020). Exogenously applied selenium (Se) mitigates the impact of salt stress in *Setaria italica* L. and Panicum miliaceum L. Nucleus 63(1): 327–339.

Shamsai, A.A., Aran, M. and Fakheri, B.A. (2021). The Effect of foliar application of selenium on physiological and biochemical characteristics of Rosemary under drought stress. Journal of Crop Science Research in Arid Regions. 2(2): 127-140. (In Persian)

Shawon, R.A., Kang, B.S., Lee, S.G., Kim, S.K., Lee, H.J., Katrich, E. and Gorinstein, S. (2020). Influence of drought stress on bioactive compounds, antioxidant enzymes and glucosinolate

contents of Chinese cabbage (*Brassica Rapa*). Food Chemistry. 308: 125657.

Shubhra, K., Dayal, J., Goswami, C.L. and Munjal, R. (2004). Effect of water-deficit on oil of calendula aerial parts. Biologia Plantarum. 48(3): 445-448.

Sica, P., Galvao, A., Scariolo, F., Maucieri, C., Nicoletto, C., Pilon, C., Sambo, P., Barcaccia, G., Borin, M., Cabrera, M. and Franklin, D. (2021). Effects of drought on yield and nutraceutical properties of Beans (*Phaseolus* spp.) traditionally cultivated in Veneto, Italy. Horticulturae. 7(2): 1-15.

Tavakoli, S., Enteshari, S. and Yousefifard, M. (2020). Investigation of the effect of selenium on growth, antioxidant capacity and secondary metabolites in *Melissa officinalis*. Iranian journal of plant physiology. 10(2): 3125-3134.

Thuc, L.V., Sakagami, J.I., Hung, L.T., Huu, T.N., Khuong, N.Q. and Vu VI, L.L. (2021). Foliar selenium application for improving drought tolerance of sesame (*Sesamum indicum* L.). Open Agriculture. 6(1): 93–101.

Xue, T.L., Hartikainen, H. and Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth-promoting effects of selenium on senescing lettuce. Plant and Soil. 237: 55-61.

Zahedi, S.M., Moharrami, F., Sarikhani, S. and Padervand, M. (2020). Selenium and silica nanostructure-based recovery of strawberry plants subjected to drought stress. Scientific Reports. 10(1): 1-18.