Archive of SID

نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۴ / شماره ۳/ ۱۳۹۹

تأثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بالنگوی شهری در رژیم‌های مختلف آبیاری

معصومه عامریان [۱]، علی‌رضا زبرجدی و جوانه‌السادات محرابی

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

Masoomehamerian@yahoo.com

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

zebarjadiali@yahoo.com

کارشناس تولیدات گیاهی-گیاهان دارویی و معطر، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

j.mehrabi2017@yahoo.com

دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۹ و پذیرش: مهر ۱۳۹۹

چکیده

خشکی یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های تولید کشاورزی در سراسر جهان است. سلنیوم از طریق افزایش میزان ترکیبات و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی در تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی دارد. به‌منظور بررسی اثر سلنیوم بر خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی بالنگوی شهری تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه اجرا گردید. فاکتور اول شامل سطوح مختلف تنش خشکی (۱۰۰٪، ۷۵٪، ۵۰٪ و ۲۵٪ ظرفیت زراعی) و فاکتور دوم شامل غلظت‌های مختلف سلنیوم (صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم) بود. براساس نتایج به‌دست آمده، خشکی اثر منفی بر میزان وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد بذر بالنگوی شهری داشت. اما، تحت تنش خشکی، محلول‌پاشی سلنیوم سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه (۳۲/۲ سانتی‌متر)، میزان پرولین (۰/۹۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و فنول کل (۰/۸۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) شد. با افزایش غلظت سلنیوم ویژگی‌های فیزیولوژیکی مورد مطالعه‌ی (محتوی نسبی آب برگ (۶۵/۱۰ ٪) قند محلول کل (۲/۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، پروتئین کل (۰/۲۸۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۲۱ ٪) برگ بالنگوی شهری افزایش یافت. میزان غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم تأثیر مثبتی بر وزن تر گیاه و عملکرد بیولوژیکی بالنگوی شهری داشت که احتمالاً با نقش آنتی‌اکسیدانی سلنیوم همراه است. تحت شرایط تنش خشکی، سلنیوم میزان پرولین و فنول کل را افزایش داد که افزایش این اسمولیت‌های سازگار نقش مهمی در تحمل بالنگوی شهری به خشکی داشت.

واژه‌های کلیدی: سلنات سدیم، آنتی‌اکسیدان، تنش خشکی، فنول کل، پرولین

[۱]- آدرس نویسنده مسئول: کرمانشاه، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* L.) گیاهی دارویی و روغنی یکساله، علفی، سرمادوست و زودرس از خانواده نعناعیان (Labiatae) می‌باشد که از نواحی قفقاز منشاء گرفته و در مناطق مختلف ایران یافت می‌شود (مصطفوی و جلیلیان، ۱۳۹۸). گیاهی چند منظوره با امکان کشت دیم با قابلیت‌ها و کاربردهای متنوع و فراوان است که تمام قسمت‌های آن (برگ یا دانه) از لحاظ اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حال حاضر، این گیاه جهت تولید دانه، روغن و موسیلاژ کشت می‌شود که دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد. روغن بالنگوی شهری دارای کاربردهای غذایی، روشنایی، روغن جلا، روغن نقاشی، روغن گریس است و نیز در درمان بیماری‌های کبد، کلیه و اختلالات عصبی مؤثر است (امان‌زاده، ۲۰۱۱).

گیاهان در طول چرخه‌ی زندگی خود ممکن است با تنش های مختلف مواجه شوند که تنش کم آبی یکی از مهم‌ترین آن‌ها است. تنش کم آبی مهم‌ترین دلیل کاهش تولید و عملکرد تا ۵۰٪ در محصولات مختلف سراسر جهان است (دپاک و همکاران، ۲۰۱۹). در تنش کم آبی کمبود آب در بافت گیاه رخ می‌دهد که کاهش محتوی آب، تقلیل پتانسیل آب برگ و افت فشار تورگر، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش رشد سلول‌ها را در پی دارد و در تنش‌های شدید ممکن است به توقف فرآیند فتوسنتز، تخریب متابولیسم و در نهایت مرگ گیاه منجر شود (جلیل و همکاران، ۲۰۰۸). به‌طور کلی، تنش کم آبی باعث تولید بیش از حد گونه‌های اکسیژن واکنش پذیر (ROS) می‌شود که غالباً در فرایند فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای اختلال ایجاد می‌کند. تجمع گونه‌های اکسیژن واکنش پذیر تنش اکسیداتیو را در پی دارد که می‌تواند منجر به شرایطی شود که در آن تولید بیش از ظرفیت سلول‌ها برای از بین بردن این اکسیدان‌ها باشد (جنگارمن و همکاران، ۲۰۱۰). تنش اکسیداتیو از طریق اکسیداسیون لیپیدها، DNA و رنگیزه‌های فتوسنتزی و نیز غیرفعال کردن آنزیم‌ها باعث ایجاد اثرات مضر می‌شود (دل‌بونو و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین، در نتیجه‌ی این اثرات رشد و نمو گیاه محدود می‌شود (حسن‌آزمن و همکاران، ۲۰۱۰. سلنیوم (Se) به‌عنوان یک عنصر کمیاب با عدد اتمی ۳٤ در گروه ششم جدول تناوبی قرار دارد. به‌دلیل تشابه شیمیایی سلنیوم به گوگرد، گیاهان سلنیوم را از طریق ناقلین گوگرد از خاک جذب می‌کنند (اسپدونی و همکاران، ۲۰۰۷). سلنیوم به فرم‌های سلنات و سلنیت توسط گیاه جذب می‌شود (استری‌واستاوا و همکاران، ۲۰۰۹). میزان انتقال سلنیوم به اندام‌های مختلف گیاهی بسته به گونه گیاه، مرحله رشد، دما و رطوبت متفاوت است (اسپدونی و همکاران، ۲۰۰۷). سلنیوم در غلظت‌های کم برای انسان و حیوانات ضروری است، اما برای گیاهان ضروری شناخته نشده است (مارفی و همکاران، ۲۰۱٤). درنتیجه سلنیوم عنصری ضروری و مهم برای انسان و حیوان می‌باشد که باید از طریق رژیم غذایی تأمین گردد. سازمان بهداشت جهانی نیاز روزانه‌ی یک فرد بالغ به سلنیوم را حدود ۵۵ میکروگرم سلنیوم در روز اعلام کرده است. کمبود سلنیوم به‌طور مستقیم روی سلامت انسان تأثیر گذاشته و بیش از ٤۰ نوع بیماری مرتبط با کم‌بود این عنصر مانند بیماری کشان ۲، سرطان، بیماری‌های قلبی عروقی، بیماری‌های کبدی و آب مروارید گزارش شده است (پشینالی و همکاران، ۲۰۱۷). گیاهان نقش مهمی در انتقال سلنیوم از خاک به زنجیره‌ی غذایی انسان دارند. درنتیجه غنی سازی زیستی تولیدات کشاورزی با سلنیوم، به منظور افزایش کیفیت محصول و کاهش عوارض ناشی از کمبود این عنصر در افراد جامعه ضروری می‌باشد (مستشارنیا و همکاران، ۲۰۲۰). طبق تحقیق انجام شده، محلول‌پاشی تاج درخت در غنی‌سازی زیستی سلنیوم در میوه سیب مؤثر بوده و متعاقباً تأثیر معنی‌داری در حفظ کیفیت میوه در طول انبار سرد داشته است (محبی و همکاران، ۱۳۹۸). در گیاه یونجه (*Medicago sativa*) محلول‌پاشی برگی سلنیوم منجر به بهبود ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی شد (مستشارنیا و همکارن، ۲۰۱۹). در

www.SID.ir

Archive of SID

گیاهان سلنیوم در غلظت‌های پایین خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارد و نیز یک جزء مهم آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز (GSH-PX) است که در شرایط تنش اکسیداتیو از تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن جلوگیری می‌کند و از سلول‌ها در برابر آسیب‌های ناشی از اکسایش محافظت می‌کند. هم‌چنین سلنیوم پیری را به تأخیر انداخته و رشد و نمو گیاه را بهبود می‌بخشد (پاسیولا و همکاران، ۲۰۱۱). در حالی‌که در غلظت‌های زیاد به‌عنوان اکسیدان عمل کرده و کاهش رشد و عملکرد گیاه را در پی دارد (سپن و همکاران، ۲۰۱۵ و زانگ و همکاران، ۲۰۲۰). سلنیوم اثرات نامطلوب تنش‌ها را کاهش می‌دهد. مکانیسم محافظتی سلنیوم از گیاهان تحت شرایط تنش شامل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (پراکسیداز، کاتالاز و ...) و ترکیبات آنتی‌اکسیدان (آنتوسیانین، فلاونوئید، ترکیبات فنلی و ...) است (چو و همکاران، ۲۰۱۰). سلنیوم می‌تواند فتوسنتز گیاه را از طریق افزایش راندمان فتوسیستم II (PSII)، افزایش فلورسانس کلروفیل و کاهش تخریب کلروفیل بهبود بخشد (چو و همکاران، ۲۰۱۰). مطالعات نشان می‌دهد که تحت شرایط تنش کم آبی، سلنیوم با کاهش آسیب‌های ناشی از تنش اکسیداتیو، افزایش میزان کلروفیل، تنظیم وضعیت آب و تحریک رشد نقش مهمی در گیاهان ایفا می‌کند (احمد و همکاران، ۲۰۱۶). هم‌چنین سلنیوم با افزایش راندمان جذب آب از ریشه‌ها و کاهش تلفات آب از بافت‌ها در تنظیم وضعیت آب در گیاهان نقش دارد (کیزنکسو و همکاران، ۲۰۳۳). سلنیوم با حفاظت از سیستم غشایی که منجر به رشد طولی ریشه و شاخه می‌شود رشد گیاه را تحریک می‌کند (سان و همکاران، ۲۰۱۰) و نیز از توسعه سیستم ریشه حمایت می‌کند (هارلاک-نواک، ۲۰۰۹). تأثیر مثبت سلنیوم در بهبود تحمل تنش کم آبی از طریق انباشت اسمولیت‌های سازگار و فعال‌سازی آنزیم‌ها در جو (حبیبی، ۲۰۱۳)، کلزا (حسن‌آزمن و فوجیتا، ۲۰۱۱) و گندم (ناواز و همکاران، ۲۰۱۳) گزارش شده است.

گیاه بالنگوی شهری در اکثر مناطق به‌صورت دیم و آبی کشت می‌شود و دلیل سازگاری این گیاه به تنش کم آبی ناشی از وجود ژن‌های تحمل به کم آبی می‌باشد (شیخی سنندجی و پیرزاد، ۱۳۹۸). کاهش ارتفاع گیاه و عملکرد بیولوژیک بالنگوی شهری (شیخی سنندجی و پیرزاد، ۱۳۹۸ و مصطفوی و جلیلیان، ۱۳۹۸) در شرایط کشت دیم گزارش شده است. بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در شرایط تنش کم آبی، از وجود سازوکارهای مؤثر و راهکارهای اقتصادی گیاه در جهت کاهش اثرات این تنش دارد. با این حال، بسیاری از گیاهان مهم اقتصادی از طریق مکانیسم‌های داخلی توان مقابله با تنش‌های محیطی را ندارند؛ بنابراین، بشر از طریق برخی علوم زیستی و به‌کار بردن ترکیبات خارجی روی گیاه، آن‌ها را در مقابله با این شرایط همراهی می‌کند. این ترکیبات شامل اسمولیت‌های آلی، هورمون‌های گیاهی و مواد معدنی هستند؛ بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی میزان تأثیرگذاری غلظت‌های مختلف سلنیوم روی گیاه بالنگوی شهری در سطوح مختلف تنش کم آبی و تعیین بهترین غلظت این ماده از طریق بررسی پارامترهای رشد و برخی صفات فیزیولوژیکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ی تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش کم آبی و سلنیوم بر برخی ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی بالنگوی شهری در سال ۱۳۹۷ انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل تنش کم آبی در چهار سطح تیمار شاهد (بدون تنش کم آبی)، ۲۵٪ (۷۵٪ ظرفیت زراعی)، ۵۰٪ (۵۰٪ ظرفیت زراعی) و ۷۵ ٪ تنش کم آبی (۲۵٪ ظرفیت زراعی) (داوری‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴ و مظفری و همکاران، ۱۳۹۵) و محلول‌پاشی برگی سلنیوم در سه سطح (صفر، ۵

www.SID.ir

Archive of SID

و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم) بود. نمک سانات سدیم با فرمول Na_2O_4Se از شرکت اینترنتی تماد کالا (با برند سیگما) خریداری شد. در مرحله‌ی هشت برگی (یک ماه پس از کشت بذر) تنش کم آبی 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 (آزاد و همکاران، ۱۳۹۷). در طول دوره آزمایش دمای روز بین ۲۵-۲۳ سلسیوس و دمای شب بین ۲۱-۲۰ 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 سه بوته تا انتهای آزمایش حفظ شدند (آزاد و همکاران، ۱۳۹۷). تنش کم آبی تا مرحله‌ی تشکیل بذر ادامه یافت و برخی از صفات مورفولوژیکی (ارتفاع گیاه، وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ) و فیزیولوژیکی برگ بالنگوی شهری اندازه‌گیری شدند.

به‌منظور اعمال تیمارهای رطوبتی، گلدان‌ها به‌صورت یکسان با ترکیب خاکی مورد نظر پر شدند. تعدادی از گلدان‌ها به مدت ٢٤ ساعت در آب قرار گرفتند تا به ظرفیت زراعی برسند و تمامی خلل و فرج آن‌ها به وسیله‌ی آب پر شود. سپس گلدان‌ها از آب خارج شده و 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 مزرعه قرار داده شدند. سپس بلافاصله گلدان‌ها وزن شدند و خاک آن‌ها جهت خشک شدن کامل در دمای ۱۰۵ سلسیوس به‌مدت ٢٤ ساعت در آون قرار داده شدند. در نهایت وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. رطوبت خاک طبق فرمول زیر محاسبه شد (اسکانفلد و همکاران، ۱۹۸۸).

$$FC = \frac{FCW-DW}{DW} \times 100 \qquad (۱)$$

FC= ظرفیت زراعی، FCW= وزن خاک در ظرفیت زراعی، DW= وزن خاک خشک شده در آون است.

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 محاسبه میزان رطوبت مورد نظر در طول مدت تنش روزانه محاسبه گردید (اردلانی و همکاران، ١٣٩٤).

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

به منظور 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 ١٨-١٦ 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 (اسکانفلد و همکاران، ۱۹۸۸).

$$RWC\% = \frac{FW-DW}{TW-DW} \times 100 \qquad (۲)$$

www.SID.ir

Archive of SID

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

استخراج عصاره جهت اندازه‌گیری پرولین و قندهای محلول کل

نیم‌گرم از بافت برگ به همراه نیتروژن مایع در داخل هاون چینی سائیده و له گردید. سپس بلافاصله به آن پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵ ٪ اضافه و به شدت تکان داده شد. قسمت بالایی محلول حاصل جدا و رسوبات آن دو بار با پنج میلی‌لیتر اتانول ۷۰ ٪ شسته شد و فاز بالایی آن‌ها به قسمت رویی که قبلاً برداشت شده بود، اضافه گردید. محلول به‌دست آمده به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. پس از جدا شدن فاز مایع و جامد، قسمت مایع در داخل یخچال با دمای چهار سیلیسوس نگه‌داری گردید.

میزان پرولین

برای تعیین غلظت پرولین، یک میلی‌لیتر از عصاره الکی فوق‌الذکر با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق شد و پنج میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین به آن اضافه گردید. ترکیب معرف نین‌هیدرین برای هر نمونه شامل ۰/۱۲۵ گرم نین‌هیدرین + دو میلی‌لیتر اسید فسفریک شش مولار + سه میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال بود. پس از افزودن معرف نین‌هیدرین، پنج میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده شد و مخلوط حاصله پس از به‌هم زدن به‌مدت ۴۵ دقیقه در حمام آب جوش ۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از خارج کردن نمونه‌ها از حمام آب جوش و خنک شدن آن‌ها ۱۰ میلی‌لیتر بنزن به هر کدام از نمونه‌ها اضافه و به شدت تکان داده شدند تا پرولین وارد فاز بنزن گردید. نمونه‌ها سپس به مدت ۳۰ دقیقه به حال سکون رها شدند. محلول‌های استاندارد از پرولین به غلظت‌های صفر تا ۰/۱ میکرومول بر میلی‌لیتر تهیه گردید و در نهایت میزان جذب نور محلول‌های استاندارد و نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر (مدل کری ۱۰۰، واریان، امریکا) اندازه‌گیری شد (ایرگون و همکاران، ۱۹۹۲).

قندهای محلول کل

برای اندازه‌گیری کل قندهای محلول، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی با ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ ٪) واکنش داده شد، سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد. در این هنگام ماده رنگی تشکیل گردید و استانداردهایی از گلوکز از غلظت صفر تا ۰/۱ میکرومول بر میلی‌لیتر تهیه شد و در نهایت میزان جذب نور محلول‌های استاندارد و نمونه‌ها با اسپکتوفتومتر (مدل کری ۱۰۰، واریان، امریکا) در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت گردید (پیون و لاچسرو، ۱۹۷۹).

پروتئین محلول

برای تعیین میزان پروتئین‌های محلول از روش برادفورد (۱۹۷۶) استفاده گردید. بدین منظور مقدار نیم گرم برگ تازه با ۶/۲۵ میلی‌لیتر محلول بافر استخراج مخلوط و به مدت ۲۴ ساعت نگه‌داری شد. برای تهیه یک لیتر محلول بافر استخراج، ۱۲۱/۴ گرم تریس در یک لیتر آب مقطر حل گردید و اسیدیته محلول توسط اسیدکلریدریک نرمال به ۶/۸ تغییر داده شد تا محلول بافر مورد نظر به‌دست آمد. پس از سپری شدن مدت مذکور، برگ‌های داخل هاون کاملاً ساییده شدند و سپس در دور ۶۰۰۰ و به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ شدند. سپس مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول بالایی سانتریفوژ شده توسط سمپلر برداشته و به آن ۵ میلی‌لیتر معرف بیورد اضافه گردید. برای تهیه معرف، ۱۰۰ میلی‌گرم کوماسی‌بریلیانت بلو جی- ۲۵۰ با ۵۰ میلی‌لیتر اتانول خالص، مخلوط گردید و سپس با آب مقطر به حجم تقریبی ۸۰۰ میلی‌لیتر رسانده و از صافی عبور داده شد. نهایتاً حجم محلول صاف شده با ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک خالص و آب مقطر به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به

www.SID.ir

Archive of SID

همراه محلول بافر استخراج در دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل کری ۱۰۰، واریان، امریکا) قرار داده شد و در طول موج ۵۹۵ نانومتر میزان جذب آن قرائت گردید. برای تهیه محلول استاندارد، مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم آلبومین گاوی در یک میلی‌لیتر بافر استخراج حل گردید و سپس توسط آب مقطر به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس از محلول مقادیر ۱۰ تا ۹۰ پی‌پی‌ام استاندارد تهیه و میزان جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج مذکور قرائت شد.

تهیه عصاره‌ی متانولی برای سنجش فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی

به‌منظور تهیه‌ی عصاره‌ی متانولی نیم‌گرم بافت تازه‌ی برگ داخل هاون چینی و در حضور سه میلی‌لیتر متانول ۸۵٪ به‌خوبی له و سپس صاف گردید. از این عصاره متانولی جهت اندازه‌گیری فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی استفاده شد.

فنول کل

میزان فنول کل با استفاده از معرف فولین-سیوکالتو تعیین شد (سینگلتون و روسی، ۱۹۶۵). در این روش ۳۰۰ میکرولیتر از عصاره متانولی با ۱۵۰۰ میکرولیتر محلول فولین سیکالته رقیق شده (با نسبت ۱:۱۰ با آب مقطر) مخلوط گردید، پس از هشت دقیقه نگه‌داری در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، ۱۲۰۰ میکرولیتر محلول ۷ ٪ بیکربنات سدیم به آن اضافه شد. پس از ۹۰ دقیقه تکان دادن روی شیکر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه در دمای اتاق و در شرایط تاریکی، جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر (مدل کری ۱۰۰، واریان، امریکا) قرائت گردید. با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک، فنول کل به‌صورت میلی‌گرم اسید گالیک در گرم وزن تازه محاسبه شد.

ظرفیت آنتی اکسیدانی

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برگ بالنگوی شهری به روش DPPH اندازه‌گیری شد. در این روش فعالیت خنثی کنندگی رادیکال دو و دو دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل توسط عصاره‌ی متانولی با روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۵۱۵ نانومتر تعیین شد که از قانون لامبرت پیروی می‌کند و کاهش جذب آن با میزان ماده آنتی‌اکسیدانی رابطه خطی دارد. هر چه بر مقدار ماده آنتی‌اکسیدانی افزوده شود، DPPH بیشتری مصرف شده و رنگ بنفش بیشتر به سمت زرد میل می‌کند. DPPH، ترکیبی است بنفش رنگ که به‌دلیل حضور گروه‌های فنیل در ساختارش به‌راحتی به‌صورت رادیکال در آمده و در واقع منبع رادیکال آزاد می‌باشد. این ترکیب با گرفتن یک الکترون از ترکیب آنتی‌اکسیدان، از رنگ بنفش به زرد تغییر رنگ می-دهد (دآبروسکا و همکاران، ۲۰۰۷). میزان فعالیت خنثی کنندگی رادیکال DPPH بر اساس فرمول زیر محاسبه شد.

$$\text{DPPH} = \frac{\text{AC}-\text{AS}}{\text{AC}} \times 100 \qquad (۳)$$

در این فرمول AC جذب رادیکال DPPH بدون هیچ آنتی‌اکسیدان به‌عنوان کنترل و AS جذب DPPH همراه عصاره بوده و از متانول به‌عنوان بلانک استفاده شد.

تجزیه آماری: تجزیه‌ی داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار SAS (۹/۱) انجام گرفت و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P\leq0.05$) استفاده گردید.

نتایج و بحث

خصوصیات مورفولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مرفولوژیکی بالنگوی شهری نشان داد که (جدول ۱)، دو فاکتور تنش کم آبی و سلنیوم اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر میزان ارتفاع گیاه، وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد بذر داشتند. اثر متقابل بین سطوح تنش کم آبی و محلول‌پاشی سلنیوم تنها بر

www.SID.ir

Archive of SID

ارتفاع گیاه و عملکرد بذر بالنگوی شهری معنی‌دار شد (جدول ۱).

بر طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱)، تنش کم آبی باعث کاهش ارتفاع بوته گیاه بالنگوی شهری شد. در حالی‌که با افزایش سطح سلنیوم میزان ارتفاع گیاه افزایش نشان داد. بیش‌ترین ارتفاع گیاه در تیمار بدون تنش کم آبی (شاهد) همراه با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم مشاهده شد. کم‌ترین میزان ارتفاع گیاه در تیمار ۷۵٪ تنش کم آبی همراه با صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم بود. طبق نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بین دو فاکتور (شکل ۱)، در تیمارهای بدون تنش کم آبی (شاهد) و ۲۵٪ تنش کم آبی با افزایش سطح سلنیوم میزان ارتفاع گیاه افزایش یافت. در تیمار ۵۰٪ تنش کم آبی نیز با افزایش سطح سلنیوم ارتفاع گیاه افزایش نشان داد البته تفاوت معنی‌داری بین سطوح سلنیوم مشاهده نشد. در تیمار ۷۵٪ تنش کم آبی نیز با افزایش میزان سلنیوم میزان ارتفاع گیاه افزایش نشان داد.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲)، تنش کم آبی باعث کاهش وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ شد. بیش‌ترین میزان وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ در تیمار بدون تنش کم آبی (شاهد) بود. کم‌ترین میزان وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ در ۷۵٪ تنش کم آبی مشاهده شد. طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲)، با افزایش سطح سلنیوم میزان وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ افزایش نشان داد. بیش‌ترین و کم‌ترین وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰ و صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم بود.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲)، تنش کم آبی تأثیر منفی بر میزان عملکرد بیولوژیکی داشت. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان عملکرد بیولوژیکی گیاه بالنگوی شهری به‌ترتیب در تیمارهای بدون تنش کم آبی و ۷۵٪ تنش کم آبی مشاهده شد. در حالی‌که با افزایش غلظت سلنیوم میزان عملکرد بیولوژیکی نسبت به شاهد افزایش یافت.

با توجه به نتایج به‌دست آمده (شکل ۲)، کم‌ترین میزان عملکرد بذر در تیمار ۷۵٪ تنش کم آبی همراه با صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم مشاهده شد. بیش‌ترین میزان عملکرد بذر در درتیمار بدون تنش کم آبی (شاهد) همراه با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم بود. در هر چهار تیمار تنش کم آبی با افزایش غلظت سلنیوم (صفر تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم) عملکرد بذر افزایش نشان داد (شکل ۲).

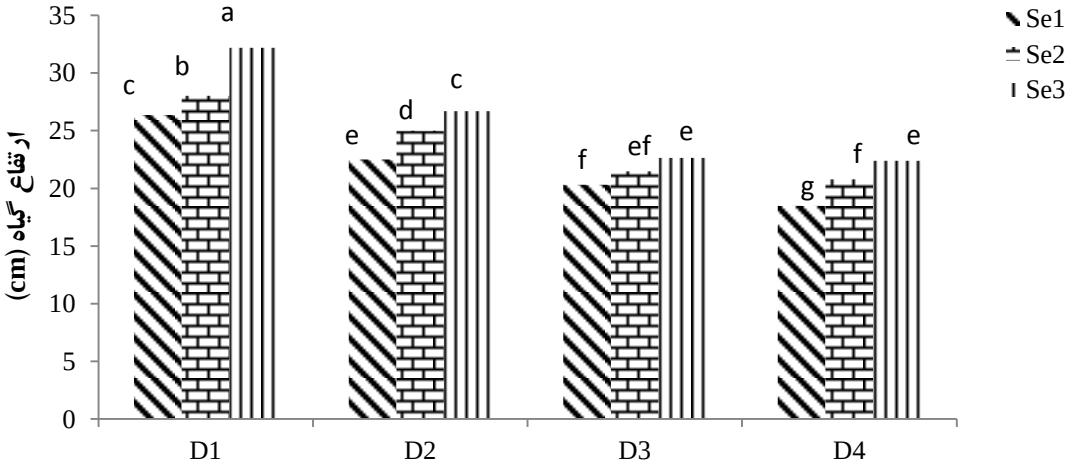
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف تنش کم آبی، سلنیوم و اثر متقابل بین دو فاکتور بر ویژگی‌های مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده بالنگوی شهری

		میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	وزن تر گیاه	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	عملکرد بیولوژیکی	عملکرد بذر
تنش کم آبی	۳	۱۲۶/۶۹**	۲۷/۳۲**	۱۳/۴۶**	۰/۰۱۳۵**	۲۷۷/۱۵**	۰/۰۰۷۲**
سلنات‌سدیم	۲	۴۹/۶۷**	۱۶/۱۰**	۱۳/۰۲۰**	۰/۱۱۹۰**	۱۶۳/۳۰**	۰/۰۰۱۰**
تنش کم آبی ×سلنات‌سدیم	۶	۲/۱۳**	۰/۳۰۰^{ns}	۰/۰۲۰۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۴۷^{ns}	۳/۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۳۳**
اشتباه آزمایشی	۲۴	۰/۵۱۱	۰/۱۹۳	۰/۰۸۳	۰/۰۰۰۲۴	۱/۹۵	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۴
ضریب تغییرات	–	۲/۹۸	۹/۶۲	۱۱/۱۲	۵/۷۵	۹/۶۲	۰/۳۹

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



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل بین تنش کم آبی و سلنات‌سدیم بر ارتفاع گیاه بالنگوی شهری

D_1، D_2، D_3 و D_4 به‌ترتیب: بدون تنش کم آبی، ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ تنش کم آبی و Se_1، Se_2 و Se_3 به‌ترتیب: صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش کم آبی و سلنات‌سدیم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده بالنگوی شهری

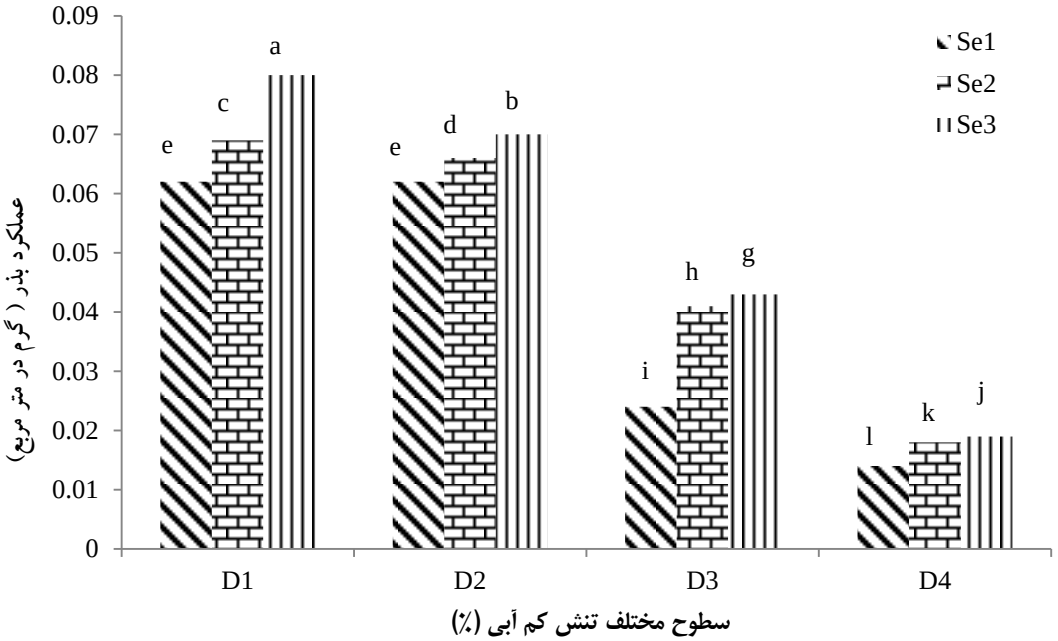
تیمارها	وزن تر گیاه (g)	وزن تر برگ (g)	وزن خشک برگ (g)	عملکرد بیولوژیکی ($g\ m^2$)
تنش کم آبی (٪)				
بدون تنش کم آبی	۶/۸۳^{a}	۴/۲۶^{a}	۰/۳۱۸^{a}	۲۱/۷۶^{a}
٪۲۵	۴/۷۶^{b}	۲/۵۶^{b}	۰/۲۸۰^{b}	۱۵/۱۸^{b}
٪۵۰	۴/۰۰^{c}	۲/۱۶^{c}	۰/۲۶۴^{c}	۱۲/۷۳^{c}
٪۷۵	۲/۶۶^{d}	۱/۳۶^{d}	۰/۲۲۴^{d}	۸/۴۹^{d}
سلنات‌سدیم (میلی‌گرم بر لیتر)				
صفر	۳/۴۰^{c}	۱/۵۵^{c}	۰/۱۷۱^{c}	۱۰/۸۵^{c}
۵	۴/۵۶^{b}	۲/۵۹^{b}	۰/۲۷۳^{b}	۱۴/۵۴^{b}
۱۰	۵/۷۲^{a}	۳/۶۳^{a}	۰/۳۷۰^{a}	۱۸/۲۳^{a}

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

D_1، D_2، D_3 و D_4 به‌ترتیب: بدون تنش کم آبی، ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ تنش کم آبی و Se_1، Se_2 و Se_3 به‌ترتیب: صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل بین تنش کم آبی و سلنات‌سدیم بر عملکرد بذر گیاه بالنگوی شهری

D_1، D_2، D_3 و D_4 به‌ترتیب: بدون تنش کم آبی، ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ تنش کم آبی و Se_1، Se_2 و Se_3 به‌ترتیب: صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم

با توجه به نتایج به‌دست آمده، برخلاف تنش کم آبی، سلنیوم تأثیر مثبت بر میزان وزن تر گیاه، وزن تر و خشک برگ داشت (جدول ۲). تحریک رشد و افزایش وزن تر و خشک برگ تحت تیمار سلنیوم توسط هارتیکینین و همکاران (۲۰۰۰) در چاودار و جناگرامن و همکاران (۲۰۰۵) در سویا نیز گزارش شده است. تنش کم آبی میزان رشد بالنگوی شهری را کاهش داد که مطابق نتایج دائو و همکاران (۲۰۰۸) و یاو و همکاران (۲۰۰۹) بود. در هر سه سطح تنش کم آبی با افزایش میزان سلنات سدیم ارتفاع گیاه افزایش نشان داد (شکل ۱). یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش آماس و در نتیجه کاهش تقسیم و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها است و به‌همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم آبی بر روی گیاهان را می‌توان از اندازه کوچک‌تر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد (بت و اسرینواسا-راو، ۲۰۰۵). در حالی‌که سلنیوم با تأثیر مثبت بر سنتز کلروفیل، تثبیت کربن، سنتز و هیدرولیز نشاسته و تحریک تقسیم سلولی در سلول‌های مریستمی می‌تواند از کاهش اندازه برگ و ارتفاع گیاه جلوگیری کند (صفارزاده و همکاران، ۲۰۱۲). سلنیوم رشد گیاه را از طریق تنظیم و تقویت مکانیسم‌های تحمل به تنش (مانند متابولیسم آنتی‌اکسیدان‌ها و متابولیت‌های ثانویه) کنترل می‌کند (الکلیش و همکاران، ۲۰۱۹). برخلاف سلنیوم، کاهش وزن تر برگ و گیاه تحت تنش کم آبی کاهش میزان عملکرد بیولوژیک را در پی داشت (جدول ۲) که توسط ناواز و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش شده است. تحقیقات نشان داده است که تنش اکسیداتیو در شرایط کمبود آب با تأثیر بر ترکیبات سلولی مانند کربوهیدرات‌ها، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها باعث کاهش رشد گیاه، تنفس و فتوسنتز می‌شود (همتی و همکاران، ۲۰۱۹). در تحقیق حاضر نیز تنش کم آبی باعث کاهش رشد رویشی و عملکرد بذر شد که این می‌تواند به معنی سازگاری بالای این گیاه به شرایط تنش رطوبتی باشد. تحت شرایط تنش کم آبی محلول‌پاشی سلنیوم اثر معنی‌داری بر عملکرد بذر کلزا داشت (همتی و همکاران، ۲۰۱۹).

خصوصیات فیزیولوژی بالنگوی شهری

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، تنش کم آبی و سلنیوم اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک

www.SID.ir

Archive of SID

درصد بر میزان پرولین، قند محلول کل، پروتئین کل، فنول کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای آب برگ بالنگوی شهری داشتند. اثر متقابل بین تنش کم آبی و سلنیوم بر میزان پرولین (در سطح احتمال پنج درصد) و فنول کل (در سطح احتمال یک درصد) معنی‌دار بود (جدول ۳). طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ٤)، با افزایش سطح تنش کم آبی میزان قند محلول کل نسبت به شاهد افزایش نشان داد. در حالی‌که تنش کم آبی تأثیر منفی بر میزان پروتئین کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی داشت و میزان پروتئین کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در بالاترین سطح تنش (۷۵٪ تنش کم آبی) تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشت. سلنیوم میزان قند محلول کل، پروتئین کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برگ بالنگوی شهری را افزایش داد. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان قند محلول کل، پروتئین کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برگ بالنگوی شهری به ترتیب در تیمارهای ۱۰ و صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم مشاهده شد. با افزایش سطح سلنیوم محتوای نسبی آب برگ نیز افزایش نشان داد. کم‌ترین میزان محتوای نسبی آب برگ در تیمار صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم بود و بیش‌ترین میزان آن در تیمار ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم مشاهده شد (جدول ٤).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل بین تنش کم آبی و سلنیوم بر میزان پرولین برگ بالنگوی شهری (شکل ۳)، در هر چهار سطح تنش کم آبی با افزایش غلظت سلنیوم میزان پرولین برگ افزایش یافت. در حالی‌که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در هر چهار سطح تنش کم آبی مشاهده نشد که می‌تواند بیانگر نقش بیشتر سلنیوم در افزایش غلظت پرولین باشد.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ٤)، بیش‌ترین میزان فنول کل برگ (۰/۸۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار ۷۵٪ تنش کم آبی همراه با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با ۵۰ ٪ تنش کم آبی همراه با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم نداشت. کم‌ترین میزان فنول کل در تیمار بدون تنش و صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم بود که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ تنش کم آبی همراه با صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم نداشت. با توجه به نتایج اثر متقابل بین تنش کم آبی و سلنیوم در هر چهار سطح تنش کم آبی با افزایش غلظت سلنیوم میزان فنول کل برگ افزایش نشان داد (شکل ٤). در تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری بین سطوح صفر و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم وجود داشت. در تیمارهای ۲۵ ٪، ۵۰ ٪ و ۷۵ ٪ تنش کم آبی بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فنول کل به‌ترتیب در تیمارهای ۱۰ و صفر میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم بود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف تنش کم آبی، سلنیوم و اثر متقابل بین دو فاکتور بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده بالنگوی شهری

		میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	پرولین	قند محلول کل	پروتئین کل	فنول کل	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی	محتوای نسبی آب برگ
تنش کم آبی	۳	۰/۰۲۳۰**	۰/۲۳۱۸**	۰/۰۱۵۸**	۰/۱۳۶۰**	۰/۰۲۵۶**	۱۱/۹۷**
سلنات‌سدیم	۲	۰/۳۵۲۳**	۱۲/۰۰**	۰/۱۳۷۶**	۰/۶۷۰۶**	۰/۰۸۷۳**	۱۹/۶۷**
تنش کم آبی ×سلنات‌سدیم	۶	۰/۰۱۴۷*	۰/۰۰۰۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۹۹^{ns}	۰/۰۳۴۴۶**	۰/۰۰۳۳^{ns}	۰/۵۱۵^{ns}
خطا آزمایشی	۲۴	۰/۰۰۴۲۶	۰/۰۳۹۳	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۱۷۲	۰/۳۲۱
ضریب تغییرات	–	۹/۲۸	۱۲/۷۵	۲۴/۶۲	۱۸/۸۷	۳۵/۹۰	۰/۸۸

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

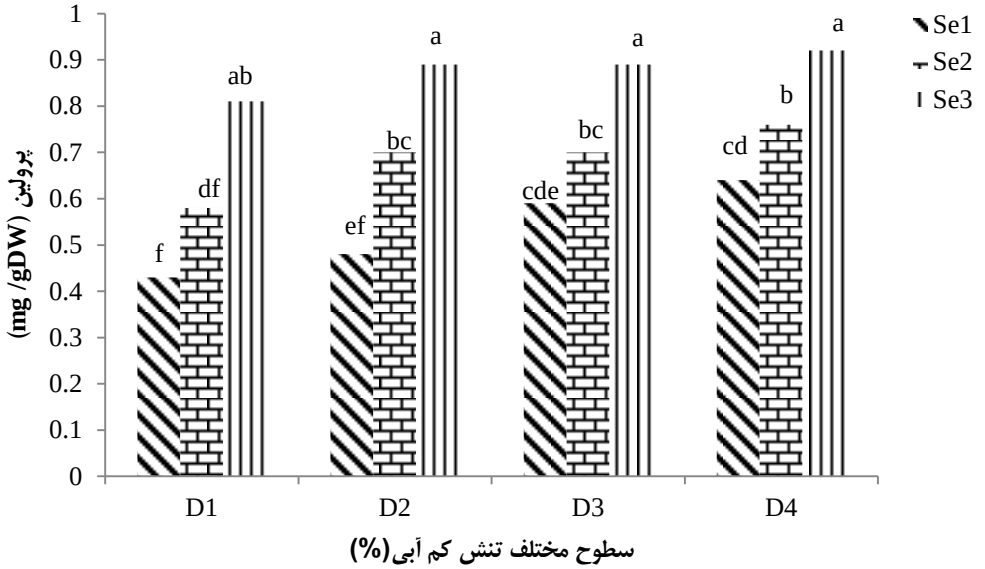
جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف تنش کم آبی و سلنات‌سدیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی برگ بالنگوی شهری

تیمارها	قند محلول کل (mg/gDW)	پروتئین کل (mg/gDW)	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (٪)	محتوای نسبی آب برگ (٪)
تنش کم آبی (٪)				
بدون تنش کم آبی	۱/۳۸^{b}	۰/۲۳^{a}	۰/۹۰^{a}	۶۵/۲۰^{a}
٪۲۵	۱/۴۵^{b}	۰/۱۹a^{b}	۰/۶۵^{b}	۶۴/۴۳^{b}
٪۵۰	۱/۶۶^{a}	۰/۱۷b^{c}	۰/۱۸^{bc}	۶۲/۹۳^{c}
٪۷۵	۱/۷۱^{a}	۰/۱۳^{c}	۰/۱۱^{c}	۶۲/۸۵^{c}
سلنات‌سدیم (میلی‌گرم بر لیتر)				
صفر	۰/۵۵^{c}	۰/۰۷^{c}	۰/۰۴^{c}	۶۲/۵۴ ^{c}
۵	۱/۵۵^{b}	۰/۱۸^{b}	۰/۰۸^{b}	۶۳/۹۲^{b}
۱۰	۲/۵۵^{a}	۰/۲۸^{a}	۰/۲۱^{a}	۶۵/۱۰^{a}

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

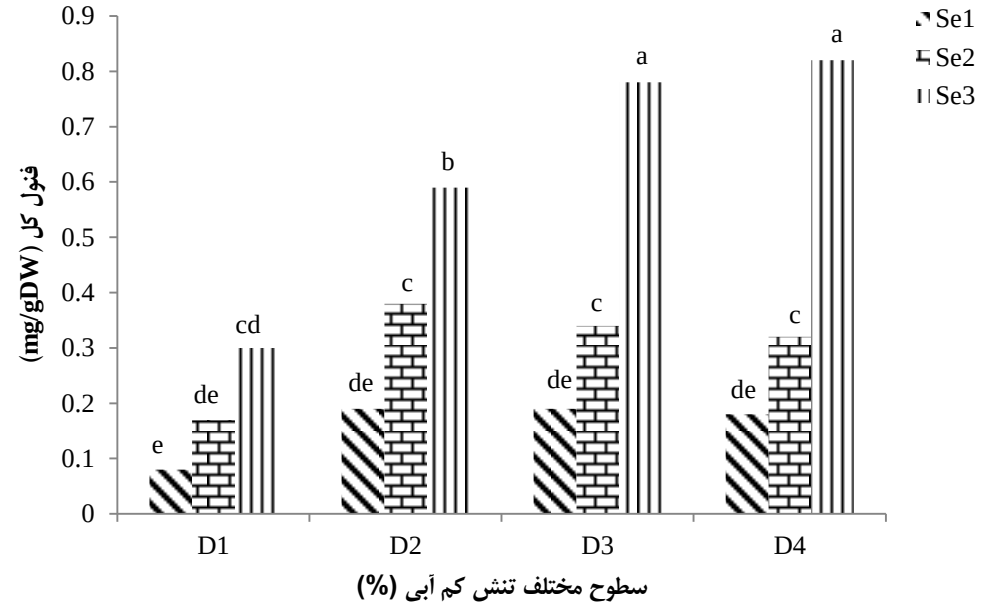
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل بین تنش کم آبی و سلنات سدیم بر پرولین برگ بالنگوی شهری

D_1، D_2، D_3 و D_4 به‌ترتیب: بدون تنش کم آبی، ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ تنش کم آبی و Se_1، Se_2 و Se_3 به‌ترتیب: صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل بین تنش کم آبی و سلنات سدیم بر فنول کل برگ دانهال بالنگوی شهری

D_1، D_2، D_3 و D_4 به‌ترتیب: بدون تنش کم آبی، ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ تنش کم آبی و Se_1، Se_2 و Se_3 به‌ترتیب: صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات‌سدیم

وقتی گیاه با تنش‌های مختلف مواجه می‌شود فعالیت آنتی‌اکسیدانی جهت کاهش رادیکال‌های آزاد که برای رشد گیاه مطلوب نیستند مانند سوپراکسید و پراکسید افزایش می‌یابد (رحیم‌زاده و همکاران، ۲۰۰۷)؛ بنابراین، تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مفید برای پاسخ گیاهان به تنش مورد استفاده قرار گیرد (ساجدی و همکاران، ۲۰۱۱). با افزایش سطح سلنات سدیم میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی برگ بالنگوی شهری افزایش یافت که بیانگر نقش مثبت سلنیوم در غلظت مناسب (۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم) بر میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی است (جدول ٤). تحت تنش کم آبی، محلول‌پاشی برگی سلنیوم به‌طور معنی‌داری میزان

www.SID.ir

Archive of SID

پرولین و فنول کل برگ بالنگوی شهری را بهبود بخشید (شکل‌های ۳ و ٤). طبق نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین میزان پرولین در هر چهار سطح تنش، در بالاترین غلظت سلنیوم (۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم) مشاهده گردید که بیانگر نقش مثبت سلنیوم بر میزان سنتز پرولین تحت شرایط تنش کم آبی می‌باشد. در شرایط تنش سلنیوم با تعدیل فعالیت γ گلوتامیل کیناز (γ-GK) و پرولین اکسیداز (PROX) بر متابولیسم پرولین تأثیرگذار است و منجر به سنتز بیشتر و تخریب کمتر آن می‌شود (الکلیش و همکاران، ۲۰۱۹). گائو و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که افزایش تجمع پرولین منجر به افزایش راندمان فتوسنتز و تولید ATP می‌شود، درنتیجه راندمان مصرف آب افزایش می‌یابد. افزایش میزان پرولین در محلول‌پاشی سلنیوم با افزایش میزان محتوای نسبی آب برگ و میزان قند همراه بود، محتوای نسبی آب برگ کافی از کاهش فتوسنتز و تخریب پروتئین‌ها جلوگیری می‌کند (احیجر و همکاران، ۲۰۱۷). افزایش میزان پروتئین‌های محلول با افزایش غلظت سلنیوم می‌تواند به افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز مرتبط باشد (ناواز و همکاران، ۲۰۱۵). در حالی‌که همراه با افزایش سطوح تنش میزان پروتئین محلول برگ بالنگوی شهری کاهش نشان داد (جدول ٤) که با افزایش میزان پرولین در این شرایط قابل توجیه می‌باشد (شکل ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده، غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم تأثیر مثبتی بر وزن تر گیاه و عملکرد بیولوژیکی بالنگوی شهری داشت که احتمالاً با نقش آنتی‌اکسیدانی سلنیوم همراه است. تحت شرایط تنش کم آبی، سلنیوم میزان پرولین و فنول کل را افزایش داد که افزایش این اسمولیت‌های سازگار نقش مهمی در تحمل بالنگوی شهری به تنش کم آبی داشت. تنش کم آبی میزان محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد (جدول ٤). محتوای نسبی آب برگ به‌عنوان شاخص وضعیت آب در گیاهان، تعادل بین ذخیره‌ی آب به بافت برگ و میزان تعرق را منعکس می‌کند، درنتیجه بین محتوای نسبی آب برگ و کاهش عملکرد نسبی ارتباط معنی‌داری وجود دارد (همتی و همکاران، ۲۰۱۹). در گیاه شبدر سفید (*Trifolium repens*) نقش مثبت سلنیوم در افزایش محتوای نسبی آب برگ توسط وانگ (۲۰۱۱) نیز گزارش شده است، در این تحقیق میزان محتوای نسبی آب برگ در گیاهان محلول‌پاشی شده با سلنیوم و تحت تیمار تنش کم آبی بیشتر از گیاهان شاهد بود (جدول ٤).

نتیجه‌گیری

مطالعه‌ی حاضر نشان داد که کاربرد سلنیوم در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم نقش مؤثری در کاهش اثرات مضر تنش کم آبی بر رشد و صفات بیوشیمایی بالنگوی شهری داشت. تحت شرایط تنش کم آبی سلنیوم ارتفاع گیاه را افزایش داد و متابولیسم اسمولیت‌ها (پرولین و قند محلول کل) و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (فنول کل) را تنظیم کرد. در نتیجه استفاده از سلنیوم در غلظت کم ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی مهم برای بهبود رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی بالنگوی شهری تحت تنش کم آبی باشد.

فهرست منابع

۱. آزاد م، رستمی م، قبولی م و موحدی ز، ۱۳۹۷. برهمکنش تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیک بالنگو (*Lallemantia iberica*). مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)، ۲ (۳۱): ۱-۱۳.

۲. اردلانی ش، جلالی هندمند س، قبادی ما و عبدلی م، ۱۳۹٤. اثر تنش خشکی پس از گرده افشانی بر برخی صفات زراعی و فیزیولوژیک مرتبط با قدرت منبع در چهار ژنوتیپ گندم نان. تحقیقات غلات، ۵(۱): ٦۵-٤۵

www.SID.ir

Archive of SID

٣. داوری‌نژاد غ ح، شیربانی س و زراعی م، ١٣٩٤. اثر رژیم‌های کم آبیاری روی برخی از خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی چهار رقم انجیر. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ٢٩(٤): ٥١٧-٥٠١.

٤. محبی ش، بابالار م، زمانی ذ، عسکری سرچشمه م ع، ١٣٩٨. تأثیر محلول‌پاشی تاج درخت با سدیم سلنات بر غنی سازی زیستی سلنیوم و حفظ کیفیت میوه سیب ' استارکینگ دلیشس' در طول دوره انبارمانی. علوم باغبانی ایران،٥٠(٣): ٥١٤-٥٠١.

٥. مصطفوی ر و جلیلیان ج، ١٣٩٨. بررسی تغییرات عملکرد، خصوصیات فیزیولوژیک و کیفیت بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*) تحت تأثیر کودهای شیمیایی، زیستی-آلی و دفعات آبیاری. زراعت دیم ایران، ٨(١): ١٩-١.

٦. مظفری س، خراسانی نژاد س و گرگینی شبانکاره ح، ١٣٩٥. اثر مقادیر آبیاری بر اساس درصد ظرفیت زراعی و کاربرد اسید هیومیک بر برخی (*Portulaca oleracea* L.) ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه دارویی خرفه. نشریه تولید گیاهان زراعی، ٩(٣): ١٧٥-١٥٣.

٧. شیخی سنندجی د و پیرزاد ع ر. ١٣٩٨. مطالعه پاسخ اکوفیزیولوژیک بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica* L.) در شرایط دیم به کاربرد خارجی تنظیم کننده‌های اسمزی. بوم شناسی کشاورزی، ١١(٣): ١١٠٥-١١٢١.

٨. شیخی سنندجی د و پیرزاد ع ر، ١٣٩٨. ارزیابی محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و سیلیسیم بر خصوصیات زراعی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بالنگوی شهری در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی. زراعت دیم، ٨ (١): ٢١-٤٢.

9. Ahanger MA, Tomar NS, Tittal M, Argal S and Agarwal RM, 2017. Plant growth under water/salt stress: ROS production; antioxidants and significance of added potassium under such conditions. Physiology and Molecular Biology of Plants 23(4): 731–744.
10. Ahmad R, Waraich E A, Nawaz F, Ashraf MY and Khalid M, 2016. Selenium (Se) improves drought tolerance in crop plants–a myth or fact? Journal of the Science of Food and Agriculture 96(2): 372-380.
11. Amanzadeh YN, Khosravi Dehaghi AR, Gohari HR, Monsef-Esfehani S.E and Sadat Ebrahimi SE, 2011. Antioxidant activity of essential oil of *Lallemantia iberica* in flowering stage and post-flowering stage. Tehran University of Medical Sciences. Research Journal of Biological Sciences 6(3): 114-117.
12. Bhatt RM and Srinivasa-Rao NK, 2005. Influence of pod load on response of okra to water stress. Indian Journal Plant Physiology10: 54-59.
13. Bradford MM, 1976. Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.
14. Chu J, Yao Xand Zhang Z, 2010. Responses of wheat seedlings to exogenous selenium supply under cold stress. Biol. Biological Trace Element Research 136: 355–363.
15. D'Abrosca B, Pacifico S, Cefarelli G, Mastellone C and Fiorentino A, 2007. Limoncella apple, an Italian apple cultivar: phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity. Food Chemistry 104: 1333-1337.
16. Deepak SB, Thakur A, Singh S, Bakshi M and Bansal S, 2019. Changes in crop physiology under drought stress: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 8(4): 1251-1253.
17. Degu HD, Ohta M, and Fujimura T, 2008. Drought tolerance of Eragrostis tef and development of roots. International Journal of Plant Sciences 169: 768–775.
18. Del Buono D, Ioli G, Nasini L and Proietti P, 2011. A comparative study on the interference of two herbicides in wheat and Italian ryegrass and on their antioxidant activities and detoxification rates. Journal of Agricultural and Food Chemistry 59: 12109–12115.

www.SID.ir

Archive of SID

19. Djanaguiraman M, Prasad PVV and Seppänen M, 2010. Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defense system. Plant Physiology and Biochemistry 48: 999–1007.
20. Du Y, Zhao Q, Chen L, Yao X, ZhangW, Zhang Band Xie F, 2020. Effect of drought stress on sugar metabolism in leaves and roots of soybean seedlings. Plant Physiology and Biochemistry 146: 1-12.
21. Elkelish AA, Soliman MH, Alhaithloul HA and El-Esawi MA, 2019. Selenium protects wheat seedlings against salt stress-mediated oxidative damage by up-regulating antioxidants and osmolytes metabolism. Plant Physiology and Biochemistry 137:144-153.
22. Guo CY, Wang XZ, Chen L, Ma LN and Wang RZ, 2015. Physiological and biochemical responses to saline-alkaline stress in two halophytic grass species with different photosynthetic pathways. Photosynthetica 53(1): 128–135.
23. Habibi G, 2013. Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. Acta agriculturae Slovenica 101(1):31–39.
24. Hasanuzzaman M and Fujita M, 2011. Selenium pretreatment up-regulates the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system and confers enhanced tolerance to drought stress in rapeseed seedlings. Biological Trace Element Research 143: 1758–1776.
25. Hasanuzzaman M, Hossain MA and Fujita M, 2010. Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. Journal of Plant Sciences 5: 354–375.
26. Hawrylak-Nowak B, 2009. Beneficial effects of exogenous selenium in cucumber seedlings subjected to salt stress. Biological Trace Element Research 132: 259–269.
27. Hemmati M, Delkhosh B, Shirani Rad AH and Noor Mohammadi G, 2019. Effect of the application of foliar selenium on canola cultivars as influenced by different irrigation regimes. Journal of Aricultural Sciences 25: 309-318.
28. Irigoyen JJ, Emerrich DW and Sanchez–Diaz M, 1992. Water stress induction changes in concentrations of praline and total sugars in nodulated alfalfa. Plant Physiology 84: 55–60.
29. Jaleel CA, Manivannan P, Lakshmanan GMA, Gomathinayagam M and Panneerselvam R, 2008. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of Catharanthusroseus under soil water deficits. Colloids Surf. B: Biointerfaces 61: 298-303.
30. Kuznetsov VV, Kholodova V, Kuznetsov VV and Yagodin B, 2003. Selenium Regulates the Water Status of Plants Exposed to Drought. Doklady Biological Sciences 390: 266–268.
31. Moreno-Galvan AE, Cortes-Patino S, Romero-Perdomo F, Uribe-Velez D, Bashan Y and Bonilla RR, 2020. Proline accumulation and glutathione reductase activity induced by drought-tolerant rhizobacteria as potential mechanisms to alleviate drought stress in Guinea grass. Applied Soil Ecology 147, 103367.
32. Motesharezadeh B, Ghorbani S and Alikhani HA, 2019. The effect of selenium biofortification in alfalfa (*Medicago sativa*). Journal of Plant Nutrition. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1676900.
33. Motesharezadeh B, Ghorbani S, Alikhani HA, Fatemi R and Ma Q, 2020. Investigation of Different Selenium Sources and Supplying Methods for Selenium Enrichment of Basil vegetable (A Case Study under Calcareous and Non-Calcareous Soil Systems). Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture. DOI: 10.2174/2212798411666200611101032
34. Murphy LA, Reeves PG and Jones SS, 2014. Selenium and quality characteristics expressed in wheat breeding lines. Food Systemic Journal 32: 52-63.
35. Nawaz F, Ahmad R, Ashraf MY, Waraich EA and Khan SZ, 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.

www.SID.ir

Archive of SID

36. Nawaz F, Ashraf MY, Ahmad R and Waraich EA, 2013. Selenium (Se) seed priming induced growth and biochemical changes in wheat under water deficit conditions. Biological Trace Element Research 151: 284–293.
37. Paciolla C, Leonardis S and Dipierro S, 2011. Effects of selenite and selenate on the antioxidant systems in *Senecio scandens L*. Plant Biosystology 145: 253-259.
38. Paquin R and Lechasseur P, 1979. Observation sur une method de dosage de la proline libre Dans les extrats deplants. Canadian Journal of Botany 75: 1851-1854.
39. Rahimizadeh M, Habibi D, Madani H, Mohammadi GN, Mehraban A and Sabet AM, 2007. The effect of micronutrients on antioxidant enzymes metabolism in sunflower (*Helianthus annus* L.) under drought stress. Helia, 30(47): 167-174.
40. Safaryazdi A., Lahoti M and ganjali A, 2012. Effect of different concentrations of selenium on plant physiological characteristics of spinach (*Spinacia oleraceae*). Journal of Horticultural Science 26(3): 292-300.
41. Sajedi NA, Ardakani MR, Madani H, Naderi A and Miransari M, 2011. The effects of selenium and other micronutrients on the antioxidant activities and yield of corn (*Zea mays* L.) under drought stress. Physiology and Molecular Biology of Plants 17(3): 215-222.
42. Schonfeld MA, Johnson RC, Carwer BF and Mornhinweg DW, 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Science 28: 526-531.
43. Seppänen MM, Kontturi J, Madrid J and Hartikainen H, 2015. Agronomic biofortification of wheat with selenium enrichment and its identification in Brassica seeds and meal. Plant Soil 340: 501-510.
44. Singleton VL and Rossi JA, 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology Viticulture 16: 144–153.
45. Spadoni M, Voltaggio M, Carcea M, Coni E, Raggi A and Cubadda F, 2007. Bioaccessible selenium in Italian agricultural soils: comparison of biogeochemical and pedoclimatic variables. Science of Total Environment 376: 160–177.
46. Srivastava M, Ma LQ, Rathinasabapathi Band Srivastata P, 2009. Effects of selenium on arsenic uptake in arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. Bioresource Technology 100: 1115-1121.
47. Sun HW, Ha J, Liang SX and Kang WJ, 2010. Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis 41: 1195–1204.
48. Wang CQ, 2011. Water-stress mitigation by selenium in *Trifolium repens* L. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 174(2): 276–282.
49. Yao X, Chu J and Wang G, 2009. Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress. Biological Trace Element Research 130: 283–290.
50. Zhang Z, Gao S and Shan C, 2020. Effects of sodium selenite on the antioxidant capacity and the fruit yield and quality of strawberry under cadmium stress. Scientia Horticulturae 260: 108876.

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of Different Concentrations of Selenium on Some Morphological and Physiological Characteristics of Dragons Head (*Lallemantia iberica*) under Different Irrigation Regimes

M. Amerian[1] , A.R. Zebarjadi , and J.A. Mehrabi

Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.
Masoomehamerian@yahoo.com

Associate Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.
zebarjadiali@yahoo.com

Undergraduate Plant Production-Medicinal and Aromatic plant, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.
j.mehrabi2017@yahoo.com

Received: May 2020, and Accepted: September 2020

Abstract

Drought is one of the major constraints on agricultural productivity worldwide. Selenium plays an important role in plants tolerance to environmental stresses by increasing the levels of antioxidant enzymes and compounds. In order to investigate the effect of selenium on some growth and physiological characteristics of the Dragons head (*Lallemantia iberica*), a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications in greenhouse conditions. Treatments included different levels of drought stress (100%, 75%, 50% and 25% field capacity) and different concentrations of selenium (0, 5 and 10 $mg.L^{-1}$ sodium selenate). Foliar application of sodium selenate was performed in two stages. According to the results, drought stress had a negative effect on fresh and dry weight leaf and yield. But, under drought stress conditions, foliar selenium caused a significant increase in plant height (32.2 cm), proline (0.92 mg/g DW), and total phenol (0.82 mg/g DW) content. Increase in selenium concentration increased Dragons head physiological properties: relative leaf water content (65.10 %), total soluble sugar (2.55 mg/g DW), soluble protein (0.289 mg/g DW), and antioxidant activity (0.21 %). Concentration of 10 $mg.L^{-1}$ sodium selenate had a positive effect on plant fresh weight and biological yield of Dragons head, which was probably associated with the antioxidant role of selenium. Under drought stress, selenium increased the amount of proline and total phenol, which increased these adaptation osmolytes and had an important role in the drought tolerance of Dragons head.

Keywords: Sodium selenate, Antioxidant, Drought stress, Total phenol, Proline

1 - Corresponding author: Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Razi University, Kermanshah.

www.SID.ir