جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

ISSN: 2008 - 4730 دانشگاه فردوسی مشهد شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

تأثیر غلظت های مختلف سلنیوم بر ویژگی های مورفوفیزیولوژیکی گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea* L.)

آزاده صفاریزدی[۱*] – مهرداد لاهوتی[۲] – علی گنجعلی[۳]

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۲

چکیده

سلنیوم (Se) یک عنصر شبه فلز است که خصوصیات آنتی اکسیدانی آن برای انسان، حیوانات و گیاهان تایید شده است. برخی از گیاهان به عنوان گیاهان انباشته کننده این عنصر معرفی شده‌اند و در تعداد اندکی نیز سلنیوم به عنوان عنصری سودمند در رشد آن ها شناخته شده است. تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر غلظت های مختلف سلنیوم بر رشد و خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی گیاه اسفناج در شرایط کنترل شده انجام شد. جوانه‌زنی بذرهای اسفناج در ژرمیناتور انجام گرفت و نشاءهای گیاهی به محلول غذایی هوگلند حاوی غلظت های SeO_3^{-2} ۰، ۱، ۲، ۴، ۶ و ۱۰ mgL^{-1} انتقال یافتند. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. چهار هفته پس از اعمال تیمارها، خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی شامل بیوماس، طول ریشه و بخش هوایی، تعداد برگ و مقدار کلروفیل مورد سنجش قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که سطوح مختلف غلظت سلنیوم، تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ریشه و اندام هوایی شامل وزن خشک و تر ریشه و اندام هوایی، مقدار کلروفیل و همچنین طول ریشه و طول بخش هوایی داشت. در این آزمایش با افزایش غلظت سلنیوم (به استثنا غلظت SeO_3^{-2} ۱ mgL^{-1} سلنیوم)، مقدار کمّی تمامی صفات مورد مطالعه به صورت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش یافتند. علائم مورفولوژی سمّیت سلنیوم به صورت کلروز برگ‌های جوان و کاهش رشد بخش هوایی و ریشه مشاهده شد.

واژه های کلیدی: کشت هیدروپونیک، سلنیوم، *Spinacia oleracea*

مقدمه

سلنیوم یک عنصر شبه فلز و در گروه ششم جدول تناوبی قرار دارد و به دلیل نزدیکی با گوگرد خواصی مشابه با این عنصر دارد (۱۳). خصوصیات آنتی اکسیدانی سلنیوم برای انسان، حیوانات و گیاهان به اثبات رسیده است. بررسی ها موید این است که سلنیوم بخش مهمی از ساختار آنزیم های آنتی اکسیدان می باشد. به طور کلی سلنیوم یک عنصر ضروری برای ۳۰ سلنوآنزیم و سلنوپروتئین است و بخش مهمّی از ساختار آنزیم هایی است که از سلول ها در برابر رادیکال های آزاد محافظت می کنند. همچنین الحاق سلنیوم به پروتئین ها، از بافت ها و غشاها در برابر آسیب اکسیداتیو محافظت می کند (۳۴ و ۳۵). برخی گیاهان سلنیوم بیشتری را در بافت های خود ذخیره می کنند که از جمله این گیاهان پیاز، اسفناج، خردل هندی (۵، ۷ و ۳۹)، سیر و تره فرنگی می باشد (۱۲). این گیاهان انباشت کننده سلنیوم نام دارند. اما اکثر گیاهان غیر انباشت کننده سلنیوم می باشند (۲۳). تحقیقات اخیر نشان داده است که مقدار سلنیوم در اسفناج و خردل بیشتر از غلظت پیشنهاد شده برای سلامت انسان است و این دو گیاه می توانند منابع خوبی از این عنصر حیاتی برای انسان باشند (۳۱). گیاه اسفناج خوراکی (*Spinacia oleracea* L.) یکی از گیاهان مهم خانواده Chenopodiaceae و در زمره گیاهان دارویی و خوراکی است. این گیاه غنی از ویتامین‌ها، ترکیبات آنتی اکسیدان (فلاونوئیدها و ...) و عناصر ضروری (از جمله آهن و سلنیوم) است و می تواند منبع خوبی از این عنصر آنتی اکسیدان باشد (۸). اگرچه سلنیوم یک عنصر ضروری برای انسان است ولی برای گیاهان ضروری نبوده و حتی سمّی می باشد. اما با این وجود غلظت‌های پایین سلنیوم اثرات سودمندی بر متابولیسم سلول های گیاهی دارد و جذب برخی یون ها را تنظیم می کند. تیمار گیاهان با سلنیوم موجب افزایش میزان آنزیم های جاروب کننده H_2O_2 (به ویژه آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون پراکسیداز) و ترکیبات آنتی

۱،۲و۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، استاد و استادیار گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: az.saffar.yazdy@gmail.com)

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

اکسیدان (مانند آسکوربات، پرولین و گلوتاتیون) شده است (۱۷، ۲۳ و ۲۴) و به همین دلیل است که سلنیوم میزان H_2O_2 را در گیاهان کاهش می دهد (۲۹). همچنین سلنیوم فعالیت آنزیم های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز را افزایش داده، موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدها می شود (۱۷ و ۲۲). بررسی ها نشان داده است که خاک برخی از مناطق زمین (مانند اروپای شمالی) با کمبود سلنیوم مواجه هستند (۱۴ و ۳۸). اما مناطقی از زمین (مانند نواحی آتشفشانی) نیز وجود دارد که حاوی مقادیر زیادی از این عنصر می باشند (۳۲)، بنابراین گیاهان و جانورانی که از این گیاهان تغذیه می کنند دچار مسمومیت ناشی از این عنصر می شوند. امروزه سعی می شود که با استفاده از گیاه پالایی، میزان سلنیوم این خاک ها را کاهش دهند (۶). عنصر سلنیوم در غلظت های پایین اثر سمی بر گیاه ندارد ولی در سطوح بالا سمی است. به تازگی اثر محرک غلظت کم سلنیوم روی رشد گیاه گزارش شده است. ولی اثرات سمی مقدار زیاد این عنصر که سبب زردی و توقف رشد می شود بیشتر شناخته شده است. علائم ناشی از سمیت سلنیوم در گیاهان شامل زردی، خشکیدگی و پژمردگی برگ ها، کاهش رشد گیاه، کاهش سنتز پروتئین و مرگ پیش از بلوغ گیاه است (۳۴). سلنیوم در واکنش های مختلف (مانند ورود به اسیدهای آمینه) جایگزین گوگرد می شود. تفاوت در اندازه و میزان یونیزاسیون اتم های گوگرد و سلنیوم، منجر به تغییرات واضحی در ساختار پروتئین های حاوی این اسیدهای آمینه (به ویژه آنزیم ها) می شود. باند بین دو اتم سلنیوم بلندتر و ضعیفتر از باند دی سولفید است. به همین دلیل ورود سلنوسیستئین به پروتئین ها موجب تغییر در ساختار سوم آن ها شده، تاثیر منفی بر فعالیت کاتالیتیکی آنزیم ها و در نتیجه رشد گیاه می گذارد (۳۰ و ۳۴). در سطوح بالای سلنیوم، این عنصر در ترکیبات مختلف (مانند اسیدهای آمینه و کوآنزیم‌ها) جانشین گوگرد می‌شود و احتمالاً به همین دلیل است که علائم ناشی از سمّیت سلنیوم، مشابه علائم کمبود گوگرد در گیاهان است (۳). سمّیت ناشی از غلظت‌های بالای سلنیوم از یک سو و ضرورت وجود آن برای رشد انسان از سویی دیگر، نشان دهنده اهمیت شناخت علائم مسمومیت این عنصر در گیاه و همچنین اطلاع از میزان جذب آن توسط گیاهانی است که در غلظت‌های مختلف سلنیوم رشد داده شده‌اند. بعلاوه مطالعه تاثیر سلنیوم بر روی صفات و خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و آستانه تحمل گیاهان نسبت به غلظت‌های مختلف این عنصر در شرایط کنترل شده، می‌تواند در بهبود کیفیت گیاهان و محصولات زراعی و افزایش بازده آن ها از لحاظ محصول دهی موثر باشد. با توجه به موارد اشاره شده، هدف از این پروژه بررسی اثر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه اسفناج در شرایط کنترل شده می‌باشد.

مواد و روش ها

به منظور بررسی تاثیر سلنیوم بر میزان رشد و مقدار کلروفیل گیاه اسفناج، آزمایشی به صورت طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. ابتدا بذرهای گیاه اسفناج در هیپوکلریت سدیم ۰/۵٪ به مدت ۲ دقیقه ضدعفونی و با آب مقطر استریل سه بار شستشو داده شدند. سپس بذرها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر استریل خیسانده شدند. جوانه زنی بذور بر روی کاغذ صافی مرطوب، در داخل ژرميناتور و در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد انجام شد. بعد از جوانه زنی، دانه رست‌ها را در روشنایی قرار داده و پس از ۱۰ روز، دانه رست هایی که به اندازه کافی رشد کرده بودند، به محیط کشت هیدروپونیک حاوی محلول غذایی هوگلند کامل منتقل گردیدند. هر گلدان ۱/۵ لیتری که در آن مرتب عمل هوادهی انجام می شد و حاوی ۴ گیاهچه بود به عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد (۴). پس از گذشت یک هفته و سازگاری نسبی دانه رست ها به شرایط هیدروپونیک، غلظت‌های مختلف سلنیت سدیم SeO_3^{-2} mgL^{-1} ۰،۱،۲،۴،۶ و ۱۰ به محیط رشد اضافه شد. ابتدا در هر گلدان ده دانه رست قرار داده شد که پس از اطمینان از رشد آن ها به چهار دانه رست تقلیل یافت. در این آزمایش صفات مورفوفیزیولوژیکی شامل طول ریشه و اندام هوایی و وزن خشک ریشه و اندام هوایی پس از ۲۸ روز تعیین شد. ارتفاع گیاه به وسیله خط کش اندازه گیری شد و برای تعیین وزن تر از ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. به منظور تعیین وزن خشک، پس از تفکیک بخش هوایی و ریشه در آون ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و سپس وزن خشک آن ها با ترازو اندازه گیری شد. مقدار کلروفیل بخش هوایی با استفاده از روش آرنون محاسبه گردید (۲۵). تجزیه و تحلیل داده ها نیز با استفاده از نرم افزار Mstat-C انجام شد و نمودارها با نرم افزار Excel ترسیم شدند. برای مقایسه میانگین داده ها از آزمون چند دامنه ای دانکن ($P\leq 0.05$) استفاده شد.

نتایج و بحث

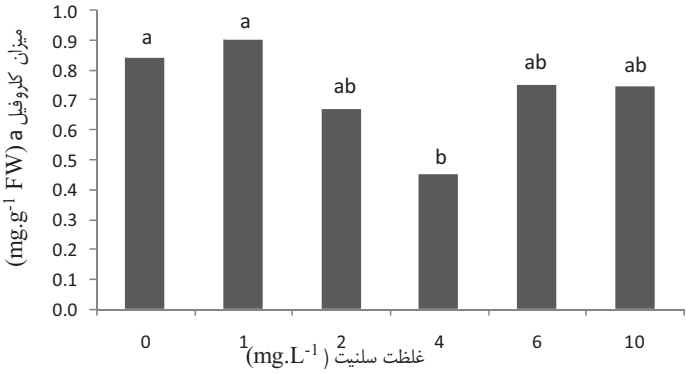
اثر سلنیوم بر میزان کلروفیل برگ

نتایج حاصل از مقایسه میانگین ها نشان داد که با افزایش غلظت سلنیوم، میزان کلروفیل برگ ها ابتدا افزایش، سپس در غلظت SeO_3^{-2} mgL^{-1} ۴ کاهش یافت. کاهش کلروفیل a در غلظت SeO_3^{-2} mgL^{-1} ۴ نسبت به تیمار شاهد و غلظت SeO_3^{-2} mgL^{-1} ۱ معنی دار بود. ولی تفاوت معنی داری با سایر غلظت های سلنیوم نداشت (شکل ۱). مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که سلنیوم تاثیر معنی داری ($p \leq 0.05$) بر میزان کلروفیل b و کلروفیل کل

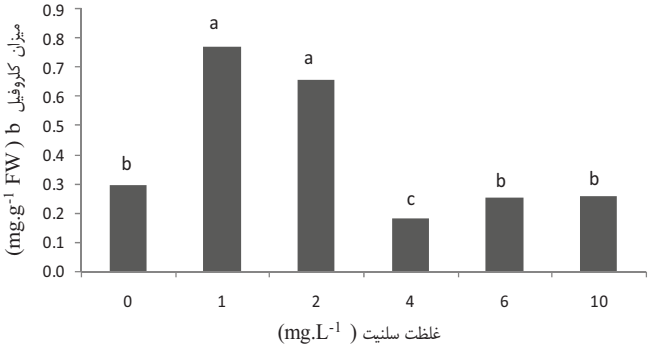
جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

برگ داشت. در مورد کلروفیل b، مقدار این رنگیزه در غلظت ۴ mgL^{-1} SeO_3^{-2} نسبت به غلظت های mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۰،۱و۲ کاهش معنی داری داشت. مقدار کلروفیل در سطوح mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۶ و ۱۰ نسبت به غلظت mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۴ افزایش معنی داری داشت. همچنین میزان کلروفیل b در سطح mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۱و۲ افزایش معنی داری نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۲). مقدار کلروفیل کل برگ نیز در سطح mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۴ نسبت به تمامی سطوح سلنیوم کاهش معنی داری داشت. اما در سطح mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۱، مقدار کلروفیل کل برگ نسبت به شاهد افزایش معنی داری داشت. همچنین مقدار کلروفیل کل برگ در سطوح mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۶ و ۱۰ نسبت به غلظت mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۴ افزایش معنی داری نشان داد (شکل ۳). نسبت کلروفیل a/b فقط در غلظت mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۴ نسبت به غلظت های mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۱و۲ افزایش معنی داری داشت (شکل ۴). به نظر می رسد کاهش میزان کلروفیل در سطوح mgL-1 SeO3-2 ۶ و ۱۰ احتمالاً به دلیل کاهش سطح پهنک برگ و افزایش تراکم کلروفیل a، b و کل در واحد سطح برگ می باشد. بررسی های انجام یافته در زمینه تاثیر سلنیوم بر مقدار کلروفیل گیاهان دیگر (مانند لوبیا و کاهو) و جلبک کلرلا نیز موید نتایج ذکر شده است (۹ و ۲۷). در جلبک کلرلا، با افزایش غلظت سلنیوم میزان کلروفیل کاهش یافته ولی مقدار کاروتنوئید و گزانتوفیل افزایش یافت (۹). بررسی ها نشان می دهد که احتمالاً غلظت های کم سلنیوم با محافظت از آنزیم های کلروپلاستی، بیوسنتز رنگدانه های فتوسنتزی را افزایش می دهد (۲۸)، اما با افزایش غلظت سلنیوم، این عنصر، آنزیم های بیوسنتز کننده کلروفیل (مانند پورفوبیلینوژن سنتاز) را مهار کرده، با گروه سولفیدریل موجود در آنزیم های ۵-آمینو لوولینیک اسید دهیدراتاز و پورفوبیلینوژن دآمیناز برهم کنش می کند و از این طریق تاثیر منفی بر سنتز کلروفیل می گذارد (۱۸ و ۲۷).

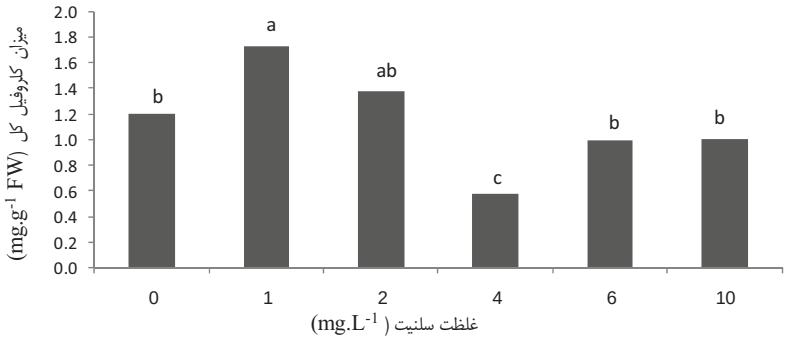
جرم و همکاران (۱۵) نشان دادند که سطوح بالای سلنیوم تاثیری بر فتوسیستم II نداشته و احتمالا از مسیر دیگری موجب کاهش میزان فتوسنتز می شود، اما غلظت های پایین سلنیوم راندمان فتوشیمیایی فتوسیستم II را افزایش می دهد (۱۷). هم چنین غلظت های بالای سلنیوم در کلرلا، با تاثیر بر نفوذ پذیری غشا و فراساختار کلروپلاست، موجب پراکسیداسیون لیپیدها و کاهش میزان فتوسنتز می شود (۹). احتمالا جانشین شدن سلنیوم به جای منیزیوم موجود در ساختار کلروفیل نیز یکی از مکانیسم های آسیب به کلروفیل می باشد (۲۷). حدود یک درصد غشاهای کلروپلاستی را سولفولیپیدها تشکیل می دهند. احتمالاجانشینی یون سلنیوم به جای گوگرد در ساختار این لیپیدها موجب تغییر ساختمان و عمل این ترکیبات شده، سنتز غشاهای تیلاکوئیدی و در نتیجه فتوسنتز را مهار می کند. کمبود گوگرد موجب تجزیه آنزیم روبیسکو (آنزیم کلیدی در چرخه کالوین) وهمچنین مهار بیوسنتز کلروفیل می شود (۳۸). کاهش میزان کلروفیل می‌تواند به دلیل تشدید فعالیت آنزیم کلروفیلاز باشد. برخی ترکیبات فنلی از قبیل کوماریک اسید و فرولیک اسید که سنتز آن ها در پاسخ به تیمار سلنیوم افزایش می یابد، فعالیت آنزیم کلروفیلاز را تحریک می‌کنند. آنزیم کلروفیلاز با جدا کردن فیتول از کلروفیل و همچنین منیزیوم از کلروفیلید و تشکیل فئوفوربید و در نهایت تلاشی حلقه چهار پیرولی، باعث تجزیه کلروفیل می‌شود (۱، ۲ و ۳۹). این دو ترکیب فنلی همچنین موجب مهار مسیر تبدیل پروتوپورفیرین به Mg-پروتوپورفیرین می‌گردند (۱۰). احتمالاً سلنیوم از طریق افزایش سنتز ترکیبات فنلی نیز موجب تجزیه کلروفیل در گیاه اسفناج شده است.



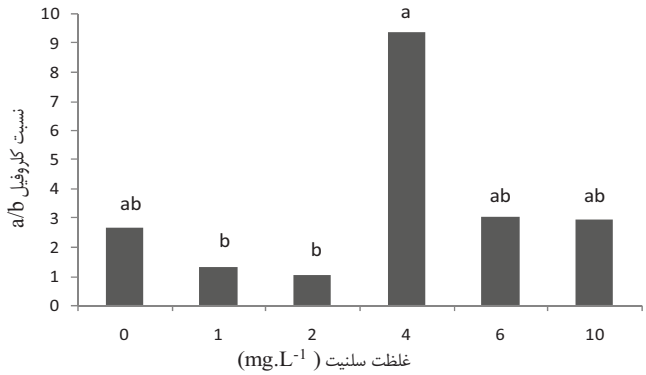
شکل۱- تغییرات میانگین کلروفیل a موجود در برگ اسفناج در پاسخ به غلظت های مختلف سلنیوم. ستون های با حرف یا حروف مشترک، تفاوت معنی داری در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ ندارند.



شکل۲- تغییرات میانگین کلروفیل b موجود در برگ اسفناج در پاسخ به غلظت های مختلف سلنیوم. ستون های با حرف یا حروف مشترک، تفاوت معنی داری در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ ندارند.



شکل ۳- تغییرات میانگین کلروفیل کل موجود در برگ اسفناج در پاسخ به غلظت های مختلف سلنیوم. ستون های با حرف یا حروف مشترک، تفاوت معنی داری در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ ندارند.



شکل ٤- تغییرات میانگین نسبت کلروفیل a/b موجود در برگ اسفناج در پاسخ به غلظت های مختلف سلنیوم. ستون های با حرف یا حروف مشترک، تفاوت معنی داری در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ ندارند.

تغییرات طول ریشه و بخش هوایی اسفناج در اثر سلنیوم

غلظت های بالای سلنیوم تأثیر معنی داری ($P \leq ۰/۰۵$) بر طول ریشه و بخش هوایی گیاه داشت. به طوریکه با افزایش غلظت سلنیوم، طول ریشه و بخش هوایی گیاه هر دو کاهش یافت. طول ریشه و بخش هوایی در غلظت mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۱ افزایش نشان داد (شکل۵). طول ریشه در غلظت های mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۱و۲ نسبت به شاهد و سایر غلظت های سلنیوم افزایش معنی داری داشت. همچنین طول ریشه در غلظت های mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۶ و۱۰، نسبت به سایر غلظت های سلنیوم کاهش معنی داری نشان داد. طول بخش هوایی در سطح mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۱ نسبت به شاهد و سایر غلظت های سلنیوم افزایش معنی داری داشت. اما در غلظت های mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۲،۴،۶ و۱۰ نسبت به غلظت های mgL^{-1} SeO_3^{-2} ۰و۱ کاهش نشان

داد. این کاهش طول بخش هوایی در سطح SeO_3^{-2} ۶ mgL^{-1} نسبت به غلظت SeO_3^{-2} ۴ mgL^{-1} و در سطح SeO_3^{-2} ۱۰ mgL^{-1} نسبت به سطح SeO_3^{-2} ۶ mgL^{-1} معنی دار نبود. پنانن (۲۸) نشان داد که تیمار سلنیوم موجب افزایش طول ریشه و بخش هوایی گیاهان می‌شود. غلظت های پایین سلنیوم با افزایش سنتز رنگدانه های فتوسنتزی، تثبیت کربن و همچنین سنتز و هیدرولیز نشاسته و ساکارز موجب افزایش رشد گیاه می شود اما در سطوح بالا موجب کاهش کلروفیل و کاهش سنتز کربوهیدرات ها و متعاقب آن کاهش رشد گیاه می شود (۱۶ و ۳۳). هان ون (۱۶) بیان داشت که سلنیت در غلظت های پایین، تقسیم سلولی را در سلول های مریستمی نوک ریشه و متعاقب آن رشد ریشه را در گیاه سیر بهبود می بخشد اما در سطوح بالا باعث کاهش تقسیم سلولی در این سلول ها می شود (۲۶). احتمالا بهبود تقسیم سلولی در سلول های مریستمی نوک ریشه یکی از دلایل افزایش طول ریشه و بخش هوایی در گیاه است.

اثر سلنیوم بر وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه

با افزایش غلظت سلنیوم، وزن تر بخش هوایی ابتدا به صورت معنی‌داری افزایش و سپس کاهش یافت. بیشترین وزن تر در هردو بخش ریشه واندام هوایی گیاه در غلظت SeO_3^{-2} ۱ mgL^{-1} و کمترین مقدار آن در غلظت SeO_3^{-2} ۱۰ mgL^{-1} مشاهده شد (شکل۶). کاهش وزن تر گیاه با افزایش غلظت سلنیوم در مطالعات قبلی نیز تأیید شده است (۲۶). به طور کلی چنین به نظر می رسد که سطوح مختلف سلنیوم تاثیر معنی داری بر وزن تر ریشه ندارد. فقط در سطح SeO_3^{-2} ۱۰ mgL^{-1} ، وزن تر ریشه نسبت به سطح SeO_3^{-2} ۱ mgL^{-1} کاهش معنی داری نشان داد. وزن تر بخش هوایی در سطح SeO_3^{-2} ۱ mgL^{-1} نسبت به شاهد افزایش معنی داری داشت. اما در غلظت های SeO_3^{-2} ۶،۴،۲ mgL^{-1} و۱۰، وزن تر بخش هوایی نسبت به سطوح SeO_3^{-2} ۰ و۱ mgL^{-1} کاهش معنی داری نشان داد. احتمالاً بر هم کنش سلنیت با پلاسمالما و تغییر در نفوذپذیری غشا نسبت به برخی یون ها (پتاسیم، سدیم و کلسیم) بر طویل شدن گیاه، تنفس، جذب آب و تخلیه از آوندهای آبکش تاثیر گذار است (۲ و ۱۱). همچنین سلنیوم با تشکیل اسیدهای آمینه سلنیوم دار، موجب افزایش تولید اتیلن و در نتیجه تغییر ترکیب لیپیدهای غشایی، افزایش نفوذپذیری غشا و نشت پتاسیم می شود که نتیجه آن افزایش آب در فضای بین سلولی و افزایش وزن تر بافت است (۳۳).

کاهش وزن خشک ریشه در غلظت های SeO_3^{-2} ۶ و۱۰ mgL^{-1} سلنیوم، نسبت به غلظت های SeO_3^{-2} ۱و۲ mgL^{-1} سلنیوم معنی دار بود، وزن خشک ریشه در سایر غلظت ها تفاوت معنی داری با یکدیگر و با شاهد نداشتند (شکل۷). بررسی ها در گیاهان لوبیا، کاهو و ذرت نیز نشان داده است که غلظت های پایین سلنیوم موجب افزایش وزن خشک ریشه و بخش هوایی گیاهان شده ولی با افزایش غلظت سلنیوم این صفات کاهش یافتند (۱۹، ۲۱ و ۳۳).

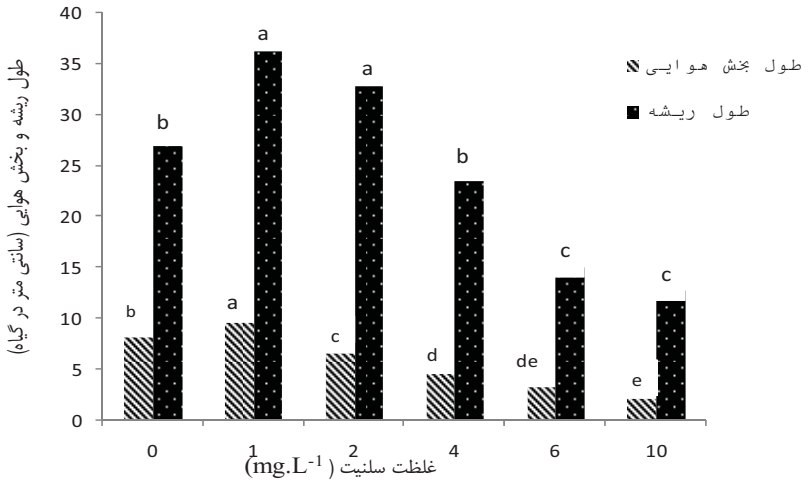
کاهش پروتئین و بیومس گیاه که در اثر افزایش غلظت سلنیوم در گیاهان مختلف گزارش شده است به دلیل کاهش رنگدانه های فتوسنتزی و تاثیر احتمالی سلنیوم بر تمامی سطوح موجود زنده است (۹). در مقابل غلظت های کم سلنیوم، احتمالاً از طریق افزایش میزان کلروفیل و متعاقب آن فتوسنتز و تثبیت کربن و در نتیجه تجمع نشاسته در کلروپلاست ها، رشد گیاه را افزایش داده و به دلیل آنتی اکسیدان بودن از غشا سلولی این گیاهان در برابر پراکسیداسیون لیپیدها محافظت می کند (۱۶ و ۳۳).

جاهید و همکاران (۲۱) نشان دادند که احتمالاً سلنیوم با فراتنظیمی آنزیم های دخیل در سنتز و هیدرولیز ساکارز (اینورتاز، ساکارز سنتاز و ساکارز فسفات سنتاز) و آنزیم های هیدرولیز کننده نشاسته (آمیلازها) میزان تولید نشاسته و ساکارز را افزایش داده، از این طریق سوبستراهای لازم برای رشد گیاه را فراهم می کنند. به طور کلی افزایش نشاسته طی تیمار سلنیوم معیاری از افزایش فتوسنتز، کاهش انتقال کربوهیدرات ها به ریشه و/یا کاهش تجزیه نشاسته است. تیمار گیاه سیب زمینی با غلظت های پایین سلنیوم نیز موجب به تاخیر افتادن پیری در استولون و ریشه این گیاه و بهبود رشد آن می شود (۳۵).

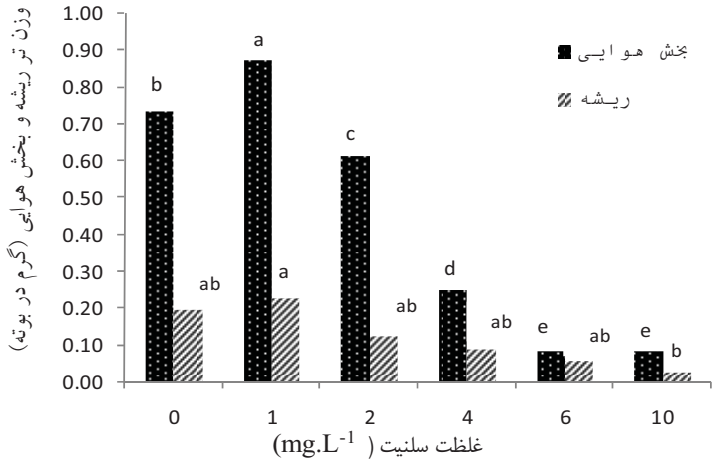
سلنیوم در واکنش های مختلف (مانند ورود به اسیدهای آمینه) جایگزین گوگرد می شود. گوگرد جزء ساختار اسیدهای آمینه سیستئین و متیونین (اسیدهای آمینه سیستئین و متیونین برای سنتز دیگر ترکیبات دارای گوگرد مانند کوانزیم ها و برخی متابولیت های ثانویه ضروری هستند) و ویتامین ها (بیوتین، لیپوئیک اسید، تیامین و کوانزیم آ) است. این ویتامین ها و اسیدهای آمینه نقش کلیدی در رشد گیاه دارند. به همین دلیل کمبود گوگرد در گیاه سنتز پروتئین ها را کاهش داده و حتی موجب افزایش میزان تجزیه این ترکیبات می‌شود. بررسی ها نشان داده است که در لگوم ها، در مراحل آغازین کمبود گوگرد، فعالیت آنزیم نیتروژناز در ریشه ها بسیار بیشتر از فتوسنتز تحت تاثیر قرار می گیرد و این گیاهان دچار کمبود نیتروژن و کاهش ترکیبات نیتروژندار (به ویژه پروتئین ها) نیز می شوند (۴، ۲۰ و ۳۷).

اثر سلنیوم بر تعداد برگ در گیاه

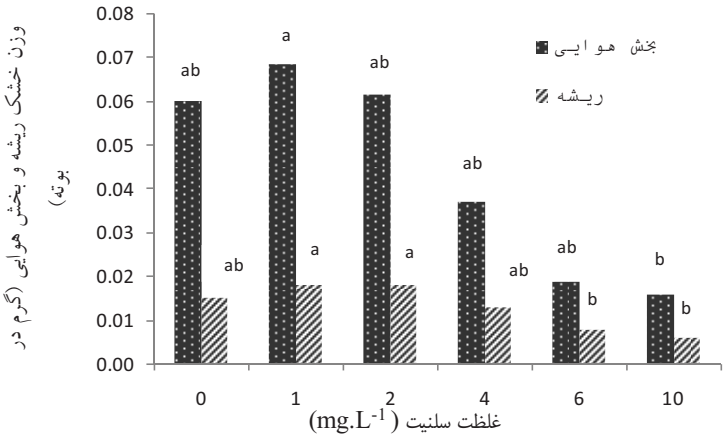
تعداد برگ در گیاه در غلظت های پایین سلنیوم، افزایش یافت. اما در غلظت SeO_3^{-2} ۱۰ mgL^{-1} تعداد برگ در گیاه نسبت به غلظت SeO_3^{-2} ۴ mgL^{-1}، کاهش معنی داری پیدا کرد.



شکل۵- تغییرات میانگین طول ریشه و بخش هوایی اسفناج در پاسخ به غلظت های مختلف سلنیوم. ستون های با حرف یا حروف مشترک در مورد هر صفت به صورت جداگانه، تفاوت معنی داری در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ ندارند.



شکل٦- تغییرات میانگین وزن تر ریشه و بخش هوایی گیاه اسفناج در پاسخ به غلظت های مختلف سلنیوم. ستون های با حرف یا حروف مشترک در مورد هر صفت به صورت جداگانه، تفاوت معنی داری در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ ندارند.



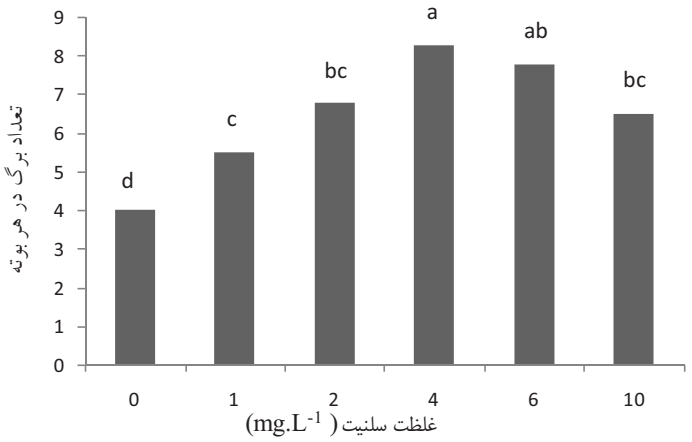
شکل۷- تغییرات میانگین وزن خشک ریشه و بخش هوایی گیاه اسفناج در پاسخ به غلظت های مختلف سلنیوم. ستون های با حرف یا حروف مشترک در مورد هر صفت به صورت جداگانه، تفاوت معنی داری در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ ندارند.

تعداد برگ در غلظت SeO_3^{-2} mgL^{-1} ۱،۲،۴،۶ و ۱۰ نسبت به شاهد افزایش معنی داری داشت. اما این افزایش در سطح SeO_3^{-2} mgL^{-1} ۱ نسبت به غلظت SeO_3^{-2} mgL^{-1} ۲ و در سطح SeO_3^{-2} mgL^{-1} ۶ نسبت به سطوح SeO_3^{-2} mgL^{-1} ۲،۴و۱۰ معنی دار نبود (شکل ۸). همان طور که ذکر شد افزایش رشد گیاه در تیمار سلنیوم احتمالاً به دلیل تاثیر مثبت آن بر سنتز کلروفیل، تثبیت کربن، سنتز و هیدرولیز نشاسته و تحریک تقسیم سلولی در سلول های نوک ریشه است (۱۶ و ۳۳)، تصور می شود که این عوامل موجب افزایش تعداد برگ در گیاه شده اند.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که سطوح مختلف غلظت سلنیوم، تأثیر معنی داری بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ریشه واندام هوایی شامل وزن خشک و تر ریشه و اندام هوایی و طول ریشه وطول بخش هوایی دارد. به طور کلی در این آزمایش افزایش غلظت سلنیوم (غلظت SeO_3^{-2} mgL^{-1} ۲ و بالاتر)، مقدار کمی تمامی صفات فوق الذکر را به صورت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. تصور می شود که افزایش سنتز کلروفیل و در نتیجه افزایش فتوسنتز گیاه و متعاقب آن افزایش سنتز کربوهیدرات ها طی تیمار سلنیوم، از دلایل اصلی افزایش وزن خشک و تر ، تعداد برگ و همچنین طول ریشه و بخش هوایی گیاه است.

از آنجاییکه متابولیسم سلنیوم در گیاهان قابل مقایسه با متابولیسم سولفات می باشد و سلنیوم در واکنش های مختلف (مانند ورود به اسیدهای آمینه) جایگزین گوگرد می شود، احتمالاً به همین دلیل است که علائم ناشی از سمیت سلنیوم، مشابه علائم کمبود گوگرد در گیاهان است. علائم مورفولوژیکی سمیت سلنیوم به صورت کلروز و نکروز برگ ها و کاهش رشد بخش هوایی و ریشه، قابل ملاحظه بود.



شکل ۸- تغییرات میانگین تعداد برگ گیاه اسفناج در پاسخ به غلظت های مختلف سلنیوم. ستون های با حرف یا حروف مشترک، تفاوت معنی داری در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ ندارند.

منابع

۱- بهداد ا. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر آللوپاتی درمنه خراسانی (*Artemisia khorasanica* Podl.) در مراحل مختلف رشد و نمو، جوانه زنی، رشد و برخی فرایندهای فیزیولوژیکی در گیاه بروموس کپه داغی (*Bromus kopetdaghensis* Drobov.). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- صفاریزدی ا. ۱۳۹۰. بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف Se بر جوانه زنی، رشد رویشی و برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه *Spinacia oleracea* L. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- مارشنر ه. ۱۳۸۴. تغذیه معدنی گیاهان عالی، انتشارات دانشگاه شیراز. ج ۱. ص ۳۱۹-۳۲۷.

۴- مختاری ا. ۱۳۸۷. بررسی تاثیر کلسیم در بهبود آسیب‌های ناشی از تنش شوری در گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicum esculentum*). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد.

5- Banuelos G.S., Meek D.W., and Hoffman G.J. 1990. The influence of selenium, salinity, and boron on selenium uptake in wild mustard. Plant and Soil, 127: 201-206.
6- Barak P., and Goldman I.L. 1997. Antagonistic relationship between selenate and sulfate uptake in onion (*Allium cepa*): implications for the production of organosulfur and organoselenium compounds in plants. J. Agric. Food Chem., 45: 1290-1294.
7- Bulska E., Wysocka I.A., Werzbicka M.H, Proost K., Janssens K., and Falkenberg G. 2006. In vivo investigation of the distribution and the Local speciation of selenium in *Allium cepa* L. by means of microscopic X-ray absorption near-edge structure spectroscopy and confocal microscopic X-ray fluorescence analysis. Analytical Chemistry, 78: 7616–7624.
8- Bunea A., Andjelkovic M., Socaciu C., Bobis O., Neacsu M., Verhe R., and Van Camp J. 2008. Total and individual carotenoids and phenolic acids content in fresh, refrigerated and processed spinach (*Spinacia oleracea* L.). Food Chemistry, 108: 649–656.
9- Chen T.F., Zheng W.J., Luo Y., Yang F., Bai Y., and Tu F. 2005. Effects of selenium stress on photosynthetic pigment contents and growth of *Chlorella vulgaris*. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 31: 369-373.
10- Chi-Ming Y., Chyoung-Ni L., and Chang-Hung C. 2002. Effect of three allelopathic phenolics on chlorophyll accumulation of rice (*Oryza sativa*) seedling: inhabitation of suply-orientation. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 43: 299-304.
11- Dziubinskaa H., Filekb M., Krol E., and Trebacz K. 2010. Cadmium and selenium modulate slow vacuolar channels in rape (*Brassica napus*) vacuoles. Journal of Plant Physiology, 167: 1566–1570.
12- Emese K., Hillestroma P.R., Laursen K.H., Husted S., and Larsen E.H. 2009. Effect of foliar application of selenium on its uptake and speciation in carrot. Food Chemistry, 115: 1357-1363.
13- Freeman J.L., Li Hong Z., Matthew A.M., Sirine F., Steve P.M., and Pilon-Smits E.A.H. 2006. Spatial imaging, speciation, and quantification of selenium in the hyperaccumulator plants *Astragalus bisulcatus* and *Stanleya pinnata*. Plant Physiology, 142: 124-134.
14- Gao S., and Tanji K.K. 2000. Water selenium speciation and sediment fractionation in a California flow-through wetland system. Environ. Qual., 29: 1275-1283.
15- Germ M., Stibilj V., and Kreft I. 2007. Metabolic importance of selenium for plants. The European Journal of Plant Science and Biotechnology, 1(1): 91-97.
16- Han-Wens S., Jing H., Shu-Xuan L., and Wei-Jun K. 2010. Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41: 1195-1204.
17- Hasanuzzaman M., Anwar Hossain M., and Masayuki F. 2010. Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. Journal of Plant Science, 5: 354-375.
18- Hawrylak B., Matraszek R., and Szynanska M. 2007. Response of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to selenium in nutrient solution contaminated with nickel. Vegetable Crops Research Bulletin, 67: 63-70.
19- Hawrylak-Nowak B. 2008. Effect of selenium on selected macronutrients in maize plants. Journal Elementol., 13: 513-519.
20- Imsande J. 1998. Iron, sulfur and chlorophyll deficiencies: a need for an integrative approach in plant physiology. Physiological plantarum, 103: 139-144.
21- Jahid A.M., Kumar S., Thakur P., Sharma S., Kau Raman Preet N., Kaur D.P., Bhandhari K., Kaushal N., Singh K., Srivastav, A., and Nayyar H. 2010. Promotion of growth in mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) by selenium is associated with stimulation of carbohydrate metabolism. Biol. Trace Elem. Res., DOI 10.1007/s12011-010-8872-1.
22- Jianzhou C., Xiaoqin Y., and Zhuona Z. 2010. Responses of wheat seedlings to exogenous selenium supply under cold stress. Biol. Trace Elem. Res., 136: 355-363.
23- Khattab H. 2004. Metabolic and oxidative responses associated with exposure of *Eruca sativa* (rocket) plants to different levels of selenium. International Journal Agriculture Biology, 6: 1101-1106.
24- Krzysztof K., Nowak J., and Ligocki M. 2008. Effects of selenium content in green parts of plants on the amount of ATP and ascorbate–glutathione cycle enzyme activity at various growth stages of wheat and oilseed rape. Journal of Plant Physiology, 165: 1011-1022.
25- Macias F.A., Torres A., Galindo J.L.G., Varela R.M., Alvarez J.A., and Molinillo J.M.G. 2002. Bioactive terpenoids from sun flower leaves cv. Peredovick. Phytochemistry, 61: 687-692.
26- Madaan N., and Mudgal V. 2011. Phytotoxic effect of selenium on the accessions of wheat and safflower. Res. J. Environ. Sci., 5: 82-87.
27- Padmaja K., Prasad D.D.K., and Prasad A.R.K. 1989. Effect of selenium on chlorophyll biosynthesis in mung bean seedlings. Phytochemistry, 28: 3321-3324.
28- Pennanen A., Xue T., Hartikainen H., and Xue T.L. 2002. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress. J. Appl. Bot., 76: 66-76.
29- Rios J.J., Blasco B., Cervilla L.M., Rosales M.A., Sanchez-Rodriguez E., Romero L., and Ruiz J.M. 2008.

Production and detoxification of H_2O_2 in lettuce plants exposed to selenium. Annals of Applied Biology, 154: 107–116.

30- Schrauzer G.N. 2000. Selenomethionine: a review of its nutritional significance, metabolism and toxicity. Journal of Nutrition. 130: 1653-1656.

31- Sharma N., Kumar A., Prakash R., and Prakash N.T. 2007. Selenium accumulation and Se-iInduced antioxidant activity in *Allium cepa*. ISEIS, 5: 328-336.

32- Srivastava M., Ma L.Q., Rathinasabapathi B., and Srivastata P. 2009. Effects of selenium on arsenic uptake in arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. Bioresource Technology, 100: 1115-1121.

33- Tailin X., Hartikainen H., and Piironen V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing Lettuce. Plant and Soil, 237: 55-61.

34- Terry N., Zayed A.M., De Souza M.P., and Tarun A.S. 2000. Selenium in higher plants. Annuals Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 51: 401-32.

35- Turakainen M., Hartikainen H., and Mervi M.S.N. 2004. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch. Journal Agricalture Food Chemistry, 52: 5378-5382.

36- Vandapapp L., Lu J., Holmgren A., and Kumkhanna K. 2007. From selenium to selenoproteins: synthesis, identity, and their role in human health. Antioxidants & Redox Signaling, 9(7): 775-806.

37- Victoria J.N., Kopka J., Tolstikov V., Fiehn O., Hopkins L., Hawkesford M.J., Hesse, H., and Hoefgen R. 2005. Systems rebalancing of metabolism in response to sulfur deprivation, as revealed by metabolome analysis of arabidopsis plants. Plant Physiology, 138: 304-318.

38- Wu L., and Huang Z.Z. 1991. Chloride and sulfate salinity effects on selenium accumulation by Tall Fescue. Crop Science Society of American, 31: 114-118.

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