

تأثیر غلظت های مختلف سلیوم 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

سلیوم (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 سلیوم به عنوان عنصری سودمند در رشد آن‌ها شناخته شده است. تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر غلظت های مختلف سلیوم بر رشد و خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی گیاه اسفناج در شرایط کنترل شده انجام شد. جوانه زنی بذرها ی اسفناج در ژرمیناتور انجام گرفت و نشاءهای گیاهی به محلول غذایی هوگلند حاوی غلظت های SeO_3^{-2} 1.0 ، 2.0 ، 4.0 و 6.0 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 سلیوم، تأثیر معنی داری 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 سلیوم (به استثنا غلظت SeO_3^{-2} 1 mgL^{-1} سلیوم)، مقدار کمی تمامی صفات مورد مطالعه به صورت معنی داری نسبت به تیمار شاهد کاهش یافتند. علائم مورفولوژی سمیت سلیوم به صورت کلروز برگ‌های جوان و کاهش رشد بخش هوایی و ریشه مشاهده شد.

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

مقدمه

هندی (۵، ۷ و ۳۹)، سیر و تره فرنگی می باشد (۱۲). این گیاهان انباشت کننده سلیوم نام دارند. اما اکثر گیاهان غیر انباشت کننده سلیوم می باشند (۲۳). تحقیقات اخیر نشان داده است که مقدار سلیوم 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 سلیوم) است و می تواند منبع خوبی از این عنصر آنتی اکسیدان باشد (۸). اگرچه سلیوم یک عنصر ضروری برای انسان است ولی برای گیاهان ضروری نبوده و حتی سمی می باشد. اما با این وجود غلظت‌های پایین سلیوم اثرات سودمندی بر متابولیسم سلول های گیاهی دارد و جذب برخی یون ها را تنظیم می کند. تیمار گیاهان با سلیوم موجب افزایش میزان آنزیم های جاروب کننده H_2O_2 (به ویژه آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون پراکسیداز) و ترکیبات آنتی

سلیوم 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 سلیوم برای انسان، حیوانات و گیاهان به اثبات رسیده است. بررسی ها موید این است که سلیوم بخش مهمی از ساختار آنزیم های آنتی اکسیدان می باشد. به طور کلی سلیوم یک عنصر ضروری برای 30 سلنوانزیم و سلنوپروتئین است و بخش مهمی از ساختار آنزیم هایی است که از سلول ها در برابر رادیکال های آزاد محافظت می کنند. همچنین الحاق سلیوم به پروتئین ها، از بافت ها و غشاها در برابر آسیب اکسیداتیو محافظت می کند (۳۴ و ۳۵). برخی گیاهان سلیوم بیشتری را در بافت های خود ذخیره می کنند که از جمله این گیاهان پیاز، اسفناج، خردل

۱، ۲ و ۳- 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)

مواد و روش ها

به منظور بررسی تاثیر سلینیوم 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 بذرها را 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 ژرمیناتور 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 رست‌هایی که به اندازه کافی رشد کرده بودند، به محیط کشت هیدروپونیک حاوی محلول غذایی هوگلدن 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 رست‌ها به شرایط هیدروپونیک، غلظت‌های مختلف سلیت سدیم SeO_3^{-2} mgL^{-1} ۰، ۴، ۲، ۱، ۰ و ۱۰ به محیط رشد اضافه شد. ابتدا در هر گلدان ده دانه رست قرار داده شد که پس از اطمینان از رشد آن‌ها 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 آن‌ها با ترازو اندازه گیری شد. مقدار کلروفیل بخش هوایی با استفاده از روش آرنون محاسبه گردید (۲۵). تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز با استفاده از نرم افزار Mstat-C انجام شد و نمودارها با نرم افزار Excel ترسیم شدند. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه ای دانکن استفاده شد. ($P \leq 0.05$)

نتایج و بحث

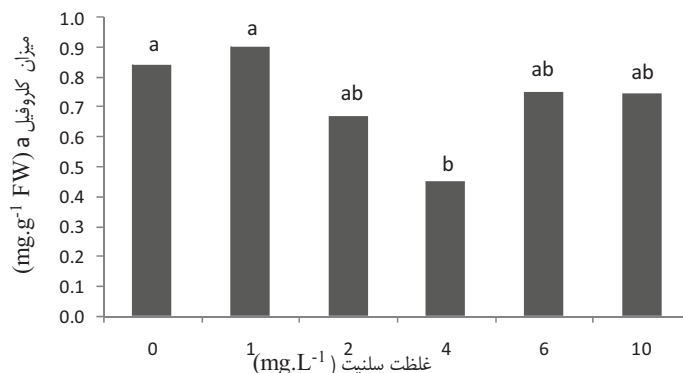
اثر سلینیوم بر میزان کلروفیل برگ

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش غلظت سلینیوم، میزان کلروفیل برگ‌ها 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 غلظت‌های سلینیوم نداشت (شکل ۱). مقایسه میانگین مشاهدات نشان داد که سلینیوم تاثیر معنی داری ($p \leq 0.05$) بر میزان کلروفیل b و کلروفیل کل

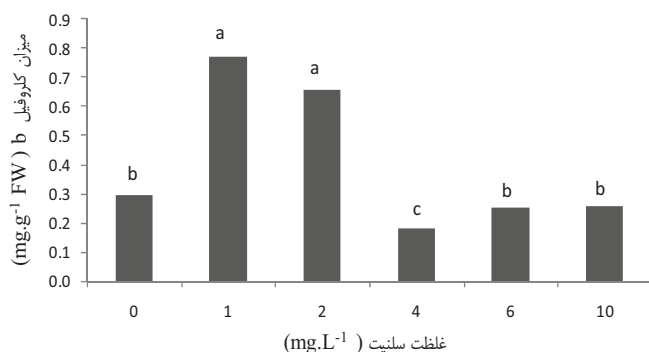
اکسیدان (مانند آسکوربات، پرولین و گلوتاتیون) شده است (۱۷، ۲۳ و ۲۴) و به همین دلیل است که سلینیوم میزان H_2O_2 را در گیاهان کاهش می دهد (۲۹). همچنین سلینیوم فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز را افزایش داده، موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدها می شود (۱۷ و ۲۲). بررسی‌ها نشان داده است که خاک برخی از مناطق زمین (مانند اروپای شمالی) با کمبود سلینیوم 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 سلینیوم این خاک‌ها را کاهش دهند (۶). عنصر سلینیوم در غلظت‌های پایین اثر سمی بر گیاه ندارد ولی در سطوح بالا سمی است. به تازگی اثر محرک غلظت کم سلینیوم 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 سلینیوم در گیاهان شامل زردی، خشکیدگی و پژمردگی برگ‌ها، کاهش رشد گیاه، کاهش سنتز پروتئین و مرگ پیش از بلوغ گیاه است (۳۴). سلینیوم در واکنش‌های مختلف (مانند ورود به اسیدهای آمینه) جایگزین گوگرد می شود. تفاوت در اندازه و میزان یونیزاسیون اتم‌های گوگرد و سلینیوم، منجر به تغییرات واضحی در ساختار پروتئین‌های حاوی این اسیدهای آمینه (به ویژه آنزیم‌ها) می شود. باند بین دو اتم سلینیوم بلندتر و ضعیفتر از باند دی سولفید است. به همین دلیل ورود سلینیوم به پروتئین‌ها موجب تغییر در ساختار سوم آن‌ها شده، تاثیر منفی بر فعالیت کاتالیتیکی آنزیم‌ها و در نتیجه رشد گیاه می گذارد (۳۰ و ۳۴). در سطوح بالای سلینیوم، این عنصر در ترکیبات مختلف (مانند اسیدهای آمینه و کوآنزیم‌ها) جانشین گوگرد می شود و احتمالاً به همین دلیل است که علائم ناشی از سمیت سلینیوم، مشابه علائم کمبود گوگرد در گیاهان است (۳). سمیت ناشی از غلظت‌های بالای سلینیوم 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 سلینیوم رشد داده شده‌اند. بعلاوه مطالعه تاثیر سلینیوم 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 آن‌ها از لحاظ محصول دهی موثر باشد. با توجه به موارد اشاره شده، هدف از این پروژه بررسی اثر غلظت‌های مختلف سلینیوم بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه اسفناج در شرایط کنترل شده می‌باشد.

طریق تاثیر منفی بر سنتز کلروفیل می گذارد (۱۸ و ۲۷). جرم و همکاران (۱۵) نشان دادند که سطوح بالای سلیوم تاثیری بر فتوسیستم II نداشته و احتمالاً از مسیر دیگری موجب کاهش میزان فتوسنتز می شود، اما غلظت های پایین سلیوم راندمان فتوشیمیایی فتوسیستم II را افزایش می دهد (۱۷). هم چنین غلظت های بالای سلیوم در کلرلا، با تاثیر بر نفوذ پذیری غشا و فراساختار کلروپلاست، موجب پراکسیداسیون لیپیدها و کاهش میزان فتوسنتز می شود (۹). احتمالاً جانشین شدن سلیوم به جای منیزیم 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. احتمالاً جانشینی یون سلیوم 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) و همچنین مهار بیوسنتز کلروفیل می شود (۳۸). کاهش میزان کلروفیل می تواند 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 سلیوم افزایش می یابد، فعالیت آنزیم کلروفیلاز را تحریک می کنند. آنزیم کلروفیلاز با جدا کردن فیتول از کلروفیل و همچنین منیزیم از کلروفیلید و تشکیل فتوفوربید و در نهایت تلاشی حلقه چهار پیرولی، باعث تجزیه کلروفیل می شود (۱، ۲ و ۳۹). این دو ترکیب فنلی همچنین موجب مسیر تبدیل پروتوپورفیرین به Mg-پروتوپورفیرین می گردند (۱۰). احتمالاً سلیوم از طریق افزایش سنتز ترکیبات فنلی نیز موجب تجزیه کلروفیل در گیاه اسفناج شده است.

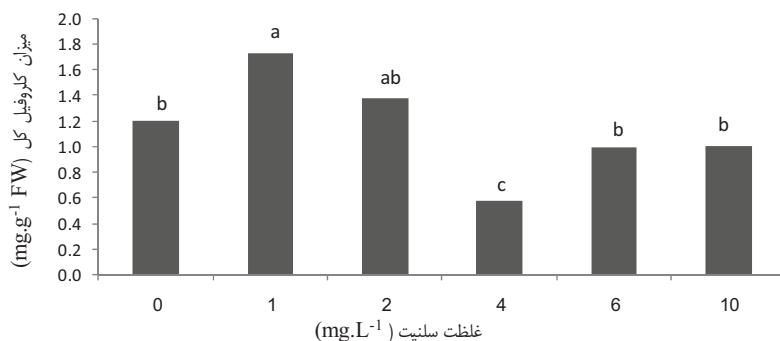
برگ داشت. در مورد کلروفیل b، مقدار این رنگیزه در غلظت $4 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ نسبت به غلظت های $2 \text{ و } 10 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ کاهش معنی داری داشت. مقدار کلروفیل در سطوح $2 \text{ و } 10 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ نسبت به غلظت $4 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ افزایش معنی داری داشت. همچنین میزان کلروفیل b در سطح $2 \text{ و } 10 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ مقدار افزایش معنی داری نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۲). مقدار کلروفیل کل برگ نیز در سطح $4 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ نسبت به تمامی سطوح سلیوم کاهش معنی داری داشت. اما در سطح $2 \text{ و } 10 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ مقدار کلروفیل کل برگ نسبت به شاهد افزایش معنی داری داشت. همچنین مقدار کلروفیل کل برگ در سطوح $2 \text{ و } 10 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ نسبت به غلظت $4 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ افزایش معنی داری داشت (شکل ۴). به نظر می رسد کاهش میزان کلروفیل در سطوح $1 \text{ و } 2 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ 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 سلیوم 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 سلیوم میزان کلروفیل کاهش یافته ولی مقدار کاروتنوئید و گزانتوفیل افزایش یافت (۹). بررسی ها نشان می دهد که احتمالاً غلظت های کم سلیوم با محافظت از آنزیم های کلروپلاستی، بیوسنتز رنگدانه های فتوسنتزی را افزایش می دهد (۲۸)، اما با افزایش غلظت سلیوم، این عنصر، آنزیم های بیوسنتز کننده کلروفیل (مانند پورفوبیلینوژن سنتاز) را مهار کرده، با گروه سولفیدریل موجود در آنزیم های ۵-آمینو لولولینیک اسید دهیدراتاز و پورفوبیلینوژن دامیناز برهم کنش می کند و از این



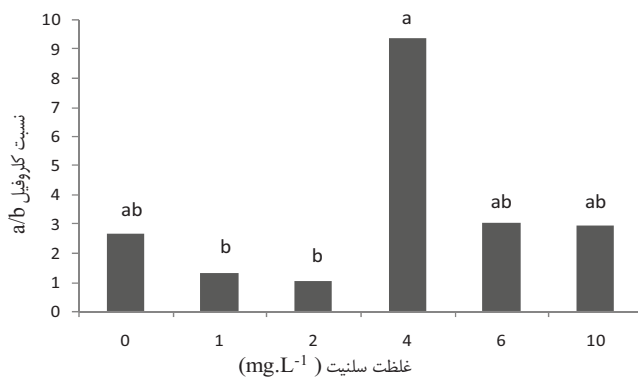
شکل ۱- تغییرات میانگین کلروفیل a موجود در برگ اسفناج در پاسخ به غلظت های مختلف سلیوم. ستون های با حرف یا حروف مشترک، تفاوت معنی داری در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ ندارند.



شکل ۲- تغییرات میانگین کلروفیل b موجود در برگ اسفناج در پاسخ به غلظت های مختلف سلیوم. 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 سلیوم. ستون های با حرف یا حروف مشترک، تفاوت معنی داری در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ ندارند.



شکل ۴- تغییرات میانگین نسبت کلروفیل a/b موجود در برگ اسفناج در پاسخ به غلظت های مختلف سلیوم. ستون های با حرف یا حروف مشترک، تفاوت معنی داری در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ ندارند.

شاهد و سایر غلظت های سلیوم افزایش معنی داری داشت. همچنین طول ریشه در غلظت های SeO_3^{-2} 10 و 6 mgL^{-1} ، نسبت به سایر غلظت های سلیوم کاهش معنی داری نشان داد. طول بخش هوایی در سطح 1 mgL^{-1} SeO_3^{-2} نسبت به شاهد و سایر غلظت های سلیوم افزایش معنی داری داشت. اما در غلظت های 1 mgL^{-1} SeO_3^{-2} و 10 mgL^{-1} SeO_3^{-2} نسبت به غلظت های 10 mgL^{-1} SeO_3^{-2} کاهش نشان

تغییرات طول ریشه و بخش هوایی اسفناج در اثر سلیوم

غلظت های بالای سلیوم تأثیر معنی داری ($P \leq 0.05$) بر طول ریشه و بخش هوایی گیاه داشت. به طوریکه با افزایش غلظت سلیوم، طول ریشه و بخش هوایی گیاه هر دو کاهش یافت. طول ریشه و بخش هوایی در غلظت 1 mgL^{-1} SeO_3^{-2} افزایش نشان داد (شکل ۵). طول ریشه در غلظت های 1 mgL^{-1} SeO_3^{-2} و 2 نسبت به

افزایش وزن خشک ریشه و بخش هوایی گیاهان شده ولی با افزایش غلظت سلیوم این صفات کاهش یافتند (۱۹، ۲۱ و ۳۳).

کاهش پروتئین و بیومس گیاه که در اثر افزایش غلظت سلیوم در گیاهان مختلف گزارش شده است به دلیل کاهش رنگدانه های فتوسنتزی و تاثیر احتمالی سلیوم بر تمامی سطوح موجود زنده است (۹). در مقابل غلظت های کم سلیوم، 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 سلیوم با فرانتزیمی 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 سلیوم معیاری از افزایش فتوسنتز، کاهش انتقال کربوهیدرات ها به ریشه و/یا کاهش تجزیه نشاسته است. تیمار گیاه سیب زمینی با غلظت های پایین سلیوم نیز موجب به تاخیر افتادن پیری در استولون و ریشه این گیاه و بهبود رشد آن می شود (۳۵).

سلیوم در واکنش های مختلف (مانند ورود به اسیدهای آمینه) جایگزین گوگرد می شود. گوگرد جزء ساختار اسیدهای آمینه سیستمین و متیونین (اسیدهای آمینه سیستمین 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 می شود. 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 نیتروژن دار (به ویژه پروتئین ها) نیز می شوند (۴، ۲۰ و ۳۷).

اثر سلیوم بر تعداد برگ در گیاه

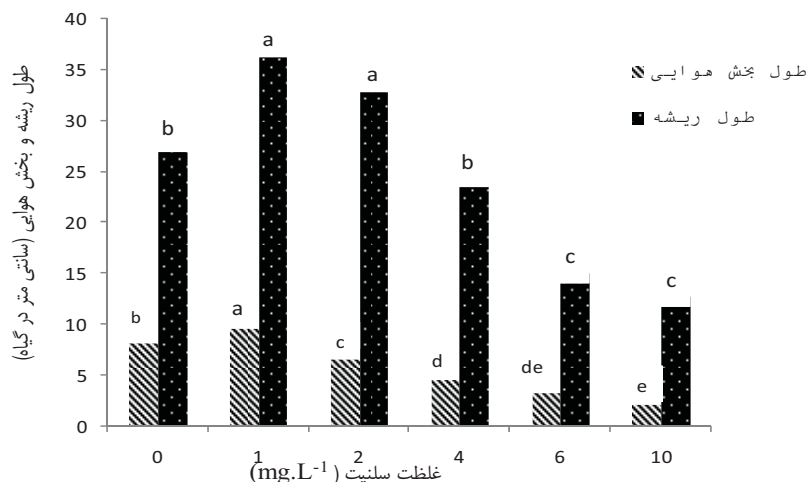
تعداد برگ در گیاه در غلظت های پایین سلیوم، افزایش یافت. اما در غلظت $10 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ تعداد برگ در گیاه نسبت به غلظت $4 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ ، کاهش معنی داری پیدا کرد.

داد. این کاهش طول بخش هوایی در سطح $6 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ نسبت به غلظت $4 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ و در سطح $10 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ نسبت به سطح $6 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ معنی دار نبود. پنانن (۲۸) نشان داد که تیمار سلیوم موجب افزایش طول ریشه و بخش هوایی گیاهان می شود. غلظت های پایین سلیوم 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). احتمالاً بهبود تقسیم سلولی در سلول های مریستمی نوک ریشه یکی از دلایل افزایش طول ریشه و بخش هوایی در گیاه است.

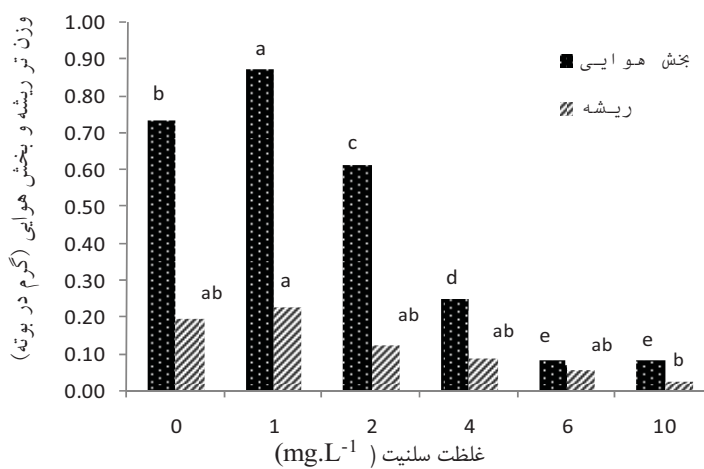
اثر سلیوم بر وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه

با افزایش غلظت سلیوم، وزن تر بخش هوایی ابتدا به صورت معنی داری افزایش و سپس کاهش یافت. بیشترین وزن تر در هر دو بخش ریشه و اندام هوایی گیاه در غلظت $1 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ و کمترین مقدار آن در غلظت $10 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ مشاهده شد (شکل ۶). کاهش وزن تر گیاه با افزایش غلظت سلیوم در مطالعات قبلی نیز تأیید شده است (۲۶). به طور کلی چنین به نظر می رسد که سطوح مختلف سلیوم تاثیر معنی داری بر وزن تر ریشه ندارد. فقط در سطح $10 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ ، وزن تر ریشه نسبت به سطح $1 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ کاهش معنی داری نشان داد. وزن تر بخش هوایی در سطح $1 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ نسبت به شاهد افزایش معنی داری داشت. اما در غلظت های $6, 4, 2 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ و 10 ، وزن تر بخش هوایی نسبت به سطوح $10 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ و 1 کاهش معنی داری نشان داد. احتمالاً بر هم کنش سلنیت با پلاسما و تغییر در نفوذپذیری غشا نسبت به برخی یون ها (پتاسیم، سدیم و کلسیم) بر طول شدن گیاه، تنفس، جذب آب و تخلیه از آوندهای آبکش تاثیر گذار است (۲ و ۱۱). همچنین سلیوم با تشکیل اسیدهای آمینه سلیوم دار، موجب افزایش تولید اتیلان 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).

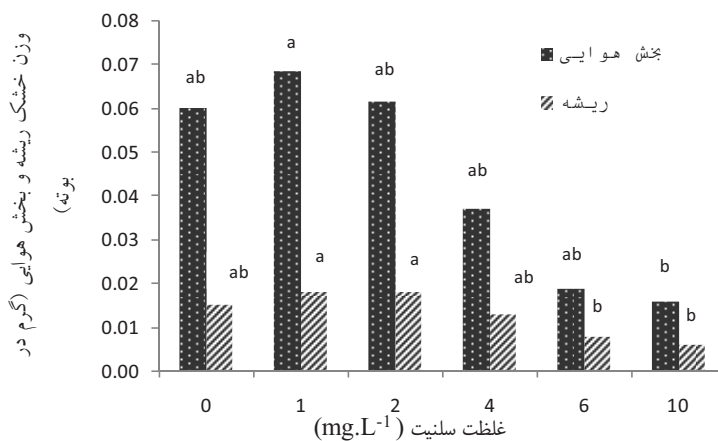
کاهش وزن خشک ریشه در غلظت های $6 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ و $10 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ سلیوم، نسبت به غلظت های $1 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ و $2 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ معنی دار بود، وزن خشک ریشه در سایر غلظت ها تفاوت معنی داری با یکدیگر و با شاهد نداشتند (شکل ۷). بررسی ها در گیاهان لوبیا، کاهو و ذرت نیز نشان داده است که غلظت های پایین سلیوم موجب



شکل ۵- تغییرات میانگین طول ریشه و بخش هوایی اسفناج در پاسخ به غلظت های مختلف سلیوم. 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.



شکل ۶- تغییرات میانگین وزن تر ریشه و بخش هوایی گیاه اسفناج در پاسخ به غلظت های مختلف سلیوم. 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.



شکل ۷- تغییرات میانگین وزن خشک ریشه و بخش هوایی گیاه اسفناج در پاسخ به غلظت های مختلف سلیوم. 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.

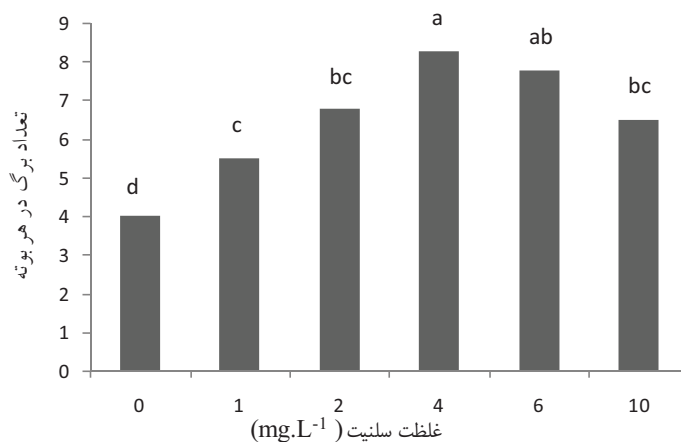
غلظت سلیوم (غلظت $2 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ و بالاتر)، مقدار کمی تمامی صفات فوق الذکر را به صورت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. تصور می‌شود که افزایش سنتز کلروفیل و در نتیجه افزایش فتوسنتز گیاه و متعاقب آن افزایش سنتز کربوهیدرات‌ها طی تیمار سلیوم، از دلایل اصلی افزایش وزن خشک و تر، تعداد برگ و همچنین طول ریشه و بخش هوایی گیاه است.

از آنجاییکه متابولیسم سلیوم در گیاهان قابل مقایسه با متابولیسم سولفات می‌باشد و سلیوم در واکنش‌های مختلف (مانند ورود به اسیدهای آمینه) جایگزین گوگرد می‌شود، احتمالاً به همین دلیل است که علائم ناشی از سمیت سلیوم، مشابه علائم کمبود گوگرد در گیاهان است. علائم مورفولوژیکی سمیت سلیوم به صورت کلروز و نکروز برگ‌ها و کاهش رشد بخش هوایی و ریشه، قابل ملاحظه بود.

تعداد برگ در غلظت $1 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ و $6, 4, 2, 1 \text{ mgL}^{-1}$ نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت. اما این افزایش در سطح 1 mgL^{-1} نسبت به غلظت $2 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ و در سطح 1 mgL^{-1} نسبت به سطوح $2 \text{ mgL}^{-1} \text{ SeO}_3^{-2}$ و $4, 2, 1 \text{ mgL}^{-1}$ معنی‌دار نبود (شکل ۸). همان‌طور که ذکر شد افزایش رشد گیاه در تیمار سلیوم احتمالاً به دلیل تأثیر مثبت آن بر سنتز کلروفیل، تثبیت کربن، سنتز و هیدرولیز نشاسته و تحریک تقسیم سلولی در سلول‌های نوک ریشه است (۱۶ و ۳۳)، تصور می‌شود که این عوامل موجب افزایش تعداد برگ در گیاه شده‌اند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که سطوح مختلف غلظت سلیوم، تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ریشه و اندام هوایی شامل وزن خشک و تر ریشه و اندام هوایی و طول ریشه و طول بخش هوایی دارد. به طور کلی در این آزمایش



شکل ۸- تغییرات میانگین تعداد برگ گیاه اسفناج در پاسخ به غلظت‌های مختلف سلیوم. ستون‌های با حرف یا حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال خطای $P \leq 0.05$ ندارند.

منابع

- ۱- بهداد ا. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر آلوپاتی 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.). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲- صفاری‌زیدی ا. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف Se بر جوانه زنی، رشد رویشی و برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی گیاه *Spinacia oleracea* L. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۳- مارشدر ه. ۱۳۸۴. تغذیه معدنی گیاهان عالی، انتشارات دانشگاه شیراز. ج ۱. ص ۳۱۹-۳۲۷.
- ۴- مختاری ا. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر کلسیم در بهبود آسیب‌های ناشی از تنش شوری در گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*). پایان‌نامه 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 H₂O₂ 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-induced antioxidant activity in *Allium cepa*. *ISEIS*, 5: 328-336.
- 32-Srivastava M., Ma L.Q., Rathinasabapathi B., and Srivastava 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 Agriculture 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.