نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۳، ص. ۵۴۳-۵۳۵
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 28, No. 4, Winter 2015, P. 535-543
ISSN: 2008 - 4730

تأثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی کلم تکمه‌ای (*Brassica oleracea* var. Gemmifera)

رزیتا خادمی آستانه[1*]- سید جلال طباطبائی[2]- صاحبعلی بلندنظر[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۱۹

چکیده

سلنیوم عنصری غیرفلزی است که با تأثیر بر رشد و نمو گیاهان و به خاطر حضور در سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی یک عنصر اساسی برای سلامتی انسان و حیوان شناخته شده است. به منظور ارزیابی تأثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی کلم تکمه‌ای (*Brassica oleracea* var. Gemmifera) آزمایشی با شش سطح سلنیوم (۰، ۲، ۴، ۸، ۱۶و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر از منبع سلنات سدیم) در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. نتایج نشان داد که عملکرد گیاه به طور معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۱$) تحت تأثیر تیمارهای سلنیومی قرار گرفت، به طوری‌که با افزایش غلظت سلنیوم در محلول غذایی از ۰ تا ۸ میلی‌گرم در لیتر عملکرد و شاخص کلروفیل افزایش، نشت الکترولیت در برگ‌ها کاهش و سپس با افزایش غلظت سلنیوم عملکرد کاهش و نشت الکترولیت در برگ‌های جوان افزایش یافت. حداکثر عملکرد با افزایش ۴۰ درصدی نسبت به شاهد در غلظت ۸ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. با افزایش سطوح سلنیوم در محلول غذائی، غلظت سلنیوم افزایش یافت و به ترتیب برگ‌های پیر>برگ‌های جوان> جوانه‌ها بود. نتایج نشان داد که می‌توان سلنیوم را حداکثر تا غلظت ۸ میلی‌گرم در لیتر به منظور بهبود رشد گیاه به محلول‌های غذایی برای پرورش کلم تکمه‌ای اضافه نمود.

واژه‌های کلیدی: نیترات، نشت الکترولیت، کلروفیل، هیدروپونیک

مقدمه

سلنیوم عنصری است که به طور غیریکنواخت در پوسته زمین توزیع یافته است. سلنیوم به خاطر حضور در سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی و تعادل هورمونی اخیراً به عنوان یک مادهٔ اساسی برای سلامتی انسان و حیوان شناخته شده و می‌تواند نقش یک مکانیسم آنتی‌اکسیداتیو را در گیاهان بازی کند (۱۱، ۳۲، ۴۲ و ۴۵). مقدار میانگین مورد نیاز مصرف سلنیوم برای انسان ۴۵ میکروگرم و حد مجاز توصیه شده ۵۵ میکروگرم و سطح قابل تحمل ۴۰۰ میکروگرم می‌باشد (۸). اما سمیت حاد در حیوانات زمانی اتفاق می‌افتد که انسان یا دام از گیاهانی با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تغذیه نمایند (۲). سلنیوم نمی‌تواند به طور مستقیم به غذا افزوده شود (۱۲)، لذا محتوای سلنیوم در گیاهان می‌تواند به وسیلهٔ روش‌های مختلفی از جمله اضافه‌کردن سلنیوم به خاک، خیساندن بذور در محلول سلنیوم قبل کشت، کشت‌های هیدروپونیک و آیروپونیک در محلول غذایی حاوی ترکیبات سلنیوم و کاربرد محلول‌پاشی گیاهان با محلول سلنیوم، افزایش داد.

غلظت سلنیوم در تولیدات کشاورزی و غذایی به محتوای سلنیوم موجود در خاک بستگی دارد (۲۲ و ۳۹)، همچنین جذب و ذخیره سلنیوم توسط گیاهان به فرم شیمیایی، غلظت و به فاکتورهایی مثل pH، شوری و محتوای کربنات کلسیم و توانائی گیاهان وابسته است (۴۲ و ۴۶). یافته‌های اخیر (۳۴، ۴۲ و ۴۷)، نشان داد که در غلظت-های کم، سلنیوم می‌تواند باعث افزایش تحمل به تنش اکسیداتیوی از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسایشی گردد که این اثر مثبت سلنیوم، کاهش در پروکسیداسیون لیپید و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیداتیوی را نشان می‌دهد. غلظت پایین سلنیوم اثر مفیدی روی رشد، مقاومت به تنش در گیاهان، با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسایشی آن‌ها دارد (۴۲). اثرات افزایش رشد به وسیلهٔ سلنیوم ممکن است درنتیجهٔ افزایش تجمع نشاسته در کلروپلاست (۳۱) و حفاظت محتوای سلول باشد (۴۷). گیاهان به غلظت‌های بالای

۱ و ۳- دانشجوی دکتری و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: Email: rozitakhademi@yahoo.com)
۲ - استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران

سلنیوم حساس‌اند چرا که باعث کاهش رشد گیاه و ماده خشک گیاهی می‌گردد، با این حال غلظت‌های پایین سلنیوم موجب بهبود رشد گیاهان شده است (۱۳، ۱۴، ۲۳، ۲۴، ۳۰، ۳۵، ۳۷، ۴۳، ۴۴ و ۴۷). گیاهان آلی ظرفیت‌های متفاوتی برای تجمع و تحمل سلنیوم دارند و آن‌ها به صورت انباشت‌گر و غیر انباشت‌گر سلنیوم طبقه‌بندی شده‌اند (۷، ۳۳ و ۴۱)، اگرچه برخی گونه‌های گیاهی قادر هستند مقادیر بالایی از سلنیوم را انباشته کنند، اما اکثر گیاهان، غیر انباشت-گر و حساس به سلنیوم می‌باشند (۴۱). بررسی‌ها نشان می‌دهد که رابطهٔ مثبتی بین غلظت سلنیوم و فعالیت گلوتاتیون پروکسیداز پیشنهاد شده است که گلوتاتیون پروکسیداز در به تأخیر انداختن پیری و افزایش رشد گیاهچه‌های در حال پیر شدن مؤثر است (۱۷ و ۴۷). سلنیوم در غلظت‌های کم در به تأخیر انداختن پیری و افزایش رشد دانهال‌های در حال پیری کاهو مؤثر است (۱۵). سلنیوم به طور قابل توجهی محتوای کلروفیل را بالا می‌برد و این افزایش در کل محتوای کلروفیل می‌تواند در طی افزایش محتوای کارتنوئید باشد، چرا که کارتنوئیدها کلروفیل را از تخریب اکسیداسیون نوری حفاظت می‌کنند (۳۸). نتایج بررسی‌ها بر روی سبزیجات برگی نشان داده است که تیمارهای سلنیومی بر روی غلظت عناصری مثل نیترات اثرگذار بوده و باعث افزایش نیترات گردیده است (۲۶). هم‌چنین نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که نشت الکترولیت اثر مستقیمی با سلنیوم داشته، به طوری‌که کاربرد تیمارهای سلنیومی موجب کاهش میزان نشت الکترولیت و افزایش پایداری غشا می‌گردد (۳۴). اگر چه مطالعاتی در مورد تأثیر سلنیوم بر روی گیاهان مختلف انجام گرفته، ولی به نظر می‌رسد که تحقیق جامعی در مورد نقش سلنیوم در گیاه کلم تکمه‌ای انجام نگرفته است، لذا هدف از این تحقیق تأثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی کلم تکمه‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در محیط کنترل شده، گلخانه تحقیقاتی هیدروپونیک گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، در زیر نور طبیعی اجرا گردید. گلخانه مورد استفاده دارای پوشش پلی اتیلن تک لایه و مجهز به سیستم سرمایش به منظور کنترل دما در ماه‌های گرم سال و سیستم مه‌پاش به منظور کنترل رطوبت می‌باشد که دمای روزانه ۳ ±۲۰ و دمای شبانه ۳±۱۶ تنظیم گردید. بذور کلم تکمه‌ای رقم Gemmifera را به منظور جوانه‌زنی در ظروف پتری در دمای آزمایشگاه قرار داده و پس از جوانه‌زنی، گیاهچه‌ها به لیوان‌های پلاستیکی و در مرحله چهار برگی به گلدان‌های بزرگ‌تر که هردو حاوی پرلایت بودند، منتقل شدند. زمانی که گیاهان به حد مناسبی از رشد رسیدند (مرحله چهار برگی) به سیستم فلوتینگ انتقال یافتند. در این سیستم ریشه‌های گیاهان در محلول غذائی شناور بوده و بستر کشتی استفاده نمی‌شود. محلول غذایی تغییر یافته هوگلند (جدول ۱) تهیه و به مقدار ۱۲ لیتر به هر ظرف (ارتفاع و قطر دهانه به ترتیب۴۰ و ۳۲ سانتی‌متر) اضافه گردید.

پس از ظاهر شدن ریشه‌های جدید در محلول غذائی، تیمارها انجام گرفت و سلنیوم با غلظت مورد نظر به گلدان‌های حاوی محلول غذایی افزوده شد. تیمار سلنیوم با استفاده از نمک سلنات سدیم (Na_2SeO_4) به جرم مولکولی ۱۸۹گرم تهیه شد. تیمارها بر اساس میلی‌گرم در لیتر محاسبه شدند که شامل صفر، ۲، ۴، ۸، ۱۶ و۳۲ میلی‌گرم در لیتر بود که محلول سلنیوم با غلظت بالا به صورت محلول پایه تهیه و به محلول‌های غذایی جهت به دست آمدن غلظت مورد نظر اضافه می‌شد و روزانه با اضافه نمودن محلول غذایی تازه که با توجه به جدول ۱ در بشکه‌های ۲۲۰ لیتری تهیه می‌گردید، کاهش محلول داخل ظرف به صورت مشاهده‌ای جبران می‌گشت.

جدول۱- غلظت عناصر در محلول غذائی تغییر یافته هوگلند

عنصر	منبع کودی	غلظت عنصر (میلی‌گرم بر لیتر)
K	KNO_3	۲۰۰
Ca	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	۸۰
N	NH_4NO_3	۲۵۰
P	KH_2PO_4	۱۵
Mg	$MgSO_4.7H_2O$	۶۰
B	H_3BO_3	۵
Mn	$MnSO_4.4H_2O$	۴
Zn	$ZnSO_4.5H_2O$	۴
Cu	$CuSO_4.5H_2O$	۲
Mo	$H_2MoO_4.H_2O$	۱
Fe	FeEDTA	۷

هدایت الکتریکی (EC) و pH محلول‌های غذایی به صورت هفتگی کنترل می‌شد و با توجه به شدت نور، محلول غذایی حداکثر تا یک هفته تعویض کامل می‌شد. برای تهویه محلول غذائی از پمپ‌های هوا استفاده گردید.

برداشت گیاهان و اندازه‌گیری عملکرد

پس از گذشت ۱۴ هفته از رشد گیاهان، زمانی که قطر کلم‌ها تقریباً به ۲/۵ تا ۵ سانتی‌متر رسید، گیاهان برداشت گردیده و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. بخش خوراکی که همان جوانه‌های کلم می‌باشند جداسازی و وزن تر و خشک آن‌ها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری کلروفیل

محتوای کلروفیل کل برگ‌ها با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

اندازه‌گیری نیترات برگ

برای اندازه‌گیری نیترات، ابتدا از ماده خشک برگ و اسید استیک عصاره برگ گیاه به طور مجزا برای برگ‌های پیر و جوان تهیه گردید و در مرحله بعد با استفاده از دستگاه نیترات‌سنج (Horiba Instruments Company, Japan) با دقت ٤٪± ، نیترات برگ‌ها اندازه‌گیری گردید (۱).

اندازه‌گیری نشت الکترولیت

برای اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌ها، یک گرم از نمونه‌های برگی پس از ۳ بار شستشو با آب دیونیزه شده جهت حذف الکترولیت‌های جذب سطحی شده در لوله آزمایش ۱۰ میلی‌لیتری در آب دیونیزه شده قرار داده و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد روی لرزاننده قرار گرفتند. در مرحله بعد هدایت الکتریکی محلول اندازه‌گیری شد (L_t) و سپس نمونه‌ها در ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد برای ۲۰ دقیقه در بن‌ماری نگه‌داری شدند و هدایت الکتریکی نهایی (L_o) بعد از تعادل در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد و نهایتاً نشت الکترولیت‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (۵).

$$\text{درصد نشت الکترولیت} = L_t / L_o \times 100$$

اندازه‌گیری سلنیوم

برای اندازه‌گیری سلنیوم نمونه‌های گیاهی پس از خشک شدن در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد پودر گردیده و پس از هضم جهت سوزاندن مواد آلی، برای اندازه‌گیری مقدار سلنیوم به روش کالریمتری ۱۰ میلی‌لیتر عصاره حاصل از هضم به همراه ۱ میلی‌لیتر ماده رنگی فنوتیازین و هم‌چنین ۴ میلی‌لیتر محلول اسیدکلریدریک ۱۰ مولار به درون لوله‌های ۱۵ میلی‌لیتری انتقال یافتند. مقدار جذب محلول‌ها در طول موج ۵۱۳ نانومتر، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (۲۵).

تجزیه‌های آماری

آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار و ۴ تکرار انجام شد. داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نمودارها و اشکال با استفاده از نرم‌افزار مایکروسافت آفیس اکسل رسم گردید.

نتایج

اثر سلنیوم بر عملکرد

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، افزایش غلظت سلنیوم در محلول غذایی تأثیر مثبت معنی‌داری بر روی عملکرد گیاه کلم تکمه‌ای شامل تعداد جوانه‌ها، وزن‌تر و خشک جوانه‌ها داشت (جدول ۲). با افزایش سطوح سلنیوم اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد در تعداد جوانه کلم تکمه‌ای مشاهده گردید. بالاترین تعداد جوانه کلم تکمه‌ای را سطوح ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم و کمترین تعداد را سطح ۲، ۴ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم نشان داد (شکل ۱). وزن‌تر جوانه یا همان عملکرد کل و وزن خشک جوانه با افزایش سطوح سلنیوم تا سطح ۱۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم افزایش معنی‌داری یافت و در سطح ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به کم‌ترین مقدار خود رسید که در این سطح اختلاف معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان نداد. وزن‌تر یا عملکرد و هم‌چنین وزن خشک جوانه هر دو اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد نشان دادند (شکل ۲). حداکثر عملکرد در غلظت ۸ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد که نسبت به شاهد ۴۰ درصد افزایش داشت. شاخص کلروفیل با افزایش غلظت سلنیوم تا ۸ میلی‌گرم در لیتر افزایش و سپس کاهش یافت.

اثر سلنیوم بر خصوصیات فیزیولوژیکی

خصوصیات فیزیولوژیکی به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای سلنیومی قرار گرفت به طوری‌که شاخص کلروفیل برگ با افزایش سطوح سلنیوم تا سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر افزایش معنی‌داری را نشان داد (شکل ۳). بالاترین میزان کلروفیل در سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر و پایین‌ترین میزان کلروفیل در سطح ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیومی مشاهده شد. سطوح ۱۶ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم در مقایسه با سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر میزان کلروفیل پایین‌تر و نسبت به گیاه

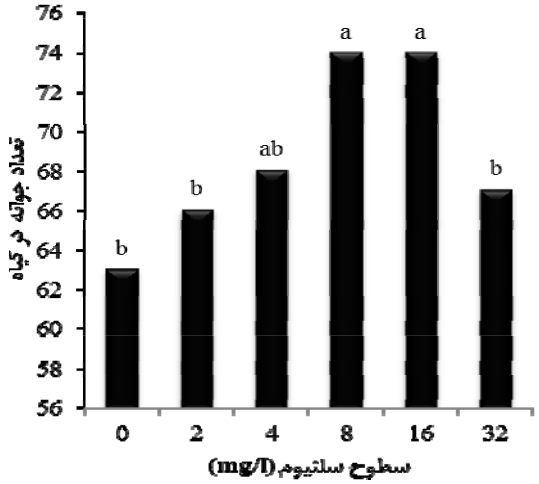
شاهد و سطح ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر میزان کلروفیل بالاتری را نشان دادند (شکل۳).

غلظت نیترات در برگ‌ها با افزایش غلظت سلنیوم افزایش معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد. سطح ۱۶میلی‌گرم در لیتر سلنیوم بالاترین میزان غلظت نیترات را در برگ‌های جوان و سطح ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم بالاترین غلظت نیترات را در برگ‌های پیر نشان داد (شکل ۴). سطح ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم نیز غلظت نیترات بالایی را در برگ‌های جوان در مقایسه با شاهد و سایر سطوح نشان داد. سایر سطوح (۲، ۴ و ۸ میلی‌گرم در لیتر) اختلاف معنی‌داری را نسبت به هم و شاهد نشان ندادند. پایین‌ترین غلظت نیترات را در برگ‌های پیر گیاه شاهد نشان داد و سایر سطوح اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. درصد نشت الکترولیت با افزایش غلظت سلنیوم در برگ‌های پیر کاهش یافت و اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد. بالاترین درصد نشت الکترولیت را سطح ۲ میلی‌گرم در لیتر و پایین‌ترین درصد نشت الکترولیت را سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم نشان داد (شکل۵). هم‌چنین درصد نشت الکترولیت در برگ‌های جوان با افزایش سطوح سلنیوم افزایش یافت ولی این افزایش در مقایسه با شاهد کم‌تر است. بالاترین درصد نشت الکترولیت در برگ‌های جوان را شاهد و پایین‌ترین درصد نشت الکترولیت را سطح ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم نشان داد (شکل۵).

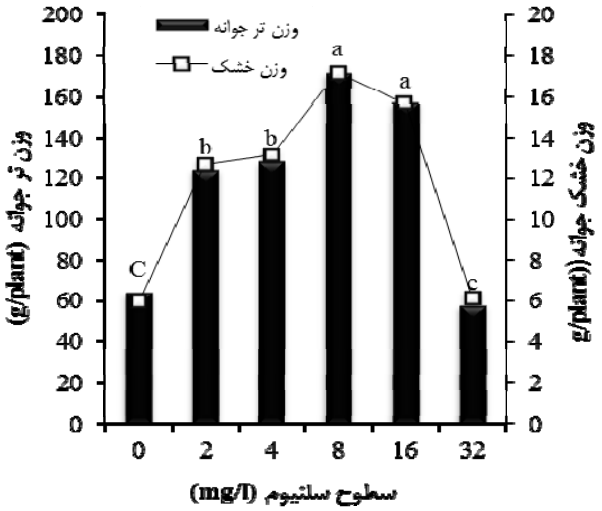
جدول۲- تجزیه واریانس تاثیر سلنیوم بر خصوصیات کمی کلم تکمه‌ای

صفات	درجه آزادی	میانگین مربعات	خطای آزمایشی
تعداد جوانه	۵	۷۷/۲۲*	۷۳۱/۷
وزن تر جوانه	۵	۸۸۵۵/۶**	۳۲۳۲/۷
وزن خشک جوانه	۵	۹۰/۴**	۴۱/۶

**- اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، *- اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns – عدم معنی‌داری.



شکل۱- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر تعداد جوانه کلم تکمه‌ای

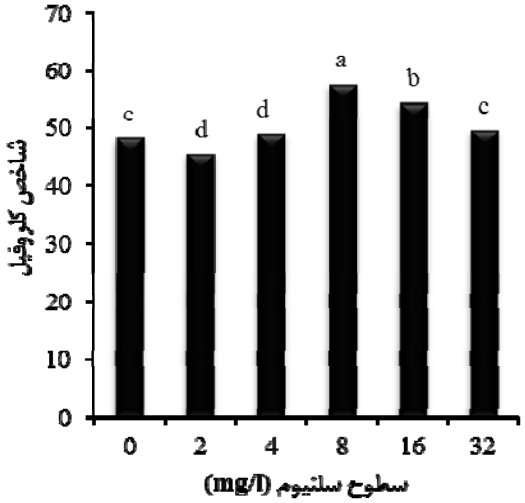


شکل۲- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر وزن تر و خشک جوانه کلم تکمه‌ای

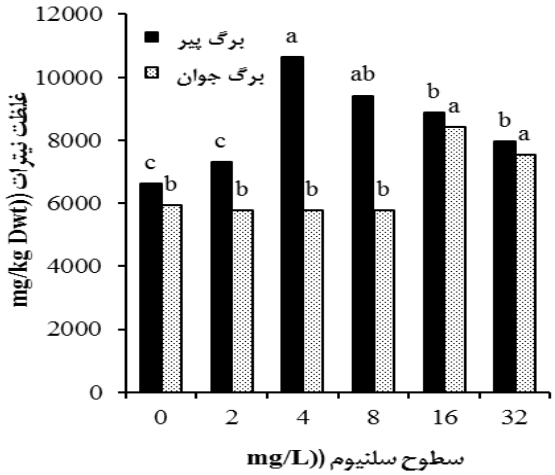
جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر سلنیوم بر خصوصیات فیزیولوژیکی کلم تکمه‌ای

صفات	درجه آزادی	میانگین مربعات	خطای آزمایشی
شاخص کلروفیل	۵	۸۱/۸**	۵۸/۹
نیترات برگ جوان	۵	۲۶۴۷۱۸۷/۵**	۲۷۱۳۷۵۰/۰
نیترات برگ پیر	۵	۶۳۴۶۳۵۴/۱**	۲۳۵۳۰۰۰۰/۰
نشت الکترولیت در برگ جوان	۵	۱۰۹/۲**	۴/۲
نشت الکترولیت در برگ پیر	۵	۲۳/۷**	۱/۷

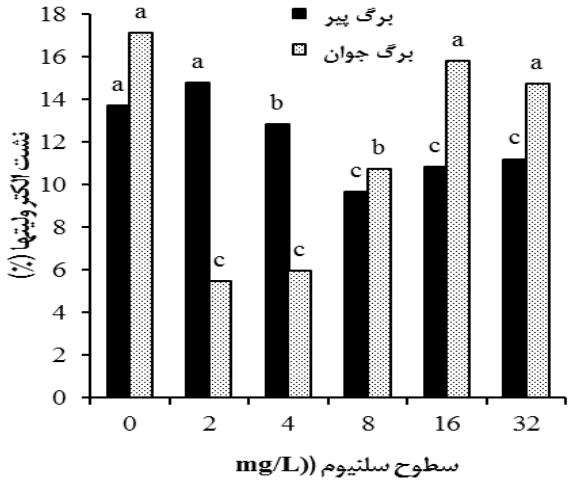
**- اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، *- اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns- عدم معنی‌داری.



شکل ۳- اثر سطوح مختلف سلنیوم بر شاخص کلروفیل برگ کلم تکمه‌ای



شکل٤- تأثیر سطوح مختلف سلنیوم بر میزان نیترات در برگ‌های پیر و جوان کلم تکمه‌ای



شکل ٥- تأثیر سطوح مختلف سلنیوم بر نشت الکترولیت‌ها در برگ‌های پیر و جوان کلم تکمه‌ای

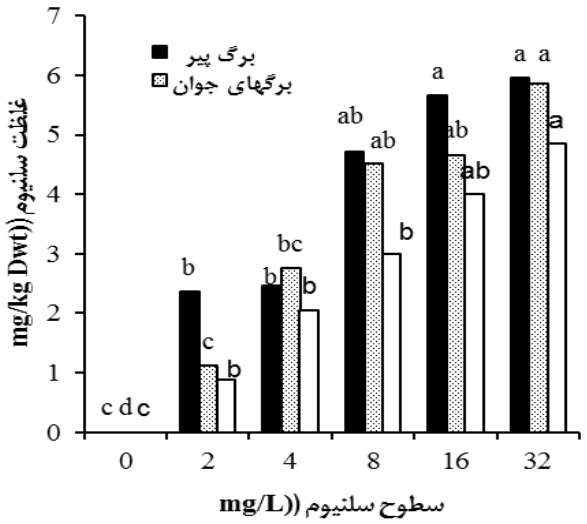
غلظت سلنیوم

نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت سلنیوم در جوانه و برگ‌های گیاه کلم تکمه‌ای به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای سلنیومی قرار گرفته است (جدول ۴). با افزایش سطوح سلنیوم در محلول غذائی غلظت سلنیوم در جوانه‌ها، برگ‌های جوان و برگ‌های پیر افزایش یافت. در کل حداقل غلظت سلنیوم در تیمار شاهد و حداکثر در غلظت بالاترین غلظت ۳۲ و ۱۶ میلی‌گرم در لیترسلنیوم مشاهده گردید (شکل ۶). غلظت سلنیوم به ترتیب برگ‌های پیر>برگ‌های جوان> جوانه‌ها بود. یک رابطه مثبت بین غلظت سلنیوم در برگ‌های پیر و جوان دیده شد (شکل ۷).

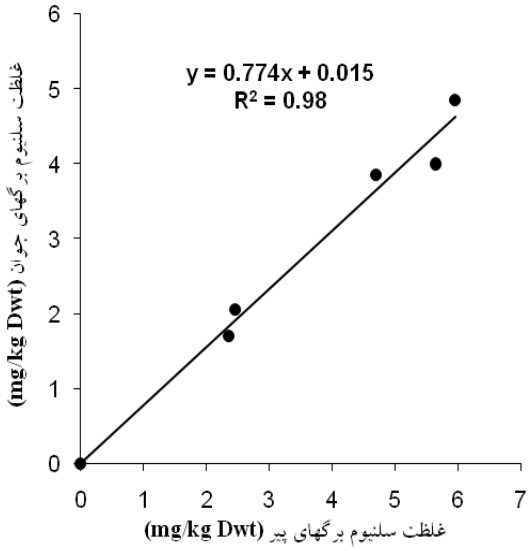
جدول٤- تجزیه واریانس تأثیر سلنیوم بر میزان سلنیوم در اندام‌های گیاهی کلم تکمه‌ای

صفات	درجه آزادی	میانگین مربعات	خطای آزمایشی
سلنیوم جوانه	۵	۱۰/۲*	۱۱/۴
سلنیوم برگ جوان	۵	۶/۵*	۸/۱
سلنیوم برگ پیر	۵	۱۰/۷**	۲/۹

**- اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، *- اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns- عدم معنی‌داری



شکل ٦- تاثیر سطوح مختلف سلنیوم بر میزان سلنیوم در برگ‌های پیر، جوان و جوانه‌های کلم تکمه‌ای



شکل ۷- رابطه بین میزان سلنیوم در برگ‌های جوان و پیر کلم تکمه‌ای

بحث

سلنیوم شاخص کلروفیل را در برگ‌ها افزایش داد (شکل ۳). حاجی‌بلند و کیوانفر (۱۶) بیان نمودند که محتوای کلروفیل b و کارتنوئید به وسیلهٔ تیمار سلنیوم در گندم افزایش یافت. گیاهان تیمار شده با سلنیوم تاخیر قابل توجهی در پیری غلاف را نشان داد و غلاف‌ها به مدت طولانی سبز باقی می‌مانند. کاربرد سلنیوم هم‌چنین در به تاخیر انداختن پیری در گیاهان نخود موثر است (۹). هاوریلک و همکاران (۱۹) گزارش کردند که کاربرد سلنیوم بر روی کاهو باعث افزایش محتوای کلروفیل و همچنین کارتنوئید می‌گردد. کاربرد سلنیوم باعث جلوگیری از تخریب کلروفیل تحت شرایط تنش خشکی در سیب‌زمینی می‌گردد (۳۴). شارما و همکاران (۳۶) گزارش کردند که تجمع سلنیوم در برگ منجر به افزایش معنی‌دار در کلروفیل می‌گردد. مازافرا (۲۷) بیان کرد که تیمار با سلنیت سدیم باعث کاهش در محتوای کلروفیل در گیاه قهوه می‌گردد. در مقابل محتوای بالای کلروفیل در اسفناج و گوجه‌فرنگی که با ۵ میکرومول سلنیوم تیمار شده بود مشاهده گردید (۱۸). مالورگیو و همکاران (۲۶) بیان نمودند که کاربرد ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم در محلول غذایی کاهو، در جلوگیری از تخریب کلروفیل موثر است ولی کاربرد غلظت‌های بالای سلنیوم (۴۰ میلی‌گرم در لیتر) موجب کاهش در محتوای کلروفیل در کاهو و شیکوره می‌گردد. افزایش در محتوای کلروفیل در گیاهچه‌های گندم ممکن است به دلیل تأثیر سلنیوم بر روی حفاظت آنزیم‌های کلروپلاست و افزایش در رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد در مقابل غلظت‌های بالای سلنیوم موجب کاهش در رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌گردد (۳۱)، این نتایج مطابق با یافته‌های پادماج و همکاران (۲۹) می‌باشد.

سلنیوم به طور کلی باعث افزایش غلظت نیترات در برگ‌های جوان و پیر در مقایسه با شاهد گردید (شکل ۴). مالورگیو و همکاران (۲۶) گزارش کردند که در کاهو کاربرد سلنیوم در محلول غذایی منجر به افزایش در محتوای نیترات برگ در گیاهان پرورش یافته در پاییز و زمستان گردید ولی کاربرد سلنیوم در غلظت‌های بالا موجب کاهش در غلظت نیترات گردید. در شیکوره افزودن سلنیوم باعث افزایش محتوای نیترات در فصل پاییز شد. کاربرد ۱ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم در فصل بهار موجب افزایش محتوای نیترات در شیکوره گردید. کاربرد سلنیوم باعث افزایش سطوح پتاسیم در گیاه می‌گردد و با افزایش سطوح پتاسیم جذب نیترات افزایش می‌یابد (۱).

نشت الکترولیت پارامتری جهت نمایش ثبات غشا و از آن طریق روشی جهت بیان مقدار یون نسبی در فضای آپوپلاست می‌باشد (۲۱). کاربرد سلنیوم موجب کاهش نشت الکترولیت در برگ‌های پیر و جوان شد (شکل ۵). آباس (۳) گزارش کرد که کاربرد سلنیوم (غلظت‌های ۳ و ۶ میلی‌گرم در لیتر) بر روی گندم به طور معنی‌داری درصد نشت الکترولیت را در مقایسه با گیاهان تیمار نشده کاهش داد ولی غلظت‌های بالای سلنیوم (۱۲ میلی‌گرم در لیتر) باعث افزایش درصد نشت الکترولیت گردید. نشت الکترولیت اثر مستقیمی با سلنیوم دارد. درصد نشت الکترولیت به طور معنی‌داری در محور جنین دانه‌های خیسانده شده با سلنیوم در مقایسه با آب کاهش یافت (۳۹). سپانن و همکاران (۳۴) بیان نمودند که تیمار سلنیوم در کاهو مقاومت و پایداری غشا را در طی تنش اکسیداتیو بهبود می‌بخشد.

مالورگیو و همکاران (۲۶) گزارش کردند که محتوای سلنیوم با افزایش غلظت سلنیوم در محلول غذایی هم در شیکوره و هم در کاهو افزایش می‌یابد. دوکسای و همکاران (۱) بیان نمودند که کاربرد سلنیوم در غلظت‌های بالا موجب افزایش قابل توجه محتوای سلنیوم در دانه و سپس ریشه گندم می‌شود، بالاترین غلظت سلنیوم در دانه و ریشه گندم می‌باشد. کاربرد سلنیوم در محلول غذایی گیاهان کاهو و شیکوره باعث افزایش در غلظت سلنیوم برگ‌ها می‌گردد که در نتیجه منجر به تأثیرات مثبت بر روی عملکرد گیاه خواهد بود (۲۶). گزارش شده است که اندام‌های هوایی دریافت کننده سلنات هستند (۴). نقش آنتی‌اکسیدانی سلنیوم وابسته به غلظت آن در محیط رشد و در بافت-های گیاهی است، در غلظت‌های پایین فعالیت سلنیوم به صورت آنتی‌اکسیدانت است که منجر به کاهش فعالیت لیپیدپروکسیداسیون می‌گردد، در حالی‌که در غلظت‌های بالا موجب افزایش فعالیت لیپیدپروکسیداسیون در گندم (۲۸) و چچم (۶) می‌شود. فعالیت لیپیدپروکسیداسیون در برگ‌ها وابسته به غلظت سلنیوم در شاخه و فرم شیمیایی به کار رفته سلنیوم دارد. تورکاینن (۴۲) مشاهده کرد که غلظت سلنیوم در برگ‌های بالائی، ریشه‌ها و استولون‌ها و غده‌های سیب‌زمینی با افزایش سلنیوم افزایش می‌یابد. هم‌چنین روش کاربرد نیز بر روی غلظت سلنیوم اثر دارد. در گیاه چای، کاربرد محلول‌پاشی با سلنات به طور معنی‌داری محتوای سلنیوم را در برگ‌ها افزایش می‌دهد (۲۰). رابطه مثبت افزایش غلظت سلنیوم در برگ‌های جوان و برگ‌های پیر در شکل ۷ نشان دهنده احتمالی تحرک نسبی سلنیوم در گیاه است که لازم است در تحقیقات آینده مورد توجه و مطالعه بیش‌تر قرار گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

در ویژگی‌های فیزیولوژیکی نیز افزایش سطوح سلنیوم سبب افزایش شاخص کلروفیل گردید که از طریق ممانعت از تخریب کلروفیل می‌باشد. نیترات برگ تحت تأثیر سلنیوم قرار گرفت و در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. سطح ۱۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم بالاترین میزان غلظت نیترات را در برگ جوان و در برگ‌های پیر سطح ۴ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم بالاترین میزان غلظت نیترات را نشان داد. درصد نشت الکترولیت با افزایش سطوح سلنیوم کاهش یافت. در واقع سلنیوم توانسته سبب افزایش مقاومت غشای سلولی و کاهش نشت مواد شود و در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. در ویژگی‌های کمی نیز تعداد جوانه‌ها به طور معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) تحت تأثیر تیمارهای سلنیومی قرار گرفت و بالاترین تعداد جوانه را دو سطح ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم نشان داد. هم‌چنین با افزایش سطوح سلنیوم عملکرد، وزن تر و خشک جوانه افزایش معنی‌داری را در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد. سطوح ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم بالاترین وزن تر جوانه یا همان عملکرد کل و وزن خشک جوانه و سطح ۳۲ میلی‌گرم در لیتر و شاهد کم‌ترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. در نهایت نتایج تحقیق نشان داد که تیمار سلنیوم موجب افزایش غلظت سلنیوم در جوانه و برگ‌ها شد و از لحاظ آماری معنی‌دار گردید و از این عنصر می تواند حداکثر ۸ میلی گرم در لیتر به محلول غذائی اضافه نمود.

منابع

۱- طباطبائی س.ج. ۱۳۸۸. اصول تغذیه معدنی گیاهان. مولف، تبریز، ایران. صفحه ۲۹۸-۲۹۶.

۲- فرخ‌پی ه. ۱۳۸۴. سلنیوم و اصلاح آلودگی آن در خاک. پایان نامه کارشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

3- Abbas S. 2012. Effects of low temperature and selenium application on growth and the physiological changes in sorghum seedlings. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 8: 268-286.

4- Arvy M.P. 1993. Selenate and selenite uptake and translocation in bean plants (*Phaseolus vulgaris*). Journal of Experimental Botany, 44: 1083-1087.

5- Bates L.S., Waldren R.P., and Teare I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.

6- Cartes P., Gianfreda L., and Mora MvL. 2005. Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. Plant and Soil, 276: 359-367.

7- Dhillon K.S., and Dhillon S.K. 2003. Distribution and management of seleniferous soils. Agronmony, 79: 119-185.

8- Dietary Reference Intakes (DRIs): Recommended Intakes for Individuals, Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academies, 2004, retrieved 2009.

9- Djanaguiraman M., Devi D.D., Shanker A.K., Sheeba A., and Bangarusamy U. 2005. Selenium-an antioxidative protectant in soybean during senescence. Plant and Soil, 272: 77-86.

10- Ducsay L., Ložek O., and Varga L. 2009. The influence of selenium soil application on its content in spring wheat. Plant, Soil and Environment, 55(2): 80–84.

11- Ekelund N.G.A., and Danilov R.A. 2001. The influence of selenium on photosynthesis and light-enhanced dark respiration (LEDR) in the flagellate *Euglena gracilis* after exposure to ultraviolet radiation. Aquatic Science, 63:

457-465.
12- Finley J.W., Sigrid-Keck A., Robbins, R.J., and Hintze K.J. 2005. Selenium enrichment of broccoli: interactions between selenium and secondary plant compounds. Journal of Nutrition, 135: 1236-1238.
13- Geoffroy L., Gilbin R., Simona O., Floriani M., Adama H., Pradines C., Cournac L. and Garnier-Laplace J. 2007. Effect of selenate on growth and photosynthesis of *Chlamydomonas reinhardtii*. Aquatic Toxicology, 83:149-158.
14- Germ, M., and Osvald, J. 2005. Selenium treatment affected respiratory potential in Eruca sativa. Acta. Agriculture. Slovenia, 85: 329 335.
15- Germ M., Stibilj V., Osvald J., and Kreft I. 2007. Effect of selenium foliar application on chicory (*Cichorium intybus* L.). Journal of Agriculture and Food Chemistry, 55: 795-798.
16- Hajiboland R., and Keivanfar N. 2011. Selenium supplementation stimulates vegetative and reproductive growth in canola (*Brassica napus* L.) plants. Acta. Agriculture. Slovenia, 99(1): 13-19.
17- Hartikainen H., Xue T., and Piironen V. 2000. Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. Plant and Soil, 225: 193-200.
18- Hawrylak B., and Szymanska M. 2004. Selenium as a sulphydrylic group inductor in plants. Cellular and Molecular Biology Letters, 9: 329-336.
19- Hawarylak B., Matraszek R., Szymanska M. 2007. Respones of lettuce (*Lactica sativa* L.) to selenium in nutrient solution contaminated with nickel. Vegetable Crops Research Bulletin, 67: 63-70.
20- Hu Q. H., Xu J., and Pang G. X. 2003. Effect of selenium on the yield and quality of green tea leaves harvested in early spring. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 51: 3379-3381.
21- Kaya C., Higgs D., and Krinak H. 2001. The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. Journal of Plant Physiology, 27: 47-59.
22- Koivistoinen P. 1980. Mineral element composition of Finnish foods. Acta. Agriculture. Scandivica, 22: 1-171.
23- Kopsell D.A., Randle W.M., and Mills H.A. 2000. Quantitative, chemically specific imaging of selenium nutrient accumulation in leaf tissue of rapid-cycling Brassica oleracea responds to increasing sodium selenate concentrations. Journal. plant nutrition, 23: 927-935.
24- Lefsrud M.G., Kopsell D.E., Kopsell D.A., Randle D.E. and Kale W.M. 2006. Carotenoids are unaffected by, whereas biomass production, elemental concentrations, and selenium accumulation respond to changes in selenium fertility. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 54: 1764-1771.
25- Mahaveer B.M., and Jaldappa S. 2000. Spectrophotometric Determination of Selenium (IV) Using Methdilazine Hydrochloride. Turkish Journal of Chemistry, 24: 287-290.
26- Malorgio F., Diaz k., Ferrante A. 2009. Effects of selenium addition on minimally processed leafy vegetables grown in a floating system. Journal Science Food and Agriculture, 89: 2243–2251.
27- Mazzafer P. 1998. Growth and biochemical alterations in coffee due to selenite toxicity. Plant and Soil, 201: 189 196.
28- Nowak J., Kaklewski K., Ligocki M. 2004. Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and in plants. Soil. Biology and. Biochemistry, 36: 1553-1558.
29- Padmaja K., Prasad D.D., and Prasad A.R. 1990. Selenium as a novel regulator of porphyrin biosynthesis in germinating seedlings of mung bean (*Phaseolus vulgaris*). International Journal of Biological, 22: 441-446.
30- Pennanen A., Hartikainen H., Lukkari K., and Ollilainen V. 2001. Accilmation of Lactucasativa to increased UV irradiation at various selenium levels. Photosynthesis Research (Abstracts of 12th Congress on hotosynthesis), 69:30.
31- Pennanen A., Xue T., and Hartikainen H. 2002. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irridiation stress. Journal of Applied Botany and Food Quality, 76: 66–76.
32- Rayman M.P. 2000. The importance of selenium to human health. Lancet. 356 (9225): 233.
33- Rosenfeld I., and Beath O.A. 1964. Selenium. Geobotany, Biochemistry, Toxicity and Nutrition. Academic. USA, pp 411.
34- Seppänen M., Turakainen M., and Hartikainen H. 2003. Selenium effects on oxidative stress in potato. Plant Science, 165: 311-319.
35- Shanker K., Mishra S., Srivastava S., Srivastava R., Daas S., Prakash S., and Srivastava M.M. 1996. effect of selenite and selenate on plant uptake and translocation of mercury by tomato (*Lycopersicon esculentum*). Plant and Soil, 183:233-238.
36- Sharma, S., Bansel, A., Dhillon, S., and Dhillon, S. 2009. Comparative effects of selenate and selenite on growth and biochemical composition of rapeseed (*Brassica napus* L.). Plant and Soil, 329: 339-348.
37- Simojoki A., Xue T., Lukkari K., Pennen A., and Hartikainen H. 2003. Allocation of added selenium in lettuce and its impact on roots. Agriculture and Food Science in Finland, 12: 155-164.
38- Singh A. 1996. Growth, Physiological, and Biochemical Responses of Three Tropical Legumes to Enhanced UV_B Radiation. Canadian Journal of Botany**,** 74: 135-139.
39- Sippola J. 1979. Selenium content of soils and timothy (*Phleum pretense* L.) in Finland. Journal of Agriculture, 18: 182-187.

40- Stanisława P., Ewelina R., and Ewa K. 2011. The protective role of selenium in recalcitrant Acersaccharium L. seeds subjected to desiccation. Journal plant and physiology, 168: 220-225.
41- Terry N., Zayed A.M. De Souza M.P., Tarun A.S. 2000. Selenium in higher plants. Plant and Molecular Biology, 51: 401-432.
42- Turakainen M. 2007. Selenium and its effects on growth, yield and tuber quality in potato. Crop Science, 30: 1-50.
43- Valkama E., Kivimaenpaa M., Hartikainen H., and Wulff A. 2003. The combined effects of enhanced UV-B radiation and selenium on growth, chlorophyll fluorescence and ltrastructure in strawberry (Fragaria × ananassa) and barley (*Hordeum vulgare*) treated in the field. Agricultural and Forest Meteorology, 120: 267-278.
44- White P.J., Bowen H.C., Parmaguru P., Fritz M., Spracklen W.P., Spiby R.E., Meacham M.C., Mead A., Harriman M., Trueman L.J., Smith B.M., Thomas B., and Broadley M.R. 2004. Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana*. Journal of Experimental Botany. (Special Issue of Sulphur Metabolism in Plants), 55: 1927 1937.
45- White P.J., Broadley M.R. 2009. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets-iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. The journal of lipid research, 182 (1): 49–84.
46- Wu L. 2004. Review of 15 years of research on ecotoxicology and remediation of land contaminated by agricultural drainage sediment rich in selenium. Ecotoxicology and Environmental Safety, 57: 257-269.
47- Xue T., Hartikainen H., and Piironen V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. Plant and Soil, 237: 55-61.