بررسی اثرات برهمکنش سلنیوم و مولیبدن بر محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ گوجه فرنگی (*Lycopersicom esculentum* Mill.)

رمضانعلی خاوری‌نژاد، *زینب گوشه‌گیر، سارا سعادتمند

گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

سلنیوم عنصری است که برای گیاهان ضروری شناخته نشده است، با این حال، گیاهان سلنیوم را جذب می‌کنند. مولیبدن فلزی سنگین است که در مقادیر بسیار ناچیز مورد نیاز گیاهان است. مولیبدن در مقادیر بالا می‌تواند برای گیاهان و دیگر موجودات زنده سمیت ایجاد کند. در این تحقیق اثرات برهم‌کنش سلنیوم و مولیبدن بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه گوجه فرنگی رقم ارلی اوربانا ۱۱۱ (*Lycopersicom esculentum* Mill. cv. Early Urbana111) مورد بررسی قرار گرفت. محتوی کلروفیل a، b، بتاکاروتن و گزانتوفیل موجود در برگ با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. همچنین وزن خشک گیاه اندازه‌گیری شده است. سلنیوم بر وزن خشک بخش هوایی اثر معنی‌داری نداشته و تنها وزن خشک ریشه را بطور معنی‌داری کاهش داد. همچنین سلنیوم موجب افزایش محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی گردید. مولیبدن در غلظت‌های بکار رفته موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک کل گیاه شده و محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ را نیز به میزان قابل توجهی کاهش داد. بنابراین مولیبدن در گیاه ایجاد سمیت کرده است. سلنیوم در غلظت‌های ۱ و ۲ پی.پی.ام تا حدودی اثرات سمی مولیبدن را تعدیل کرد. در این تحقیق نشان داده شده است که سلنیوم می‌تواند اثرات بهبود دهنده بر تنش ناشی از سمیت مولیبدن به عنوان یک فلز سنگین بگذارد.

کلمات کلیدی: سلنیوم، مولیبدن، گوجه فرنگی، فلزات سنگین، سمیت

مقدمه

سلنیوم عنصری ضروری برای بسیاری از موجودات زنده است، با این حال از سلنیوم به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان نام برده نشده است (Terry *et al.*, 2000; Ferri *et al.*, 2006; Eliss *et al.*, 2007). گیاهان واکنش‌های فیزیولوژیک متنوعی را در برابر سلنیوم از خود بروز می‌دهند و برخی گونه‌ها مقدار زیادی سلنیوم را در خود جمع می‌کنند، در حالی که بسیاری از گونه‌های گیاهی نسبت به وجود مقادیر زیاد سلنیوم در خاک و آب حساس بوده و سلنیوم برای آنها عنصری سمی محسوب می‌شود (Terry *et al.*, 2000). اثر سلنیوم بر رشد گیاه نشان دهنده ایجاد سمیت این عنصر برای گیاه است.

*email:zneverhood2005@yahoo.com

در اغلب موارد، سلنیوم رشد گیاه و همین طور تولید ماده خشک گیاهی را کاهش می‌دهد که بسته به غلظت بکار رفته و سن گیاه متفاوت است. با این حال در برخی موارد سلنیوم رشد گیاه را بهبود داده است (Shanker *et al.*, 1996; Kopsell *et al.*, 2000; Xue *et al.*, 2001; Pennanen *et al.*, 2001; Simojoki *et al.*, 2003;Valkama *et al.*, 2003; White *etal*,;2004; Germ *et al.*, 2005; Lefsrud *et al.*, 2006; Geuffray, 2007).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که سلنیوم می‌تواند قابلیت دسترسی سایر عناصر مورد نیاز گیاه و همچنین فلزات سنگین و کمیابی همچون مولیبدن را هم در محیط خاک و هم در محیط ریشه و هم در سلول‌های گیاهی تحت تاثیر خود قرار دهد (Feroci *et al.*, 2005). در همین خصوص اثرات غنی سازی گیاهک کلم (*Brassica oleracea* L.) با سلنیوم بر دیگر عناصر مغذی و مورد نیاز گیاه مورد بررسی قرار گرفته است (Kopsell *et al.*, 2000). همچنین برهمکنش میان جذب سلنیوم به شکل سلنات و عنصر ید (به شکل یدات) تحت شرایط تنظیم شده محیط غذایی مایع در گیاه اسفناج بررسی شده است (Zhu *et al.*, 2004). مطالعه اثرات سلنات سدیم و سلنیت سدیم روی تجمع عناصر در برگ‌های کلم (*B. oleracea* L. var accephala) نشان داده است که افزایش غلظت سلنات بر غلظت عناصر P، K، Ca، Mg، S، B، Cu، Mn و Mo موثر است، اما سلنیت تنها بر غلظت B و S اثرگذار بوده است (Lefsrud *et al.*, 2006). سلنیوم معمولاً با کاهش میزان جذب عناصر سنگین اثرات سمی آنها را کاهش می‌دهد، اما اثر سلنیوم بر جذب مولیبدن دقیقاً شناخته نشده است. با این حال برخی شواهد نشان می‌دهد که سلنیوم بسته به غلظت‌های به کار رفته در محیط ریشه به همراه غلظت‌های مختلف مولیبدن می‌تواند جذب و انتقال این عنصر را توسط گیاه افزایش دهد (Khattak *et al.*,1989).

سلنیوم بر غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی همچون کلروفیل و کارتنوئیدها موثر بوده و اغلب محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی را کاهش می‌دهد (Padmaja *et al.*, 1990; Xue *et al.*, 2001; Valkama *et al.*, 2003; Fargasova *et al.*, 2006; Lefsrud *et al.*, 2006).

در پژوهش حاضر اثرات سلنات سدیم در برهمکنش با عنصر مولیبدن که یک ریز مغذی برای گیاه محسوب می‌شود، بر رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه گوجه فرنگی و همچنین اثر سلنیوم بر بهبود تنش ناشی از سطوح بالای مولیبدن به عنوان یک فلز سنگین در گیاه و تاثیر آن بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و تولید ماده خشک مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

پرورش گیاهان

بذور گوجه فرنگی رقم ارلی اوربانا ۱۱۱ cv. Early Urbana111 *Lycopersicom esculentum* Mill. ابتدا با محلول وایتکس ۱درصد به مدت ۱۰ دقیقه ضدعفونی شدند. سپس بذور را به منظور جوانه زنی در ظروف پتری در دمای ۲۵°C و تاریکی قرار داده شدند. پس از جوانه زنی، دانه رست‌ها به گلدان‌های حاوی پرلیت منتقل شدند.

گلدان‌ها در محیط گلخانه (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان واقع در اهواز) در زیر پوشش پلاستیکی و نور طبیعی قرار داده شدند.. شرایط محیطی از نظر دما (۲۷°C) و رطوبت (۷۵ درصد) تنظیم شد. گیاهان با محلول هوگلند (Hogland and Arnon, 1950) تغذیه شدند. پس از ۳ هفته که گیاهان به مرحله ۵ الی ٦ برگی رسیدند تیماردهی شروع شده و تیمارهای مورد نظر به همراه محلول غذایی هوگلند به بوته‌ها داده شد.

محلول سلنیوم با استفاده از نمک سلنات سدیم (Na_2SeO_4) به جرم مولکولی ۱۸۹ گرم تهیه شد. تیمارها بر اساس پی.پی.ام غلظت عنصری سلنیوم محاسبه شدند و شامل غلظت‌های صفر (شاهد)، ۰/۵، ۱ و ۲ پی.پی.ام بود. محلول مولیبدن نیز با استفاده از نمک مولیبدات سدیم ($Na_2MoO_4.2H_2O$) به جرم مولکولی ۲٤۱/۹۵ گرم تهیه شد. برای مولیبدن نیز غلظت نهایی بر اساس پی پی ام غلظت عنصری مولیبدن محاسبه شد و شامل غلظت‌های صفر (شاهد)، ۰/۲، ۰/٤ و ۰/٦ پی پی ام بود (جدول ۱).

جدول ۱: تیمارهای مختلف سلنیوم و مولیبدن به کار رفته در آزمایش

Mo \ Se	0 ppm	0.5 ppm	1 ppm	2 ppm
0 ppm	شاهد	0.5 Se + 0 Mo	1 Se + 0 Mo	2 Se + 0 Mo
0.2 ppm	0 Se + 0.2 Mo	0.5 Se + 0.2 Mo	1 Se + 0.2 Mo	2 Se + 0.2 Mo
0.4 ppm	0 Se + 0.4 Mo	0.5 Se + 0.4 Mo	1 Se + 0.4 Mo	2 Se + 0.4 Mo
0.6 ppm	0 Se + 0.6 Mo	0.5 Se + 0.6 Mo	1 Se + 0.6 Mo	2 Se + 0.6 Mo

اندازه‌گیری رشد گیاه

بوته‌های گوجه فرنگی در این پژوهش پس از گذشت ۳۵ روز (که ١٤ روز آن را تحت تیمار بودند) برداشت شدند. بوته‌ها از محل طوقه به دو بخش تقسیم شدند. بخش هوایی گیاه و ریشه‌ها به مدت ٤٨ ساعت در آون در دمای ۷۵°C قرار گرفته و بدین ترتیب خشک شدند. بعد از خشک شدن بخش‌های مختلف گیاهی، هر بخش با ترازو توزین شده و وزن خشک نمونه‌ها تعیین شد (خاوری‌نژاد، ۱۳۷۵).

اندازه‌گیری محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ

اندازه‌گیری محتوی کلروفیل برگ

برای تعیین غلظت کلروفیل a و b عصاره استُنی برگ تازه با استفاده از استن ۸۰ درصد تهیه شد. جذب نوری عصاره برگ در طول موج‌های ٦٤٥ نانومتر و ٦٦٣ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (Jenway, UK) اندازه‌گیری شد (Arnon, 1949). اعداد بدست آمده در فرمول‌های مربوطه جایگذاری و پس از انجام محاسبات تکمیلی، غلظت کلروفیل‌ها بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر برگ تعیین شد (روابط ۱ تا ٤).

$$(Chla) = 0.0127A_{663} - 0.00269A_{645}$$ (رابطه ۱)

$$(Chlb) = 0.0229\ A_{645} - 0.00468\ A_{663}$$ (رابطه ۲)

$$(Chla + Chlb) = 0.0202\ A_{645} + 0.00802\ A_{663}$$ (رابطه ۳)

$$ratio = (Chla)/(Chlb)$$ (رابطه ٤)

که در این روابط A_{663} = جذب نوری در طول موج ٦٦٣ نانومتر؛ A_{645} = جذب نوری در طول موج ٦٤٥ نانومتر؛ Chl a = کلروفیل a و Chl b = کلروفیل b هستند.

اندازه‌گیری محتوی کارتنوئیدهای برگ گیاه

با استفاده از عصاره استنی برگ تازه که در مرحله قبل تهیه شده بود، جداسازی بتاکاروتن و گزانتوفیل توسط حلال‌های آلی متانول، اترنفت و دی اتیل اتر از رنگیزه‌های کلروفیلی صورت گرفت (Hellebust and Carigie, 1978). جذب نوری عصاره‌ها در ٤٥٥ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و اعداد بدست آمده در فرمول زیر جایگذاری و غلظت بتاکاروتن و گزانتوفیل پس از انجام محاسبات تکمیلی و تعیین غلظت بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد (رابطه ۵).

$$C = (V.A.F.10) / 2500$$ (رابطه ۵)

که در این رابطه V = حجم عصاره بدست آمده بر حسب میلی لیتر؛ A = میزان جذب نوری در طول موج ٤٤٥ نانومتر؛ F = ضریب رقت ؛ C = تراکم کلی رنگیزه مورد نظر بر حسب میلی گرم در میلی لیتر هستند.

تجزیه‌های آماری

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با دو عامل سلنیوم در ٤ سطح و مولیبدن در ٤ سطح (٤×٤) با ٤ تکرار انجام شد (١٦ تیمار و ٦٤ گلدان). بررسی نتایج و تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از برنامه آماری SPSS 13 (General Linear Model, Univariate) و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD انجام شد. نتایج در سه سطح آماری $p<0.05$، $p<0.01$ و $p<0.001$ بررسی شده است و معنی‌دار بودن نتایج نیز در همین سطوح تعیین گردید (توصیه شده توسط خاوری نژاد، ۱۳۷۵). رسم نمودارها و جداول با کمک نرم افزار Excel (۲۰۰۷) انجام پذیرفت.

نتایج

اثرات برهم‌کنش سلنیوم و مولیبدن بر وزن خشک

سلنیوم بر وزن خشک بخش هوایی و وزن خشک کل گیاه اثر معنی‌داری نشان نداد اما بطور معنی‌داری وزن خشک ریشه را کاهش داد. مولیبدن بطور معنی‌داری وزن خشک بخش هوایی ($p<0.05$) و وزن خشک کل گیاه ($p<0.01$) را کاهش داد اما بر وزن خشک ریشه اثر معنی‌داری نداشت. افزایش مولیبدن موجب کاهش خطی میزان وزن خشک بخش هوایی و وزن خشک کل گیاه شد (شکل ۱). برهمکنش سلنیوم و مولیبدن بر وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه و وزن خشک کل گیاه کاملا معنی‌دار بود ($p<0.001$) (جدول ۲) (شکل۲ و ۳). اثر مولیبدن بیشتر در غلظت‌های ۰/٤ و ۰/٦ پی پی ام موجب کاهش وزن خشک بخش هوایی شد که در تیمارهای توام با سلنیوم همراه با افزایش غلظت سلنیوم اثر منفی مولیبدن کاهش یافت و در غلظت ۲ پی پی ام سلنیوم تیمارهای حاوی ۰/٤ و ۰/٦ پی پی ام مولیبدن تفاوتی با شاهد نداشتند. تیمارهای حاوی سلنیوم و مولیبدن کاهش کمتری را نسبت به تیمارهای حاوی سلنیوم به تنهایی در مقایسه با شاهد بر وزن خشک ریشه نشان دادند. با اینکه مولیبدن اثر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشت اما تیمار 0 Se + 0.2 Mo بیشترین میانگین وزن خشک ریشه را داشته و تفاوت معنی‌داری را با شاهد نشان داد.

جدول ۲: مقادیر F بدست آمده از تجزیه‌های آماری مربوط به ماده خشک

	Se × Mo	Mo	Se
وزن خشک بخش هوایی	6.591***	3.704*	0.230
وزن خشک ریشه	4.92***	0.46	7.84***
وزن خشک کل گیاه	12.551***	4.687**	2.473

(*) = p<0.05, (**) = p<0.01, (***) = p<0.001

Se= سلنیوم، Mo= مولیبدن، Se × Mo = اثرات برهمکنش سلنیوم و مولیبدن

اثر بر رنگیزه‌های فتوسنتزی

اثرات برهمکنش سلنیوم و مولیبدن بر غلظت کلروفیل a

اثر سلنیوم بر میزان کلروفیل a برگ‌ها معنی‌دار شد ($p<0.001$). افزایش غلظت سلنیوم موجب افزایش میزان کلروفیل a در برگ‌ها شد و بیشترین اثر افزاینده مربوط به تیمار ۱ پی پی ام سلنیوم بود. مولیبدن نیز اثر معنی‌داری بر میزان کلروفیل a داشت ($p<0.001$). مولیبدن در دو غلظت۰/۲ و ۰/٦ پی پی ام و تقریبا به یک میزان از غلظت کلروفیل a در برگ‌ها کاست (به ترتیب ۹ درصد و ۸ درصد)، اما غلظت ۰/٤ پی پی ام تغییر چندانی را در مقایسه با تیمارهای فاقد مولیبدن نشان نداد (۱ درصد کاهش). برهم‌کنش سلنیوم و مولیبدن اثر معنی‌داری بر محتوی کلروفیل a برگ‌ها نشان داد ($p<0.01$) (جدول۳). بیشترین میانگین غلظت کلروفیل a مربوط به تیمار (1 Se + 0 Mo = ۰/۹٦۸۹) و کمترین میانگین آن متعلق به تیمار (0.5 Se + 0.2 Mo = ۰/٦٤۳۵) بود. با توجه به این که تمام تیمارهایی که تحت آزمون LSD اختلاف آماری معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان دادند، میانگین غلظت کلروفیل a بالاتری از شاهد داشتند و با توجه اثر منفی مولیبدن می‌توان گفت که سلنیوم توانسته است اثر منفی مولیبدن را خنثی کرده و موجب افزایش غلظت کلروفیل a تیمارهایی شود که حاوی مولیبدن نیز بودند (شکل ٤).

اثرات برهمکنش سلنیوم و مولیبدن بر غلظت کلروفیل b

سلنیوم اثر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل b داشته ($p<0.001$) و در مجموع محتوی این رنگیزه را در برگ‌ها افزایش داد. سلنیوم در تیمار ۱ پی پی ام بیشترین اثر افزاینده خود را بر محتوی کلروفیل b داشت و افزایشی معادل (۲۰/۵۵درصد) در مقایسه با تیمارهای فاقد سلنیوم نشان داد. مولیبدن بطور معنی‌داری محتوی کلروفیل b برگ‌ها را کاهش داد ($p<0.01$) ولی این اثر بطور خطی نبوده و برای تیمارهایی مختلف میزان کاهش محتوی کلروفیل b متفاوت است. بیشترین کاهش مربوط به غلظت ۰/۲ پی.پی.ام (۱۳/۸۸درصد) می‌باشد. برهمکنش میان سلنیوم و مولیبدن اثر معنی‌داری را بر محتوی کلروفیل b دارد ($p<0.01$) (جدول ۳). در غلظت ۲

پی.پی.ام سلنیوم توام با غلظت‌های مختلف مولیبدن، سلنیوم اثر قوی تری بر غلظت کلروفیل b داشته و اثر افزاینده آن تا حدودی اثر کاهنده مولیبدن را پوشانده است (برای مثال به میانگین تیمار 2Se + 0.2 Mo در نمودار میانگین تیمارها توجه شود) (شکل ۵).

اثرات برهمکنش سلنیوم و مولیبدن بر مجموع غلظت کلروفیل a و b

سلنیوم اثر معنی‌داری بر مجموع محتوی کلروفیلa و b نشان داد ($p<0.001$). سلنیوم ابتدا در غلظت ۰/۵ پی پی ام باعث کاهش مختصر و سپس با افزایش غلظت موجب افزایش محتوی کلروفیلa و b برگ‌ها شد (در مقایسه با تیمارهایی که فاقد سلنیوم بودند). مجموع غلظت کلروفیل a و b در غلظت ۱ پی پی ام سلنیوم بیشترین میزان را داشت (۱۶/۱۵درصد در مقایسه با تیمارهای فاقد سلنیوم). اثر مولیبدن در غلظت کلروفیلa و b در سطح $p<0.05$ معنی‌دار بوده و آن را کاهش داد. برهمکنش میان سلنیوم و مولیبدن نیز در سطح $p<0.05$ معنی‌دار بود (جدول ۳). در غلظت ۲ پی.پی.ام سلنیوم توام با غلظت‌های مختلف مولیبدن، سلنیوم توانسته است اثر کاهنده مولیبدن را تا حدودی بهبود بخشد (شکل مربوطه نشان داده نشده است).

اثرات برهمکنش سلنیوم و مولیبدن بر نسبت غلظت کلروفیل a به کلروفیل (b) (Chla/Chlb)

اثر سلنیوم بر نسبت غلظت کلروفیل a به کلروفیلb معنی‌دار بود ($p<0.001$) و سلنیوم در مجموع این نسبت را کاهش داد. نسبت غلظت کلروفیل a به کلروفیل b در غلظت ۱ پی پی ام سلنیوم در مقایسه با تیمارهای فاقد سلنیوم کمترین حد را نشان داد. مولیبدن نیز اثر معنی‌داری بر این نسبت گذارد ($p<0.001$) و افزایش غلظت مولیبدن موجب کاهش نسبت (Chla/Chlb) شد. اثرات برهمکنش میان سلنیوم و مولیبدن نیز بر نسبت Chla/Chlb معنی‌دار بود ($p<0.001$) (جدول ۳). درغلظت ۲ پی پی ام سلنیوم توانسته است اثر مولیبدن را بپوشاند و در تیمارهای ۰/٤ و ۰/٦ مولیبدن توام با غلظت نامبرده بجای کاهش در میانگین نسبت Chla/Chlb، آن را افزایش داد (شکل ٦).

اثرات برهمکنش سلنیوم و مولیبدن بر غلظت β-کاروتن

اثر سلنیوم بر غلظت β-کاروتن معنی‌دار بود ($p<0.05$). سلنیوم موجب افزایش محتوی β-کاروتن برگ‌ها در مقایسه با تیمارهای فاقد سلنیوم شد. در غلظت ۱ پی پی ام سلنیوم بالاترین محتوی β-کاروتن را داشت. اثر مولیبدن بر محتوی β-کاروتن معنی‌دار نبوده اما برهمکنش میان سلنیوم و مولیبدن در سطح $p<0.01$ بر محتوی β-کاروتن معنی‌دار بود (جدول۳). اثرات برهمکنش میان سلنیوم و مولیبدن موجب شد که بالاترین میانگین در تیمار (1Se + 0.4 Mo =۱/۵۳۲۰) با اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد مشاهده گردد همچنین کمترین میانگین محتوی β-کاروتن برگ را تیمار شاهد (0 Se + 0 Mo =0.7271) داراست (شکل ۷).

اثرات برهمکنش سلنیوم و مولیبدن بر غلظت گزانتوفیل

سلنیوم اثر معنی‌داری بر محتوی گزانتوفیل برگ نشان نداد اما اثر مولیبدن معنی‌دار بود ($p<0.001$). اثر مولیبدن ابتدا با افزایش غلظت آن کاهشی بوده سپس در غلظت ۰/٤ پی.پی.ام موجب افزایش میزان گزانتوفیل شده و مجددا در غلظت ۰/٦ کاهش نشان داد. البته این کاهش در مقایسه با تیمار قبلی بوده و اثر مولیبدن در این غلظت در مقایسه با تیمارهای فاقد مولیبدن همچنان موجب افزایش غلظت گزانتوفیل است. بنابراین تنها در غلظت ۰/۲ پی پی ام کاهش در میزان گزانتوفیل‌های برگ در مقایسه با تیمارهای فاقد مولیبدن مشاهد می‌شود. برهمکنش میان سلنیوم و مولیبدن در سطح ($p<0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۳). کمترین میانگین غلظت گزانتوفیل برگ مربوط به تیمار (0 Se + 0.2 Mo =0.0561) می‌باشد و بیشترین مقدار آن مربوط به تیمار (0.5Se + 0.4 Mo 0.0797) است که همین تیمار، تنها تیماری است که تحت آزمون LSD اختلاف معنی‌داری را با شاهد نشان می‌دهد (شکل مربوطه نشان داده نشده است).

جدول ۳: مقادیر F بدست آمده از تجزیه‌های آماری برای رنگیزه‌های فتوسنتزی

رنگیزه‌های فتوسنتزی	Se × Mo	Mo	Se
Chl a	3.661^{**}	6.107^{***}	12.561^{***}
Chl b	2.834^{**}	4.276^{**}	10.597^{***}
Chla + Chlb	2.190^{*}	3.437^{*}	7.881^{***}
Chla/Chlb	16.538^{***}	27.501^{***}	47.694^{***}
β- caroten	3.060^{**}	0.534	3.795^{*}
Xanthophyl	2.699^{*}	8.415^{***}	1.108

(*) = p<0.05, (**) = p<0.01, (***) = p<0.001

Se= اثر سلنیوم، Mo= اثر مولیبدن، Se * Mo = اثرات برهمکنش سلنیوم و مولیبدن

بحث

سلنیوم در مجموع غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی یعنی کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها را در برگ‌ها افزایش داد (شکل ۸). اثر افزاینده سلنیوم بر محتوی کلروفیل b بیشتر بود چرا که نسبت کلروفیل a به‌b در تیمارهای مختلف سلنیوم کاهش یافت. سطوح مختلف سلنیوم (به شکل سلنیت) میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی همچون کلروفیل‌ها، کارتنوئیدها و گزانتوفیل‌ها و نیز نرخ تشکیل کلروفیل را بترتیب در قهوه و ذرت کاهش داده است (Jain and Gadre, Mazzafer, 1998; 1998). محتوی کلروفیل برگ ری گراس و شبدر سفید نیز با افزایش غلظت سلنیوم کاهش یافته است (Smith and Watkinson, 1984). تاثیر منفی سلنیوم بر آنزیم پروفوبیلینوژن سنتتاز (ضروری برای بیوسنتز کلروفیل) در *Sinapis alba* L مشاهده شده است (Fargasova *et al.*, 2006). تیمار سلنیوم موجب تجمع پروتوپورفیرین–IX و استر Mg پروتوپورفیرین در گیاهچه‌های جوان لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) شده و سطوح کلروفیل را در هر دو گروه گیاهچه‌های رشد یافته در روشنایی و تاریکی کاهش داده است. سلنیوم احتمالا از نقش تنظیمی در سنتز کلروفیل برخوردار است که شاید حاصل برهمکنش سلنیوم و آنزیم‌های حاوی سولفیدرئیل از جمله ۵-آمینو لولینیک اسید دهیدراتاز و پورفوبیلینوژن دآمیناز باشد (Padmarja *et al.*, 1990).

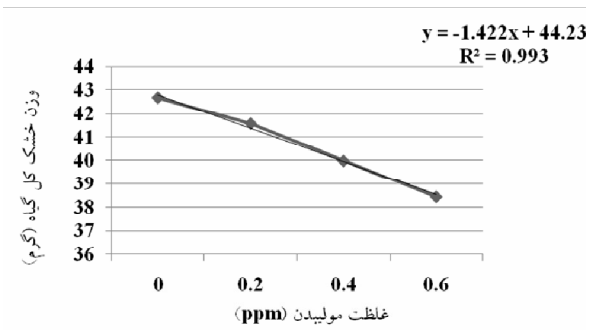
با افزایش غلظت سلنات سدیم تا میزان مشخصی محتوی منیزیم نیز در برگ کلم افزایش می‌یابد (Kopsell *et al.*, 2000). از این رو، افزایش محتوی کلروفیلی برگ در تحقیق حاضر ممکن است ناشی از افزایش غلظت منیزیم باشد. با این حال، در سوسپانسیون‌های کشت سلولی *Catharanthus roseus* L. محتوی منیزیم سلولی تحت تاثیر سلنات یا سلنیت سدیم قرار نگرفته است (Arvy *et al.*, 1995). در برخی موارد نیز سلنیوم بر محتوی رنگیزه‌های کارتنوئیدی اثرگذار نبوده است؛ برای مثال، کاهش سطح گوگرد توام با افزایش میزان سلنیوم بر محتوی رنگیزه‌های کارتنوئیدی لوتئین و بتاکاروتن اثری نداشته است (Kopsell *et al.*, 2007).

مولیبدن با کاهش در وزن خشک گیاه بطور خطی در گیاه گوجه فرنگی سمیت ایجاد کرده است. مولیبدن بطورکلی رنگیزه‌های فتوسنتزی را کاهش داد و محتوی کلروفیل b را در مقایسه با کلروفیل a تحت تاثیر مولیبدن کاهش بیشتری نشان داد بنحوی که نسبت Chla/Chlb افزایش یافته است. تحقیقات نشان می‌دهد که سلنیوم می‌تواند اثرات بهبود دهنده بر تنش ناشی از کاربرد فلزات سنگین بر گیاهان داشته باشد (Shanker *et al.*, 1996; Fargasova, 2006; Feroci *et al.*, 2005; Issa *et al.*, 1999). سلنیوم اثرات فلزات سمی را با کاهش در میزان جذب و انتقال آنها در گیاه تعدیل می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که عنصر سلنیوم با برخی فلزات سنگین مجموعه هایی نامحلول را ایجاد می‌کند که توسط ریشه گیاه جذب نمی شوند و یا در صورت وجود این فلزات در بافت‌های گیاهی با تشکیل این مجموعه‌ها اثرات سمی آنها را کاهش می‌دهد (Feroci *et al.*, 2005). اثرات بهبود دهنده سلنیوم بر تنش ناشی از فلزات سنگین همچون کادمیوم، جیوه و روی بر گیاهان تربچه و گوجه فرنگی مطالعه شده است (Feroci *et al.*, 2005; Shanker *et al.*, 1996). در یک بر روی پژوهش جلبک سبز (*Scenedesrmus obliquus*) تیمارهای توام سلنیوم با فلزات سنگین Cd^{+2}، Zn^{+2}، Mn^{+2} و Ni^{+2} در مقایسه با تیمارهای فلزات سنگین به تنهایی میزان رشد و برخی فعالیت‌های متابولیکی را به میزان قابل توجهی افزایش داده است. سلنیوم اثر مثبتی بر سمیت ناشی از تمام فلزات سنگین نامبرده نشان داده است. با این حال تاثیر آن بر سمیت Mn^{+2} ناچیز بوده است (Issa *et al.*, 1999).

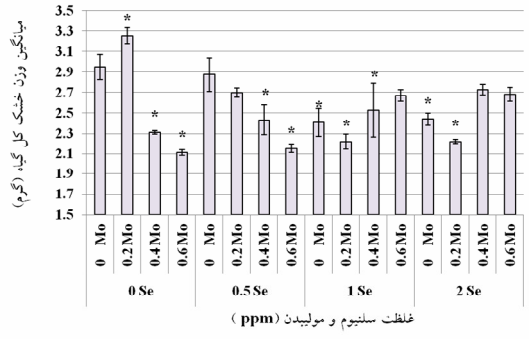
در یک بررسی دیگر نشان داده شده که جفت‌های فلزی- سلنیوم بر روی رنگیزه‌های فتوسنتزی اثرات منفی کمتری در مقایسه با تیمار فلز به تنهایی دارد. از جمله تیمارهای توام سلنیوم با روی، سلنیوم با سرب و سلنیوم با مس تفاوتی با شاهد (فلز به تنهایی) نداشتند و تنها در تیمار سلنیوم با مس محتوی کلروفیل b را بیشتر از کلرفیل a کاهش داده و نسبت کلروفیل a به b در شاهد (فلز به تنهایی) کمتر بود (Badiello and Finni, 2005; Fargašova *et al.*, 2006). در پژوهش حاضر سلنیوم بیشتر زمانی که در غلظت ۲ پی پی ام خود بکار رفته توانسته است اثر منفی مولیبدن را بر محتوی کلروفیل a و کلروفیل b برگ تعدیل کند و از اثر سمی مولیبدن بر گوجه فرنگی بکاهد. سلنیوم در مواردی اثر منفی مولیبدن را تعدیل کرده و در مواردی نیز برهمکنش سلنیوم و مولیبدن اثراتی مجزا و مستقل بر روی فاکتور مورد بررسی داشته است.

نتیجه گیری کلی

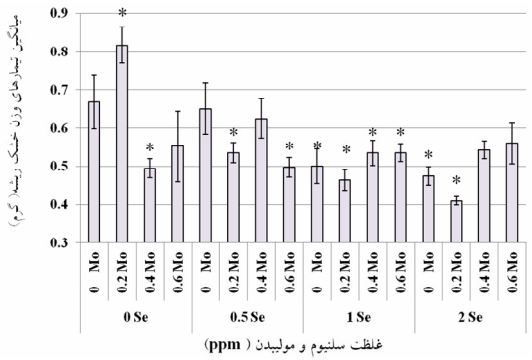
در پژوهش حاضر مولیبدن در گیاه سمیت ایجاد کرد و بیشترین سمیت در تیمار ۰/٦ پی پی ام مولیبدن مشاهده شد. سلنیوم تنها در ریشه سمیت ایجاد کرد و اثرات سمی در بخش هوایی گیاه نداشت، با این حال بنظر می‌رسد برخی اختلالات متابولیکی را در گیاه ایجاد کرده است. در این تحقیق اثرات برهمکنش سلنیوم و مولیبدن خصوصا در غلظت‌های ۱ و ۲ پی پی ام سلنیوم موجب تعدیل اثرات ناشی از سمیت مولیبدن شده و در مواردی اثر منفی مولیبدن را بهبود داده است.



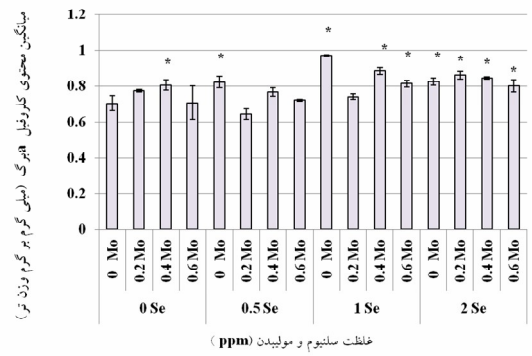
شکل ۱: اثر مولیبدن بر وزن خشک کل گیاه به گرم



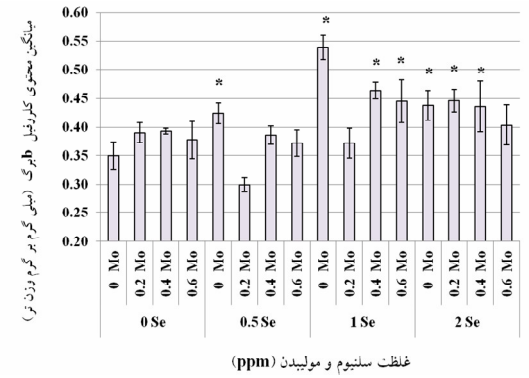
شکل ۲: میانگین وزن خشک کل گیاه به گرم



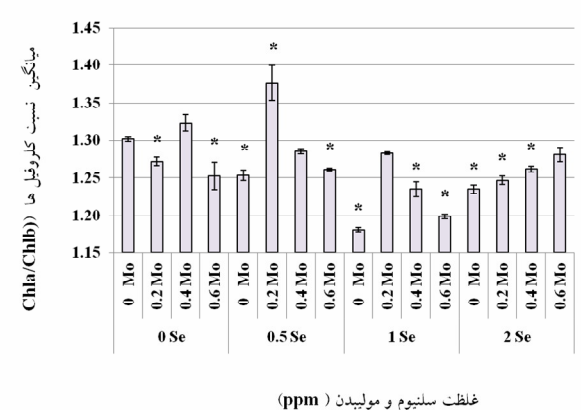
شکل ۳: میانگین تیمارها برای وزن خشک ریشه



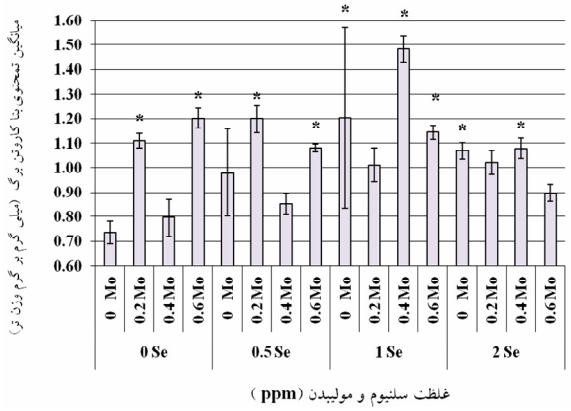
شکل ٤: میانگین تیمارها برای محتوی کلروفیل a برگ به میلی گرم بر گرم وزن تر



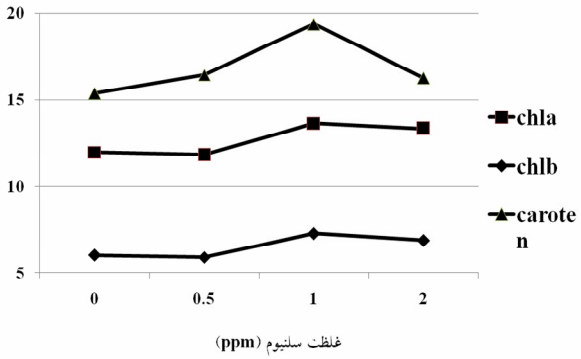
شکل ٥: میانگین محتوی کلروفیل b برگ به میلی گرم بر گرم وزن تر



شکل ٦: میانگین تیمارها برای نسبت کلروفیل (Chla/Chlb)



شکل ۷: میانگین محتوی بتاکاروتن برگ به میلی گرم بر گرم وزن تر



شکل ۸: اثر سلنیوم بر محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی

منابع

خاوری‌نژاد، ر.ع. (۱۳۷۵) اصول آمار زیستی (ویرایش میکروکامپیوتر)، انتشارات امید، تهران. ۲۵۲صفحه

خاوری‌نژاد، ر.ع. (۱۳۷۸) فیزیولوژی گیاهی عملی، انتشارات امید، تهران. ۳٤۳صفحه

Arnon, D. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts.Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-15.

Arvy M.P., Thiersault M., Doireau P. (1995) Relationship between selenium, micronutrients, carbohydrates, and alkaloid accumulation in *Catharanthus roseus* cells. Journal of Plant Nutrition 18: 1535–1546.

Badiello, F.G., and Fini, R.A. (2005) Interactions between different selenium compounds and zinc, cadmium and mercury. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 18:227-234

Ellis, D.R. and Salt, D.E. (2007) Plants, selenium and human health. Current Opinion in Plant Physiology 164: 327-336.

Fargasova, A., Pastierova, J. and Svetkova, K. (2006) Effect of Se-metal pair combinations (Cd, Zn, Cu, Pb) on photosynthetic pigments production and metal accumulation in *Sinapis alba* L. seedlings.Plant Soil Environment 52: 8–15.

Ferri, T., and Frasconi, F.G.M. (2007) Selenium speciation in foods: Preliminary results on potatoes. Microchemical Journal 85: 222–227.

Germ, M. and Jože,O. (2005) Selenium treatment affected respiratory potential in *Eruca sativa*. Acta Agriculturae Slovenica 85: 329 – 335.

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.

Hellebust, J.A., and Carigie, J.S. [Eds.] (1978) Handbook of physiological methods. Physiological and biochemical methods. Cambridge Univ. Press, New York and London. 512p

Hogland, D.R. and Arnon, D.I. (1950) The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circular 347: 1-32.

Issa. A.A. and Adam, M.S. (1999) Influence of Selenium on Toxicity of Some Heavy Metals in the Green Alga *Scenedesrnus obliquus.* Folia Microbiologika 44: 406-410.

Jain M. and Gadre R.P. (1998) Inhibition of chlorophyll synthesis and enzymes of nitrogen

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.

Simojoki, A., Xue, T., Lukkari, K., Pennen, A. and Hartikainen, H. (2003) Allocation of added selenium in lettuce and its impact on roots. Agricultural and Food Science in Finland 12: 155-164.

Smith, G.S. and Watkinson, J.H. (1984) Selenium toxicity in perennial ryegrass and white clover. New Phytopathlogy 97: 557-564.

Terry, N., Zayed, A.M., de Souza, M.P. and Tarun, A.S. (2005) Selenium in higher plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 51: 401-432.

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 ultrastructure in strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) and barley (*Hordeum vulgare*) treated in the field. Agricultural and Forest Meteorology 120: 267–278.

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.

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

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

assimilation by selenite in excised maize leaf segments during greening. Water, Air and Soil Pollution 104: 161–166.

Khattak, R.A., Haghnia, G.H., Mikkelsen, R.L., Page, A.L. and Bradford, G.R. (1989) Influence of binary interactions of arsenate, molybdate, and selenate on yield and composition of alfalfa. Journal of Environmental Quality 20: 165-168.

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 of plant nutrition 23: 927-935.

Kopsell, D.A., Sams, C.E., Charron, C.S., Randle, W.M., Kopsell, D.E. and Kale, W.M. (2007) Carotenoids remain stable while glucosinolates and flavor compounds respond to changes in selenium and sulfur ertility.Acta Horticulture 744: 303-310.

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 Agricultural and Food Chemistry 54: 1764-1771.

Mazzafer, P. (1998) Growth and biochemical alterations in coffee due to selenite toxicity. Plant Soil 201: 189–196.

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 Biochemistry 22: 441-446.

Pennanen, A., Hartikainen.H., Lukkari.K. and Ollilainen.V. (2001) Accilmation of *Lactuca sativa* to increased UV irradiation at various selenium levels. Photosynthesis Research (Abstracts of 12th Congress on Photosynthesis) 69: 30.

Journal on Plant Science Researches, Serial 17, 5th year, Number 1, Spring 2010

The effects of Selenium-Molybdenum interaction on contents of Photosynthetic Pigments in tomato (*Lycopersicom esculentum* Mill.)

KhavariNezhad, R.A., *Goshehgir, Z., Sa'adatman, S.
Department of Biology, Islamic Azad Univ. Branch Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Selenium (Se) is not an essential nutritious element for plants; although, the element is absorbed by them. Molybdenum (Mo) is a trace element/heavy metal, a potential toxicant in plants and other organisms in high amounts. We investigated the effects of Se-Mo interactions on the contents of photosynthetic pigments in tomato (*Lycopersicom esculentum* Mill. Cv. Early Urbana111). Chlorophylls a and b, beta-carotene and xanthophylls were spectrophotometrically measured (Jenway, UK) in leaf extract samples. Dry weight was also recorded. Se showed no significant effect on shoot dry weight, but statistically significantly reduced root dry weight. Also, Se increased the contents of photosynthetic pigments. Mo had toxic effects as it linearly decreased total dry weight and significantly reduced the contents of leaf photosynthetic pigments. Se detoxified Mo at 1- and 2ppm levels. It was concluded that Se is able to improve Mo-related stress symptoms.

Key Words: Selenium, Molybdenum, Tomato, Heavy Metals, Toxicity

*email:zneverhood2005@yahoo.com