نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۴، ص. ۶۰۰-۵۹۴
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 29, No. 4, Winter 2016, P. 594-600
ISSN: 2008 - 4730

بررسی اثر سلنیوم بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه فلفل تند (*Capsicum anuum*)

لیلا شکاری[1*] - محمدمجتبی کامل منش[2]- مریم مظفریان میمندی[3]- فرشاد صادقی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۰۷

چکیده

سلنیوم عنصری سودمند با خواص آنتی اکسیدانی و آنتی ویروسی است که باعث افزایش رشد گیاهان می شود. به منظور بررسی اثر سلنیوم بر رشد رویشی گیاه فلفل تند (*Capsicum anuum* L.) رقم kenya آزمایشی گلخانه ای در قالب طرح کاملا تصادفی شامل پنج سطح سلنیوم (صفر، ۳، ۵، ۷ و ۱۰ میکرو مولار) با سه تکرار انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که افزودن سلنیوم به میزان ۵ میکرومولار باعث افزایش معنی دار محتوای نسبی آب بافت برگ گیاه به ترتیب به میزان ۱۲/۸ و ۶۱/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد گردید. همچنین این عنصر در سطوح تیمار ۷ و ۱۰ میکرومولار به ترتیب باعث افزایش ۳۳/۶۱ و ۸/۰۶ درصدی شاخص پایداری غشاء سلولی نسبت به تیمار شاهد شد. اعمال سلنیوم در سطوح ۳ و ۵ میکرومولار به ترتیب باعث افزایش ۲۴/۶ و ۲۵/۱ درصدی شاخص سطح برگ نسبت به تیمار شاهد شد .تحت تاثیر این عنصر تعداد برگ و همچنین محتوای رنگیزه های کلروفیلی افزایش یافت به نحوی که در سطح تیمار ۵ میکرومولار میانگین تعداد برگ گیاه ۱۵/۱۴ درصد و اجزای کلروفیل (کلروفیل a،b وکلروفیل کل) نیز به ترتیب به میزان ۳۸/۶۴،۵/۶۷ و ۵۵/۸ در صد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد. به طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که عنصر سلنیوم در سطوح پایین (۵ میکرومولار) اثرات بهبود دهنده ای بر شاخص های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه فلفل دارد. بررسی اثر تیمار سلنیوم بر ظرفیت آنتی اکسیدانی و محتوای این عنصر در بافت میوه فلفل تند درمطالعات آینده پیشنهاد می گردد.

واژه‌های کلیدی: رنگیزه های فتوسنتزی، شاخص پایداری غشاء سلولی، عناصر سودمند، محتوای نسبی آب بافت

مقدمه

سلنیوم عنصری شیمیایی، غیز فلزی و کمیاب است که با نشانه اختصاری Se شناخته می شود (۲ و ۲۴). این عنصر سودمند دارای خواص آنتی اکسیدانی، ضد سرطانی و ضد ویروسی است و یکی از عناصر کم مصرف ضروری برای سلامت انسان و حیوانات به شمار می آید (۱۰ و ۸). این عنصر برای اولین بار در سال ۱۸۱۸ توسط سوئدی ها کشف و وارد جدول تناوبی گردید (۲۵) ولی اخیرا به علت شناسایی آثار مفید آن در بدن موجودات زنده، توجه بسیاری از دانشمندان و محققان جهان را به خود جلب کرده است.

اگرچه سلنیوم از جمله عناصر ضروری برای گیاهان به شمار نمی آید اما تحقیقات نشان داده که غلظت های پایین این عنصر می تواند اثرات مفیدی بر رشد و عملکرد (۳۴ و ۳۹)، افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی (۲۷ و ۳۳) و جذب سایر یون‌ها توسط گیاه داشته باشد (۱۹ و ۳۲). اعمال سلنیوم می‌تواند فعالیت پراکسید غشاء را کاهش داده و با تاثیر بر فعالیت آنزیم رادوکس و در نتیجه کاهش اکسیداسیون سلول باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش های محیطی گردد (۱). خاوری نژاد و همکاران (۱۹) در طی یک بررسی گزارش دادند که کاربرد سلنیوم بر غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی مثل کلروفیل و کارتنوئیدها موثر بوده و باعث افزایش این رنگیزه‌ها در گیاه گوجه‌فرنگی شده است. این محققین علت این اثر گذاری را به احتمال زیاد افزایش جذب منیزیم به واسطه حضور سلنیوم در بافت گیاهی بیان کردند. تحریک رشد و افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیداز، پراکسیداز و همچنین افزایش مواد جامد محلول در برگ‌های ترشک در اثر غلظت کم سلنیوم توسط کونگ و همکاران (۲۲) نیزگزارش شده است.

البته قابل ذکر است که گیاهان مختلف واکنش های

۱ و ۳- عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز
(*- نویسنده مسئول: Email: parisa.shekari63@yahoo.com)
۲- استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز
۴- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز

فیزیولوژیک متنوعی را در برابر سلنیوم از خود بروز می دهند. برخی گونه ها مقادیر زیادی سلنیوم را در خود جمع کرده و به عنوان منبع بسیار با ارزشی از این عنصر به شمار می روند در حالی که بسیاری از گونه های گیاهی نسبت به وجود مقادیر زیاد سلنیوم در خاک و آب حساس بوده و سلنیوم برای آن ها عنصری سمی محسوب می شود (۳۶). صفاریزدی و همکاران (۳۲) پس از بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم (۰، ۲، ۴، ۶ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر) بر روی گیاه اسفناج، اعلام کردند که با افزایش غظت سلنیوم شاخص‌های کلروفیل، وزن تر و خشک ریشه و شاخساره کاهش یافت اما در غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک و محتوای کلروفیل نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. سلنیوم شباهت زیادی به گوگرد دارد از این رو در واکنش‌های مختلف و در غلظت های بالا، جایگزین گوگرد شده و به همین دلیل است که علامت سمیت سلنیوم شباهت زیادی به سمیت گوگرد دارد (۳۲).

با توجه به روند روز افزون بیماری سرطان و تاثیر اثبات شده سلنیوم در پیشگیری و کاهش پیشرفت این بیماری در انسان و از سویی دیگر عدم استفاده از این عنصر در غنی سازی سبزیجات در بسیاری از کشور های دنیا نیاز به بررسی بیشتر تاثیر سلنیوم بر سبزیجات مختلف می باشد. تا کنون تحقیقی مبنی بر اثر سلنیوم بر رشد و نمو فلفل تند صورت نگرفته است، با توجه به خاصیت آنتی اکسیدانی بالای میوه فلفل تند بررسی تاثیر این عنصر بر شاخص های مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی این گیاه در بررسی های اولیه، میزان جذب و محتوای آن در بافت میوه و تاثیر سلنیوم بر افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی در میوه فلفل تند در مطالعات تکمیلی ضروری به نظر می رسد. به همین منظور تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیر سطوح مختلف سلنیوم بر برخی صفات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه فلفل تند در شرایط تغذیه با محلول غذایی انجام پذیرفت.

مواد و روش ها

این پژوهش از تاریخ ۱۳۹۲/۴/۱ تا ۱۳۹۴/۷/۱۷ درگلخانه ی واقع در شهرستان یاسوج با شرایط آب و هوایی معتدل و طول جغرافیایی ۵۱/۵۶۶۷ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰/۷۱۶۷ درجه شمالی، انجام پذیرفت بذور فلفل رقم (*Capsicum anuum* var. Kenya) ابتدا در سینی مخصوص نشا حاوی کوکوپیت (ph: 5/5 – 6/5، Ec: 0/2 – 0/5) کشت شده و پس از ۳ هفته و رسیدن گیاهچه به مرحله ۶-۵ برگی به محیط کشت اصلی، در گلدان های ۲ کیلوگرمی حاوی پیت ماس و پرلیت به نسبت ۱:۱ منتقل گردیدند. گلدان ها در محیط گلخانه در زیر پوشش پلاستیکی و نور طبیعی قرار داده شدند. میانگین دمای گلخانه در طول شبانه روز به ترتیب ۲۳ و ۱۹ درجه سانتی گراد، رطوبت ۶۵ درصد و طول دوره روشنایی به تاریکی ۱۶ به ۸ ساعت بود. در طول دوره رشد، گلدان ها به طور یکسان روزانه ۳ بار و هر بار به میزان ۱۰۰ میلی لیتر با محلول غذایی هوگلند (جدول ۴) محلول دهی شدند، به طوری کهبه گلدان ها تنش خشکی وارد نشود. این آزمایش در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۵ تیمار و ۳ تکرار انجام پذیرفت. تیمارها شامل ۵ سطح سلنیوم شامل صفر به عنوان شاهد، ۳، ۵، ۱۰ و ۷ میکرومولار از منبع سلنات سدیم (Na_2SeO_3 مرک، آلمان) بر اساس تحقیقات پیشین (۱۴) بودند که پس از گذشت یک هفته و استقرار کامل گیاهان در شرایط گلخانه اعمال شدند.

در طول فصل رشد گیاه تمامی ساقه های فرعی در هر بوته به عنوان شاخه جانبی در نظر گرفته شده و مورد شمارش قرار گرفت. شاخص سطح برگ با استفاده از نمونه های برگی تازه و بوسیله دستگاه Leaf Area Meter مدل AM200 در مقیاس سانتی متر مربع اندازه گیری گردید.

اندازه گیری کلروفیل و کاروتینوئید برگ

برای تعیین غلظت کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتینوئید با استفاده از روش Non Maceration، ابتدا ۵۰ میلی گرم نمونه برگی تازه از هر تیمار آزمایشی در ۵ میلی لیتر دی متیل سولفوکسید (DMSO) به مدت چهار ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی گراددر آون قرار داده شد. سپس جذب نوری عصاره های برگی در طول موج های ۴۸۰، ۶۴۹، ۶۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه گیری شد (۱۵). اعداد به دست آمده در فرمول های مربوطه جایگذاری شده و ابتدا کلروفیل a و b و سپس کلروفیل کل و کاروتینوئید بر حسب میلی گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه گردید (۱۵).

$$Chl\ a = (12.47\times A665) - (3.62\times A649)$$
$$Chl\ b = (25.06\times A649) - (6.5\times A665)$$
$$Chl\ t = Chl\ a + Chl\ b$$
$$C = ((1000\times A480) - (1.29\ Chl\ a - 53.78\ Chl\ b))/\ 220$$

Chl a =کلروفیل a, *chl b* = کلروفیل b, *C* = کاروتینوئید

سنجش محتوای نسبی آب بافت (RWC)

نمونه برداری با استفاده از قیچی و از آخرین برگ توسعه یافته تمامی تیمارهای آزمایشی انجام شد. وزن تر نمونه ها بلافاصله در آزمایشگاه با ترازوی دقیق اندازه گیری شده و سپس تمامی نمونه ها در آب مقطر قرار گرفته و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال و در دمای چهار درجه سانتی گراد قرار داده شد. پس از ۲۴ ساعت وزن اشباع برگی اندازه گیری شده و برگها مجددا به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در آون قرار داده شده و وزن خشک هر نمونه به دست آمد. با قرار دادن اعداد حاصل از توزین با ترازوی دارای دقت

یک ده هزارم در فرمول، مقدار نسبی آب بافت به دست می آید (۳۰).

$$RWC= ((Wi-Wd) / (Wf-Wd)) \times 100$$

تعیین شاخص پایداری غشاء سلول (MSI)

شاخص پایداری غشاء بر اساس میزان هدایت الکتریکی حاصل از نشت یون ها از سلولهای برگ به درون آب دیونیزه شده اندازه گیری شد. بدین منظور به میزان ۰/۱ گرم نمونه برگی تازه از برگ کاملا گسترش یافته از هر تیمار آزمایشی درون لوله های آزمایش حاوی ۱۰ میلی لیتر آب دوبار تقطیر شده غوطه ور گردید، سپس در دستگاه حمام آب گرم در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد و پس از طی این زمان، هدایت الکتریکی نمونه ها به کمک دستگاه EC متر مدل (Jenway) اندازه گیری شد. سپس مجددا نمونه ها در حمام آب گرم به مدت ۳۰ دقیقه و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شده و پس از رسیدن به دمای اتاق، هدایت الکتریکی آنها اندازه گیری گردید. سپس اعداد حاصله در فرمول زیر جایگذاری شده و شاخص پایداری غشاء سلول محاسبه گردید (۳۳).

$$MSI=1-(EC_1/EC_2)\times 100$$

اندازه گیری محتوای قند

برای این منظور ابتدا ۱۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد به ۰/۱ گرم از نمونه برگی خشک اضافه شده و سانتریفیوژ گردید. سپس فاز مایع جدا شده و به مدت ۱ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار گرفت. پس از تبخیر الکل، پتری دیش ها با ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر شستشو داده شده و به منظور حذف رسوبات اضافی، مقدار ۵ میلی‌لیتر از محلول ۵٪ سولفات روی و ۴/۷ میلی‌لیتر از محلول هیدروکسید باریم ۳/۰ نرمال را به محلول اضافه گردید. پس از آن مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره فاز مایع حاصله را جدا کرده و ۱ میلی‌لیتر محلول ۵٪ فنل و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸٪ اضافه گردید. سپس ۴۵ دقیقه به محلول ها فرصت داده شد تا رنگ آنها تثبیت گردد. میزان جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت گردیده و با رسم منحنی استاندارد میزان قند محاسبه گردید (۳۵).

آنالیز داده ها با استفاده از نرم افزار Statistix8 و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتیجه گیری و بحث

اثر سلنیوم بر شاخص محتوای نسبی آب بافت

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که افزودن سلنیوم به محیط کشت، شاخص محتوای نسبی آب برگ را به طور معنی داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۲). تیمار ۷ و ۱۰ میکرومولار سلنیوم باعث افزایش جزئی در این شاخص گردید ولی بیشینه این تاثیر در گیاهان تیمار شده با ۵ میکرومولار سلنیوم مشاهده شد به نحوی که محتوای نسبی آب برگ در این تیمار به میزان ۱۲/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت. نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات حبیبی (۹) بر روی گیاه جو و اسکندری زنجانی و همکاران (۷) بر روی گیاه کدو همخوانی دارد، این محققین افزایش میزان محتوای نسبی آب بافت تحت تاثیر سلنیوم را گزارش کردند. طبق نظر کاستنساو و همکاران (۲۳) عنصر سلنیوم دارای قابلیت تنظیم وضعیت آبی گیاه از طریق تحریک رشد ریشه و افزایش ظرفیت جذب آب توسط سیستم ریشه ای است. هان ون و همکاران (۱۲) نیز در طی یک بررسی بیان داشتند که سلنیوم در غلظت های پایین، تقسیم سلولی را در سلول های نوک ریشه بهبود بخشیده و متعاقب آن باعث افزایش رشد و توسعه سیستم ریشه گیاه می گردند؛ بنابراین همین امر می تواند موجب جذب بیشتر آب توسط گیاهان تحت تیمار با این عنصر شده و در نهایت با افزایش در میزان آب بافت های گیاهی، شاخص محتوای آب برگ را افزایش دهد.

اثر سلنیوم بر شاخص پایداری غشاء سلول

اعمال سلنیوم تا سطح ۵ میکرومولار بر میزان پایداری غشاء سلولی معنی دار نشد ولی در غلظت های بالاتر این عنصر، افزایش معنی داری در میزان پایداری غشاء مشاهده گردید به طوری که تیمار ۷ و ۱۰ میکرومولار سلنیوم به ترتیب افزایشی به میزان ۳۳/۶۱ و ۸/۰۶ درصد نسبت به تیمار شاهد داشت. نتایج این بررسی با نتایج حاصل از بررسی داجناگویرمن و همکاران (۵) و اکلادیوس (۱) مطابقت دارد. داجناگویرمن و همکاران (۶) افزایش پایداری غشاء سلولی گیاه سورگوم را در اثر تیمار با سلنیوم در شرایط تنش دمایی گزارش دادند و دلیل این امر را تاثیر سلنیوم بر افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی و کاهش میزان گونه های فعال اکسیژن در گیاهان تحت تیمار دانستند. کونگ و همکاران (۲۳) نیز بهبود عملکرد غشاء در سلول های مزوفیل برگ را به واسطه حضور سلنیوم در محیط رشد گیاه گزارش دادند. سلنیوم از طریق افزایش میزان جذب پتاسیم در سلول های گیاهی باعث کاهش در میزان نشت یونی و افزایش پایداری غشاء سلولی می گردد (۲۳ و ۳۱).

اثر سلنیوم بر تعداد شاخه جانبی و تعداد برگ

تاثیر غلظت های مختلف سلنیوم بر تعداد شاخه جانبی گیاه معنی داری نشد. در بررسی اثرات بر همکنش سلنیوم در غلظت های صفر (شاهد) ۰/۵، ۱ و ۲ پی پی ام و مولیبدن در گیاه گوجه فرنگی که توسط خاوری نژاد و همکاران (۱۹) انجام شد نتایج نشان داد که افزودن سلنیوم به محیط کشت گیاه تاثیر معنی داری بر رشد و افزایش وزن خشک اندام های هوایی و وزن خشک کل گیاه نداشت که با نتایج بدست آمده از این بررسی همخوانی دارد.

جدول ۱- تجزیه واریانس ساده اثرات غلظت های مختلف سلنیوم بر برخی شاخص های اندازه گیری شده درگیاه فلفل تند

Table 1- Analysis variance of Simple effect of different Se concentration on some factor measured of hot pepper

منابع تغییرات Sources of changes	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean squares				
		محتوای نسبی آب بافت RWC%	شاخص پایداری غشاء سلولی MSI%	تعداد شاخه جانبی Number of lateral shoots	تعداد برگ Number of leaf	سطح برگ Leaf area (cm)
Selenium سلنیم	4	117.329*	18.4408*	11.7667^{ns}	154.433^{ns}	1232811*
Error خطا	10	33.664	6.5648	19.1333	69.600	20337
CV ضریب تغییرات		7.06	16.20	11.89	9.93	13.20

ns عدم وجود تفاوت معنی داری، * تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد

ns non significant difference * significant differences at $P \leq 5\%$

جدول ۲- اثرات اصلی غلظت های مختلف سلنیوم بر برخی شاخص های اندازه گیری شده در گیاه فلفل تند

Table 2- Simple effect of different Se concentration on some morphological trait of hot pepper

غلظت‌های سلنیم concentration of selenium	محتوای نسبی آب بافت RWC%	شاخص پایداری غشاء سلولی MSI%	تعداد شاخه جانبی Number of lateral shoots	تعداد برگ Number of leaf	سطح برگ Leaf area (cm)
0 µm	75.37b	14.93b	38.00a	80.33ab	3233.00ab
3 µm	68.46b	14.30b	38.00a	88.00ab	4030.30a
5 µm	85.96a	12.74b	38.66a	94.66a	4046.00a
7 µm	75.45ab	19.95a	35.00a	81.00ab	2943.00b
10 µm	76.19ab	16.13ab	34.23a	76.66b	2449.00b

میانگین های با حروف غیر مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی دار دارند

Within a column, means followed by the same letter are not significantly different at $P \leq 5\%$ according to the LSD test

بررسی نتایج تجزیه واریانس برای صفت تعداد برگ حاکی از تاثیر معنی دار سلنیوم در سطح احتمال ۵٪ می باشد. میانگین تعداد برگ در سطح تیمار ۵ میکرومولار سلنیوم ۱۵/۱۴ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد (جدول ۱) ولی با افزایش غلظت سلنیوم به ۱۰ میکرومولار، میانگین تعداد برگ کاهش یافته و میزان ۴/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. صفاریزدی و همکاران (۳۲) نیز افزایش تعداد برگ را در سطوح پایین سلنیوم گزارش کرده و اعلام نمودند که با افزایش غلظت سلنیوم به میزان ۱۰ میلی گرم بر لیتر تعداد برگ کاهش معنی داری یافت و افزایش رشد و تعداد برگ در گیاه اسفناج را تاثیر مثبت سلنیوم بر سنتز کلروفیل، تثبیت کربن، سنتز و هیدرولیز نشاسته و تحریک تقسیم سلولی در سلول های مریستمی دانستند.

اثر سلنیوم بر شاخص سطح برگ

با مقایسه داده های حاصل از تجزیه آماری در مورد شاخص سطح برگ مشاهده می کنیم که این شاخص بر اثر افزایش سلنیوم به محیط کشت گیاه به طور معنی داری تحت تاثیر قرار گرفت. در تیمارهای آزمایشی ۳ و ۵ میکرومولار، این عنصر به ترتیب باعث افزایش ۲۴/۶ و ۲۵/۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد شد ولی افزایش سلنیوم در سطوح بالاتر باعث کاهش سطح برگ گیاهان تیمار شده گردید به طوری که در تیمار ۱۰ میکرومولار کاهش ۲۴/۲۵ درصدی را در این شاخص مشاهده کردیم. نتایج این بررسی با نتایج جاهید و همکاران (۲۰) همخوانی داشته ولی با نتایج نجات و همکاران (۲۷) تفاوت دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت های پایین سلنیوم تاثیر سودمندی بر افزایش وزن زیست توده و محتوای رنگیزه های فتوسنتزی داشته و با افزایش در شاخص سطح برگ گیاه، میزان جذب نور و متعاقب آن فتوسنتز و تثبیت کربن باعث رشد بیشتر گیاه می گردد. ولی با افزایش غلظت و گذشتن از حد آستانه تحمل گیاه باعث اختلال در رشد گیاه می گردد. سطوح بالای این عنصر با اختلال در متابولیسم گوگرد از طریق جایگزینی در ترکیبات مختلف نظیر اسیدآمینه و پروتئین و کوآنزیم های حاوی گوگرد باعث تاثیر منفی بر فعالیت های حیاتی گیاه شده و در نتیجه از رشد گیاه می کاهد (۲۹ و ۳۸). همچنین کاهش زیست توده گیاه در اثر افزایش سطوح سلنیوم می تواند بر اثر کاهش میزان رنگیزه های فتوسنتزی و در نتیجه کاهش فتوسنتز باشد (۳).

جدول ۳ - تجزیه واریانس ساده اثرات غلظت های مختلف سلنیم بر محتوای رنگیزه های فتوسنتزی گیاه فلفل تند

Table 3- Simple variance analysis of different concentrations of selenium on the photosynthetic pigments of hot pepper

منابع تغییرات Sources of changes	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean squares			
		کلروفیل a Cholorophyll a (mg per gr Fw)	کلروفیل b Cholorophyll b (mg per gr Fw)	کلروفیل کل Total Cholorophyll (mg per gr Fw)	کاروتنوئید Carotenoids (mg per gr Fw)
سلنیم Selenium	4	26.9658*	2.67669*	43.7444*	0.47343*
خطا Error	10	0.5996	0.75513	1.5951	0.27673
ضریب تغییرات CV		4.48	11.98	5.15	16.14

ns عدم وجود تفاوت معنی داری، * تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد

ns not significant difference, * significant difference at the 5% level

جدول ٤- اثرات اصلی غلظت های مختلف سلنیوم بر محتوای رنگیزه های فتوسنتزی در گیاه فلفل تند

Table 4- Simple effect of different Se concentration on photosynthesis pigment of hot pepper

غلظت‌های سلنیم concentration of selenium	کلروفیل a Cholorophyll a (mg per gr Fw)	کلروفیل b Cholorophyll b (mg per gr Fw)	کلروفیل کل Total Cholorophyll (mg per gr Fw)	کاروتنوئید Carotenoids (mg per gr Fw)
0 µm	12.24c	6.25b	18.50c	6.29a
3 µm	18.66b	7.57ab	26.23b	7.22a
5 µm	20.17a	8.65a	28.83a	7.19a
7 µm	17.85b	7.23ab	25.08b	7.18a
10 µm	17.48b	6.25b	24.04b	7.09a

میانگین های با حروف غیر مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی دار دارند

Within a column, means followed by the same letter are not significantly different at $P \leq 5\%$ according to the LSD test

جدول ۵- ترکیب محلول غذایی هوگلند (میلی لیتر در لیتر)

Table 5- Hoagland nutrient solution (mL/L)

ترکیب Combination	محلول پایه Basic solution	میلی لیتر محلول پایه در یک لیتر ml Basic solution / Liter
2M KNO_3	202 g/l	2.5
2M $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	472 g/l	2.5
Iron (Sprint 138 iron chelate)	15 g/l	1
2M $MgSO_4 \cdot 7H_2O$	439 g/l	1
1M NH_4NO_3	80 g/l	1
H_3BO_3	2.86 g/l	1
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	1.81 g/l	1
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.22 g/l	1
$CuSO_4$	0.051 g/l	1
$H_3MoO_4 \cdot H_2O$	0.09 g/l	1
1M KH_2PO_4 (pH to 6.0)	136 g/l	0.5

اثر سلنیوم بر تغییرات محتوای رنگیزه های فتوسنتزی

نتایج حاصل از اندازه گیری رنگیزه ها پس از اعمال تیمارهای سلنیوم (جدول ۴) افزایش در میزان کلرفیل a و b را نشان داد، ولی در کل اثر افزاینده سلنیوم بر محتوای کلروفیل a بیشتر بود، به نحوی که در اثر کاربرد سلنیوم افزایش بسیار معنی داری در محتوای کلروفیل a درگیاهان تحت تیمار دیده شد. بیشترین تاثیر سلنیوم در تیمار ۵ میکرومولار بود که باعث افزایش ۶۴/۶۷ درصدی کلروفیل a نسبت به تیمار شاهد گردید. بیشینه تاثیر سلنیوم بر روی محتوای کلروفیل b نیز در تیمار ۵ میکرومولار بود که باعث افزایش ۳۸/۵ درصدی این رنگیزه نسبت به تیمار شاهد شد ولی با افزایش غلظت سلنیوم در تیمار ۱۰ میکرومولار افزایشی در میزان کلروفیل نسبت به تیمار شاهد دیده نشد.

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه های آماری ارائه شده در جدول (۳) کلرفیل کل (a+b) نیز در تیمارهای اعمال شده افزایش معنی

داری را نشان داد، به طوری که میزان کلروفیل کل در تیمار ۵ میلی مولار به میزان ۵۵/۸ در صد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت. نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) در سطح احتمال ۵ درصد در تیمارهای سلنیوم بر روی کاروتینوئید برگ افزایش معنی داری را نشان نداد. مطالعات پیشین نشان دهنده افزایش محتوای رنگیزه های فتوسنتزی گیاهان در اثر تیمار با غلظت های پایین سلنیوم است. هوئریلاک نواک (۱۳) و چن و همکاران (۴) افزایش غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل را در اثر تیمار با سلنیوم گزارش کردند.

صفاریزدی و همکاران (۳۲) در آزمایش خود گزارش کردند که میزان کلروفیل اسفناج در غلظت های کم سلنیوم افزایش می یابد. افزایش کلروفیل a و b اسفناج تحت تاثیر سلنیوم ممکن است به دلیل محافظت آنزیم های کلروپلاست توسط سلنیوم و در نتیجه افزایش بیوسنتز رنگیزه های فتوسنتزی باشد. از طرف دیگری می توان تاثیر سلنیوم بر افزایش جذب منیزیم و آهن توسط گیاه (۲۱، ۱۲، ۳۱) دانست که در نتیجه باعث افزایش محتوای کلروفیل برگ گیاه فلفل در این آزمایش شده است. از سویی دیگر اسمیت و واکینسون (۳۶) کاهش محتوای کلروفیل برگ ری گراس و شبدر سفید و جاین و گادره (۱۸) محتوای کلروفیل کاروتینوئید و گزانتوفیل برگ گیاه ذرت را در اثر غلظت های بالای سلنیوم در محیط کشت گزارش دادند.

نتیجه گیری کلی

به طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که سلنیوم گرچه برای گیاهان ضروری نمی باشد اما می تواند در غلظت های پایین و خصوصا در غلظت ۵ میکرومولار باعث بهبود شاخص های رشدی و مورفولوژی نظیر تعداد برگ و سطح برگ در گیاه فلفل تند شود. همچنین این عنصر باعث افزایش چشمگیری در محتوای رنگیزه های کلروفیلی موجود در برگ گردید که می تواند در افزایش رشد و عملکرد گیاه تاثیر گذار باشد. به دلیل اثرات مفید سلنیوم برسلامت انسان بررسی تاثیرحضور این عنصر در محیط کشت گیاه بر میزان جذب و محتوای آن در بافت های خوراکی گیاهان مختلفو همچنین کاربرد گیاهان تیمار شده با سلنیوم در پیشگیری و درمان بیماری سرطان و اثرات آن در حوزه پزشکی توسط محققین این حوزه نیز پیشنهاد می گردد.

منابع

1- Akladious S.A. 2012. Influence of different soaking times with selenium on growth, metabolic activities of wheat seedlings under low temperature stress. African Journal of Biotechnology, 11(82):14792-14804.
2- Bavar 1997. Selenium and soils in the western united states. Green Build, 7: 1-7.
3- 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.
4- Chen T.F., Zheng W.J., Wong Y.S., and Yang F. 2008. Selenium-induced changes in activities of antioxidant enzymes and content of photosynthetic pigments in Spirulina platensis. Journal of Integrative Plant Biology, 50(1):40–48.
5- Dajanaguiraman M., Durga Devi D., Shanker A.K., Annie Sheeba J., and Bangarusamy U. 2005. Selenium an antioxidative protectant in soybean during senescence. Plant Soil, 272: 77–86.
6- Djanaguiraman M., Prasad P.V.V., and Seppanen M. 2010. Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defense system. Plant Physiology and Biochemistry, 48: 999–1007.
7- Eskandari Zanjani K., Shirani Rad A.H., Naeemi M., Moradi Aghdam A., and Taherkhani T. 2012. Effects of Zeolite and Selenium Application on Some Physiological Traits and Oil Yield of Medicinal Pumpkin *(Cucurbita pepo L.)* under Drought Stress. Current Research Journal of Biological Sciences, 4(4): 462-470.
8- Graham H.L., Lewis J., Lormer M.F., and Holloway R.E. 2004. High- Selenium wheat: agronomic biofortification strategies to prove human nutrition. Food Agriculture and Environment, 2(1): 171-178.
9- Habibi G. 2013. Effect of drought stress and selenium spraying on photosynthesis and antioxidant activity of spring barley. Acta Agriculturae Slovenica, 101(1): 31 – 39.
10- Hajiboland R., and Keivanfar N. 2012. Selenium supplementation stimulates vegetative and reproductive growth in canola *(Brassica napus L.)* plants. Acta Agriculturae Slovenica, 99(1): 13 – 19.
11- Hanson B.S., lindblom D., Leoffler M.L., and Smits E.A. 2004. Selenium protects plants from phloem feeding aphids due to both deterrence and toxicity. Journal Environment International, 30: 167-172.
12- 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: 11951204.
13- Hawrylak-Noawk B. 2008. Enhanced selenium content in sweet basil (*ocimum basilicum*) by foliar fertilization. Vegetable Crops Research Bulletin, 69 : 63-72.
14- Hawrylak-Nowak B. 2009. Enhanced Selenium Content in Sweet Basil *(Ocimum Basilicum L.)* by Foliar

Fertilization.Vegetable Crops Research Bulletin, 69(1): 63–72.
15- Hiscox J.D., and Israelstam G.F. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Canadian. Journal of Botany, 57:1332-1334.
16- Hogland D.R., and Arnon D.I. 1950. The waterculture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circular, 347: 1-32.
17- 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 isassociated with stimulation of carbohydrate metabolism. Biological Trace Element Research, DOI 10.1007/s12011-010-8872-1.
18- Jain M., and Gadre R.P. 1998. Inhibition of chlorophyll synthesis and enzymes of nitrogen assimilation by selenite in excised maize leaf segments during greening. Water, Air and Soil Pollution, 104: 161 166.
19- Khavarinejad R., Goshegir Z., and Sadatmand S. 1389. Interaction effect of selenium and molybedon on pigment photosyhthesis of tomato. Journal of plant science, 17(1): 14-23
20- Khoshgoftaremanesh, A.H. 2010. Advanced concepts in plant nutrition. Isfahan University of technology press. Isfahan, 369. (in farsi)
21- 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.
22- Kong L., Wang M., and Dongling B. 2005. Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stress. Plant Growth Regulation, 45: 155–163.
23- Kuznetsov V.V., Kholodova V.P., and Yagodin B.A. 2003. Selenium regulates the water status of plants exposed todrought. Doklady Biolological Science, 390: 266-268.
24- Lyons G.H., Stangoulis J., and Graham R. 2003. High-selenium wheat: biofortification for better health. Journal of Nutritional Science, 16: 45-60.
25- Lyons G.H., Genc Y., Soole K., Stangoulis J.C.R., Liu F., and Graham R.D. 2008. Selenium increases seed production in Brassica. Journal Plant and Soil, 10.1007/s11104-008- 9818– 7.
26- Nejat F., Dadniya M., Shirzadi M.H., and Lak S. 2009. Effects of drought stress and Selenium application on yield and yield components of two maize cultivars. Plant Ecophysiology, 2 : 95-102.
27- 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.
28- Pennanen A., Xue T., and Hartikainen H. 2002. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress. Journal of Applied Botany, 76: 66 .
29- Rios J.J., Blasco B., Cervilla L.M., Rosales M.A., Sanchez-Rodriguez E., Romero L., and Ruiz J.M. 2009. Production and detoxification of H2O2 in lettuce plants exposed to selenium. Annals of Applied Biology, 154: 107–116.
30- Ritchie S.W., and Nguyen H.T. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science, 30: 105-111.
31- Saffaryazdi A., Lahouti M., Ganjeali A., and Bayat H. 2012. Impact of selenium supplementation on growth and selenium accumulation on spinach (*Spinacia oleraceae L.)* plants. Notulae Scientia Biologicae, 4(4): 95-100.
32- Safaryazdi, A., Lahoti M., and ganjali A. 2012. Effect of different concentrations of selenium on plant physiological characteristics of spinach Spinacia oleraceae. Journal of Horticultural Science, 26(3): 292-300. (in farsi).
33- Sairam R.K., and Srivastava G.C. 2002. Changes in antioxidant activity in sub-cellular fraction of tolerant and susceptible wheat genotypes to long term salt stress. Plant Science, 162: 897-904.
34- 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.
35- Sheligl H.Q. 1986. Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. Planta Journal, 47-51.
36- Smith G.S., and Watkinson J.H. 1984. Selenium toxicity in perennial ryegrass and white clover. Journal of Phytopathology, 97: 557-564.
37- Soleimanzadeh H. 2012. Response of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) To Selenium Application under Water Stress. World Applied Sciences Journal, 17 (9): 1115-1119.
38- Tailin X., Hartikainen H., and Piironen V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium onsenescing Lettuce. Plant and Soil, 237: 55-61.
39- Xue T., Hartikainen H., and Piironen V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. Plant and Soil, 237: 55-61.