گگ

اثر سلنیم بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان فنول و رنگیزه‌های فتوسنتزی میوه فلفل تند (*Capsicum annum*) در سیستم کشت بدون خاک

Effect of Selenium on some Morphological and Physiological Properties of Hot Pepper (*Capsicum annum*) Grown in Hydroponic Culture

لیلا شکاری[۱*]، مریم مظفریان[۲]، محمدمجتبی کامل‌منش[۳] و فرشاد صادقی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۰۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۱/۰۶

چکیده

سلنیم عنصری سودمند و دارای خواص آنتی‌اکسیدانی است که در غلظت‌های کم باعث بهبود رشد و در غلظت بالا باعث سمیت در گیاهان می‌گردد، بنابراین تعیین غلظت مناسب سلنیم در گیاهان مختلف ضروری می‌باشد. به‌منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف سلنیم بر شاخص‌های رشد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوای فنول کل در گیاه فلفل تند رقم (*Capsicum frutescence*) آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط کشت هیدروپونیک انجام پذیرفت. تیمارها شامل غلظت‌های مختلف سلنیم (صفر به‌عنوان شاهد، ۳، ۵، ۷ و ۱۰ میکرومولار) بودند. نتایج نشان داد که سلنیم در غلظت ۳ میکرومولار باعث افزایش طول ساقه و وزن تر و خشک ریشه و شاخساره گردید. بیش‌ترین طول ریشه نیز در گیاهان تیمار شده با ۷ میکرومولار سلنیم مشاهده شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش غلظت سلنیم افزایش یافت و در تیمار ۱۰ میکرومولار سلنیم به بیش‌ترین میزان رسید. میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از قبیل کاتالاز و پراکسیداز در غلظت ۷ میکرومولار سلنیم به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. فنول کل تا غلظت ۵ میکرومولار سلنیم افزایش یافت و پس از آن در غلظت‌های ۷ و ۱۰ میکرومولار نسبت به غلظت ۵ میکرومولار کاهش پیدا کرد. میزان پرولین گیاه در تیمار ۱۰ میکرومولار سلنیم نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری یافت. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد سلنیم باعث بهبود رشد گیاه فلفل و افزایش میزان فنول و خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن شد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، پرولین، کاتالاز، هیدروپونیک

۱، ۲ و ۴. به‌ترتیب دانش‌آموختگان کارشناسی‌ارشد و استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد صدرا، شیراز

۳. استادیار گروه ژنتیک و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد صدرا، شیراز

*: نویسنده مسئول Email: lila.shekari63@gmail.com

مقدمه

خواص مفید ضدسرطانی و ضدویروسی سلنیم (Se) برای سلامت انسان به اثبات رسیده است (*حاجی‌بلند* و *کیوانفر*[1]، 2012؛ *گراهام*[2] و همکاران، 2004). هرچند در تحقیقات بسیاری نشان داده شده که این عنصر می‌تواند باعث بهبود رشد و افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی نظیر تنش شوری (*حاجی‌بلند* و *کیوانفر*، 2012، *هوئریلاک نوواک*[3]، 2009)، خشکی (*سلیمان‌زاده*[4]، 2012) و سایر تنش‌ها شود، اما تاکنون برای رشد گیاهان ضروری شناخته نشده است.

مقدار سلنیم در خاک به عوامل گوناگونی ازجمله محتوای اصلی مواد تشکیل‌دهنده خاک، فرایندهای ثانویه تشکیل خاک و میزان شست و شوی خاک بستگی دارد و اغلب به شکل‌های سلنیم عنصری (Se)، سلنید (Se^{-2})، سلنیت (SeO_3^{-2})، سلنات (SeO_4^{-2}) و سلنیم آلی مشاهده می‌گردد (*جئوفری*[5] و همکاران، 2007). مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده حلالیت و شکل سلنیم در خاک، پتانسیل ریداکس و pH خاک می‌باشد (خوشگفتارمنش، ۱۳۸۹) و به‌طورکلی با افزایش pH خاک، سلنات بیشتری توسط گیاه جذب می‌شود و در pHهای پایین به علت جذب کمتر سلنیت و سلنید در خاک وجود دارد (جئوفری و همکاران، 2007).

سلنیم هم‌چنین یکی از اجزاء ضروری برای فعالیت سیستم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان بوده و مقاومت آن‌ها را در برابر تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد (*لیونس*[6] و همکاران، 2008؛ *هانسون*[7] و همکاران، 2004). به گزارش *تیموئی*[8] (2001) در زمان تنش اکسیداتیو و تشکیل رادیکال‌های آزاد که منجر به صدمات و نابودی سلول می‌شود، سلنیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد. اعمال سلنیم در شرایط تنش‌های محیطی به‌عنوان یک عامل آنتی‌اکسیدانی قوی می‌تواند با خنثی کردن رادیکال‌های آزاد تشکیل شده در سلول‌های گیاه باعث کاهش میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء سلولی گردیده و با تأثیر بر فعالیت آنزیم ریداکس و در نتیجه کاهش اکسیداسیون سلول مقاومت گیاه را نسبت به شرایط تنش‌زا افزایش دهد (*اکلادیوس*[9]، 2012). *حسنزومان*[10] و همکاران (2011) بیان کردند که تیمار گیاهان با سلنیم باعث افزایش فعالیت آنزیم‌ها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی شده و با افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدها می‌گردد. *هلال* و *عبد الفتاح*[11] (2010) گزارش دادند که سلنیم محتوای H_2O_2 را در گیاهان تحت تیمار به‌شدت کاهش داده و در به تأخیر افتادن پیری در برگ‌ها (جوانه‌ها) و بهبود عملکرد کل تأثیر به‌سزایی داشته است. محققین گزارش دادند که کوددهی سلنیم در شرایط تنش اکسیداتیو باعث کاهش شکستن و پارگی رشته‌های DNA و هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در کلم بروکلی شد (*آروی*[12] و همکاران، 1995). در تحقیقی که توسط *سالی* و *مروت*[13] (2011) انجام پذیرفت، مشخص گردید که تأثیرگذاری عنصر سلنیم در مقایسه با سایر آنتی‌اکسیدان‌های به‌کار رفته در این آزمایش نظیر ویتامین C و ویتامین E بسیار بیشتر بوده به‌طوری‌که این عنصر باعث افزایش چشمگیری در شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه کاهو گردید و جذب سایر عناصر ضروری را بهبود بخشیده است. نتایج مشابهی نیز توسط *سیموجوکی*[14] و همکاران (2003) و *ژو*[15] و همکاران (2001) بر روی گیاه کاهو گزارش شده است.

اهمیت حضور سلنیم در رژیم غذایی انسان از یک‌سو و تأثیر این عنصر در بهبود شاخص‌های کیفی و کمی رشد گیاهان از سویی دیگر، نشان‌دهنده ضرورت بررسی تأثیر این عنصر مفید بر شاخص‌های مرفوفیزیولوژیکی گیاهان مختلف است. هم‌چنین با توجه به سمیت این عنصر در غلظت‌های بالا شناخت آستانه تحمل گیاهان نسبت به غلظت‌های مختلف سلنیم نیز ضروری می‌باشد. به همین منظور تحقیق حاضر با هدف بررسی سطوح مختلف سلنیم بر برخی صفات مرفولوژیکی، فیزیولوژیکی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه فلفل تند در شرایط کشت هیدروپونیک انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در محیط‌کشت هیدروپونیک و در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار (هر تکرار شامل سه گلدان) انجام گرفت. بذور فلفل تند (*Capsicum frutescence*) در سینی مخصوص نشاء حاوی کوکوپیت کشت و پس از رسیدن به مرحله ۶-۵ برگی به محیط‌کشت اصلی در گلدان‌های ۳ کیلوگرمی حاوی پیت ماس و پرلیت به نسبت حجمی ۱:۱

1. Hajiboland and Keivanfar
2. Graham
3. Hawrylak-Nowak
4. Soleimanzadeh
5. Geoffroy
6. Lyons
7. Hanson
8. Timothy
9. Akladious
10. Hasanuzzaman
11. Helal and Abd El Fatah
12. Arvy
13. Sally and Mervet
14. Simojoki
15. Xue

منتقل گردیدند. در طول دوره رشد، گلدان‌ها روزانه سه بار و هر بار به میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر با محلول غذایی هوگلند محلول‌دهی شدند. میانگین دمای گلخانه در طول روز و شب به‌ترتیب برابر با ۳۰ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. تیمارها شامل پنج سطح سلنیم شامل صفر به‌عنوان شاهد، سه، پنج، ۱۰ و ۷ میکرومولار از منبع سلنات سدیم که پس از گذشت یک هفته و استقرار کامل گیاهان در شرایط گلخانه اعمال شدند.

اندازه‌گیری صفات رویشی

برای اندازه‌گیری طول ساقه از محل طوقه تا انتهای ساقه اصلی، با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد و به‌منظور اندازه‌گیری طول ریشه، پس از اتمام دوره آزمایشی و خروج گیاهان از گلدان‌ها، ریشه‌ها سه بار به دقت آبشویی شده و طول آن‌ها از طوقه تا نوک ریشه با استفاده از خط کش میلی‌متری اندازه‌گیری شد.

نمونه‌برداری و اندازه گیری فعالیت آنزیم‌ها

برای سنجش میزان فعالیت آنزیم پرکسیداز بر طبق روش *کاندلی* و *اسکاندالویز*[1] (1984) محلول واکنش شامل ۵۰ میلی‌مول بافر فسفاته پتاسیم، ۱درصد (وزنی/حجمی) گایکول، ۰/۰۴ (حجمی/حجمی) پراکسید هیدروژن با pH=۶/۱ تهیه شد. سپس ۱۷۰۰ میکرولیتر محلول واکنش به ۱۰۰ میکرولیتر عصاره گیاهی اضافه گردید. میزان افزایش جذب نور در طول موج ۴۷۰ نانومتر و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (V-530, JASCO, Japan) اندازه‌گیری گردید (میزان آنزیم براساس مقدار گایکول که در دقیقه اکسید می‌شود، بیان می‌گردد).

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز کمپلکس واکنشی (۱/۵ میلی‌لیتر از بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۰/۵ میلی‌لیتر پراکسیدهیدروژن ۷/۵ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر از محلول آنزیمی) آماده شده و سپس حجم نمونه‌ها بوسیله آب مقطر به سه میلی‌لیتر رسانیده شد. پس از افزودن پراکسیدهیدروژن و آغاز واکنش، کاهش در جذب نمونه‌ها در طول موج ۲۴۰ نانومتر در مدت ۱ دقیقه ثبت گردید. فعالیت آنزیمی با استفاده از ضریب خاموشی ۳۶ $mmol^{-1}\ cm^{-1}$ محاسبه شد (*ابی*[2]، 1989).

1. Chandlee and Scandalios
2. Abi

اندازه‌گیری پرولین

میزان پرولین از طریق سنجش مقدار محصول رنگی حاصل از واکنش پرولین با ناین هیدرین به‌دست آمد (*باتس*[3] و همکاران، 1973). میزان جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر به کمک اسپکتروفتومتر خوانده شده و مقدار پرولین به کمک منحنی استاندارد از پیش آماده شده محاسبه گردید و به‌صورت میکرومول بر گرم وزن تر بیان شد.

اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره گیاهی (برگ و قسمت‌های هوایی گیاه فلفل) از طریق خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH (Diphenyl-2-picrylhydrazyl) تعیین گردید (*میلیوسکاس*[4] و همکاران، 2004). برای این منظور ۰/۲ گرم از هر نمونه را در داخل هاون چینی با کمک نیتروژن مایع آسیاب کرده و سپس ۱۰ میلی‌لیتر متانول اضافه گردید و به‌مدت یک ساعت در دمای اتاق نگه داشته شد. مقدار ۵۰ میکرولیتر عصاره متانولی به ۹۵۰ میکرولیتر محلول DPPH اضافه شده و سپس در دمای اتاق به‌مدت ۱۵ دقیقه در شرایط تاریکی نگه داری گردید. کاهش در جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر تعیین گردید. سپس ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها براساس درصد بازدارندگی DPPH محاسبه گردید.

$$DPPHsc = (Acont - Asamp) / Acont \times 100$$

DPPHsc درصد بازدارندگی، Asamp میزان جذب (نمونه + DPPH) و Acont میزان جذب DPPH.

اندازه‌گیری میزان فنول

برای این منظور میزان ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره استخراجی، ۲/۵ میلی‌لیتر معرف فولین (۱۰ برابر رقیق شده)، آب مقطر و دو میلی‌لیتر از محلول کربنات سدیم (۷/۵ درصد) با هم مخلوط شده و در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۵دقیقه در حمام آب گرم قرار داده شد. برای ساختن محلول شاهد، ۰/۵ میلی‌لیتر متانول (۸۰ درصد) با معرف مخلوط شده و سایر مراحل همانند مرحله قبل تکرار شد (راوان[5]، 2003). میزان جذب نور به‌وسیله دستگاه اسپکتوفتومتر و در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شده و منحنی استاندارد اسید گالیک (با غلظت‌های دو، چهار، هشت،۱۰، ۳۰، ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر) رسم گردید. سپس میزان فنول برگ طبق منحنی استاندارد محاسبه شد (*راوان*، 2003).

3. Bates
4. Miliauskas
5. Raven

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد و تجریه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statistix 8 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج

براساس نتایج حاصله از تجزیه واریانس آماری (جدول ۱)، اثر سلنیم بر اندام هوایی گیاه فلفل معنی‌دار شد و بیش‌ترین اثر افزاینده مربوط به تیمار سه میکرومولار سلنیم بوده و بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین (جدول ۲) اثر سلنیم در تیمار سه میکرومولار باعث افزایش ۱۹ درصدی طول شاخساره نسبت به تیمار شاهد است. افزودن سلنیم به محیط رشد گیاه هم‌چنین باعث افزایش معنی‌دار و ۲۷/۳ درصدی طول ریشه در تیمار ۷ میکرومولار سلنیم شد، هرچند این تأثیر در سایر تیمارهای آزمایشی معنی‌دار نبود (جدول ۲).

تیمارهای سه، پنج و هفت میکرومولار سلنیم باعث افزایش چشمگیری در حجم ریشه گیاه نسبت به تیمار شاهد شدند و این افزایش در تیمار ۱۰ میکرومولار سلنیم به میزان کمتری مشاهده گردید (جدول ۲). براساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه‌های آماری غلظت‌های پایین سلنیم باعث افزایش بیشتری در حجم ریشه شده و با افزایش غلظت این عنصر در تیمارهای سه، پنج و هفت میکرومولار، حجم ریشه افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشت (جدول ۲).

افزایش معنی‌دار وزن تر شاخساره در تیمار سه میکرومولار سلنیم نسبت به تیمار شاهد و سایر غلظت‌ها مشاهده شد. هم‌چنین بیش‌ترین وزن خشک شاخساره در سه میکرومولار سلنیم بود. وزن تر ریشه در تیمار سه میکرومولار سلنیم افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد داشت و پس از آن در غلظت هفت و ۱۰ میکرومولار سلنیم وزن تر ریشه نسبت به شاهد کاهش داشت. بیش‌ترین وزن خشک ریشه در تیمار سه میکرومولار سلنیم مشاهده شد (جدول ۲)

جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف سلنیم روی برخی از شاخص‌های رشد گیاه فلفل

Table 1: Analysis of variance of the effect of different selenium levels on some growth indexes in pepper

منابع تغییرات Sources of variations	درجه ازادی df	میانگین مربعات Mean squares						
		طول ساقه Shoot length	طول ریشه Root length	حجم ریشه Root volume	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight
سلنیم Selenium	2	126.08*	63.06*	323.33*	1542.43*	131.66*	286.23*	17.59*
خطا Error	16	76.50	16.79	86.66	45.80	2.31	46.400	3.46
ضریب تغییرات CV		10.95	10.81	18.80	9.51	12.09	8.31	11.47

*: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

*: significant difference at the 5% level

جدول ۲: مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف سلنیم بر صفات و شاخص‌های اندازه‌گیری شده در گیاه فلفل

Table 2: Means comparison of the effect of different selenium levels on measured parameters in pepper

غلظت‌های مختلف سلنیم Se levels	طول ساقه (میلی‌متر) Shoot length (mm)	طول ریشه (میلی‌متر) Stem length (mm)	حجم ریشه (میلی‌لیتر) Root volume (ml)	وزن تر شاخساره (گرم) Shoot fresh weight (gr)	وزن خشک شاخساره (گرم) Shoot dry weight (gr)	وزن تریشه (گرم) Root fresh weight (gr)	وزن خشک ریشه (گرم) Rootdry weight (gr)
شاهد Control	75.76ab	33.00b	26.66b	79.66b	14.80b	79.66b	14.80b
3µM	90.16a	37.66b	33.33a	97.66a	20.19a	97.66a	20.19b
5µM	79.60ab	34.33b	30.00a	83.00b	16.60b	83.00b	16.60b
7µM	73.200b	45.33a	38.66a	78.00b	15.57b	52.00c	6.46c
10µM	80.70ab	37.66b	28.33ab	71.33b	13.96b	43.33c	4.89c

اختلاف میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است

Means with different letters in each column based on the LSD test are significantly different at the level of 5%

فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار هفت میکرومولار سلنیم افزایش معنی‌دار و ۳۵ درصدی نسبت به شاهد داشت (جدول ۳ و ۴). افزایش معنی‌دار و ۳۷ درصدی آنزیم پراکسیداز در تیمار هفت میکرومولار سلنیم مشاهده شد. با افزایش غلظت

سلنیم فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ فلفل افزایش یافت به‌طوری‌که در تیمار ۱۰ میکرومولار سلنیم بیش‌ترین میزان (۵۰ درصدی نسبت به شاهد) فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده شد. سلنیم باعث افزایش معنی‌دار و ۱۹ درصدی پرولین بافت برگ در تیمار ۱۰ میکرومولار سلنیم نسبت به شاهد شد (جدول ۴).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین (جدول ۳ و ۴) نشان داد که میزان فنول کل برگ تحت تأثیر سلنیم قرار گرفته و در تیمار پنج میکرومولار سلنیم افزایش معنی‌داری را نشان داد.

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف سلنیم روی برخی از شاخص‌های اندازه‌گیری شده در گیاه فلفل

Table 3: Analysis of variance of the effect of different Selenium levels on some measured indexes in pepper

منابع تغییرات Sources of variance	درجه ازادی df	میانگین مربعات Mean squares				
		کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity	پرولین Proline	فنول Phenols
سلنیم Selenium	2	1.36*	0.02*	794.87*	7.47*	1.74*
خطا Error	16	6.85	0.01	341.33	3.25	5.67
ضریب تغییرات CV		18.08	14.80	17.41	9.70	19.71

*: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

*: significant difference at the 5% level

جدول۴: مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف سلنیم بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در گیاه فلفل

Table 4: Means Comparison of the effect of different selenium levels on measured parameters in pepper

غلظت‌های مختلف سلنیم Se levels	کاتالاز (میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه) Catalase (Ug-1W)	پراکسیداز (میکرومول در دقیقه در گرم وزن تازه) Peroxidase (Ug-1W)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی (درصد بازدارندگی) Antioxidant Activity (IC50 µg/mg)	پرولین (میلی‌مول در گرم وزن تازه) Peroline (mmlog1Fw)	فنول (میلی‌گرم گالیک اسید در گرم بافت تازه) Phenol (mg Galic acid/ gDW)
شاهد Control	0.02ab	0.27ab	37.32b	17.65b	0.01b
3 µM	0.02ab	0.26ab	50.07ab	18.56ab	0.02ab
5 µM	0.01b	0.28ab	69.51ab	17.80b	0.03a
7 µM	0.03a	0.43a	73.18a	17.61b	0.01b
10 µM	0.02ab	0.15b	73.63a	21.33a	0.01b

اختلاف میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار است

Means with different letters in each column based on the LSD test are significantly different at the level of 5%

بحث

سلنیم عنصری سودمند است که در غلظت‌های پایین محرک رشد و در غلظت‌های بالا اثر سمی دارد. در پژوهش حاضر کاربرد سلنیم باعث افزایش خصوصیات رشدی گیاه فلفل تند در شرایط کشت هیدروپونیک گردید، به‌طوری‌که غلظت هفت میکرومولار سلنیم باعث افزایش طول ریشه شد که با نتایج حاصل از بررسی *هان- ونز*[1] و همکاران (2010) مطابقت دارد. طبق نظر این محققین افزودن سلنیم در غلظت‌های پایین به محیط رشد گیاه، منجر به افزایش تقسیم سلولی در ناحیه مریستمی و در نتیجه افزایش رشد طولی ریشه گیاه می‌گردد. حجم ریشه فلفل در تیمار پنج و هفت میکرومولار سلنیم افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشت. نتایج مشابهی توسط سیموجوکی و همکاران (2003) مشاهده شد که حجم ریشه با افزودن سلنیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. شاید دلیل این امر افزایش طول ریشه باشد که در آزمایش حاضر مشاهده شد.

هم‌چنین براساس نتایج حاصل از آزمایش حاضر بیش‌ترین طول ساقه در تیمار سه میکرومولار سلنیم مشاهده شد که با

1. Han-Wens

نتایج *دجاناگویرامن*[1] و همکاران (2005) هم‌خوانی داشت. در تایید نتایج تحقیق حاضر، *صفاریزدی*[2] و همکاران (2012) نیز گزارش دادند که سلنیم در غلظت کم باعث افزایش رشد شاخساره گیاه اسفناج نسبت به تیمار شاهد شد اما در غلظت‌های بالاتر سمیت این عنصر، کاهش در طول شاخساره گیاه را به دنبال داشت. آنزیم پراکسیداز و سایر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، مسئول از بین بردن پراکسیدهیدروژن در بافت‌های گیاهی می‌باشند و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نشان‌دهنده اثر سلنیم در حذف رادیکال‌های آزاد می‌باشد. اکبولوت و *ساکیر*[3] (2010) بیان کردند که سلنیم در غلظت بالا باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز گیاه جو می‌شود، هم‌چنین آن‌ها افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به‌وسیله سلنیم را بسته به غلظت سلنیم مورد استفاده و گونه گیاهی دانستند. براساس نتایج آزمایش حاضر کاربرد سلنیم در غلظت پنج میکرومولار باعث کاهش و در غلظت هفت میکرومولار باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به تیمار شاهد گردید که می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که سلنیم در غلظت هفت میکرومولار اثر تنشی در گیاه ایجاد کرده است.

فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار هفت میکرومولار افزایش جزئی نسبت به تیمار شاهد داشت. نتایج مشابه توسط *نوئاک*[4] و همکاران (2004) در برنج، *سپانان*[5] و همکاران (2003) در سیب‌زمینی و *دجاناگویرامن* و همکاران (2005) در سویا مشاهده شده است. برای مشخص شدن دقیق اثر سلنیم بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و هم‌چنین تعیین آستانه حساسیت سلنیم در گیاهان مختلف نیاز به آزمایشات بیشتری می‌باشد.

سلنیم در غلظت‌های بالا باعث ایجاد تنش در گیاهان می‌شود، در این آزمایش غلظت ۱۰ میکرومولار سلنیم نسبت به سایر غلظت‌ها و تیمار شاهد باعث افزایش میزان پرولین در بافت گیاهی شده است. *آکبولوت* و *ساکیر* (2010) گزارش کردند که سلنیم باعث افزایش میزان پرولین گیاه جو (Balbul 89) می‌شود. نتایج مشابهی در گیاه سویا در طول دوران پیری توسط *دجاناگویرامن* و همکاران (2005) گزارش شده است. مکانیسم و دلیل افزایش پرولین در گیاهان تحت تأثیر سلنیم مشخص نشده است (*هوئریلاک نوواک*، 2009).

تورلو[6] و همکاران (2010) با کاربرد سلنیم گزارش کردند که سلنیم باعث افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش رادیکال‌های آزاد قارچ می‌شود. آن‌ها بیان کردند که پرورش قارچ (*Lentinula edodes*) در محیط‌های کشت حاوی سلنیم می‌تواند راهکاری مناسب در جهت غنی‌سازی زنجیره غذایی انسان از این عنصر مفید و پیشگیری از بسیاری از بیماری‌های رایج باشد. در آزمایش حاضر با افزایش غلظت سلنیم، خاصیت آنتی‌اکسیدانی برگ‌های فلفل به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. البته نیاز به بررسی اثر سلنیم بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی و فنولی بافت میوه برای تعیین غلظت مناسب سلنیم می‌باشد.

فنول کل برگ‌های فلفل در تیمار پنج میکرومولار سلنیم به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد و سایر تیمارها افزایش داشت، نتایج مشابه در برگ‌های ریحان توسط *هوئریلاک نوئاک* (2008) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که سلنیم در غلظت‌های کم (سه میکرومولار) باعث بهبود رشد گیاه از طریق افزایش طول ساقه، وزن تر و خشک شاخساره و ریشه می‌شود. با افزایش غلظت سلنیم خاصیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز و هم‌چنین میزان پرولین افزایش یافت. میزان فنول نیز در غلظت کم سلنیم (پنج میکرومولار) افزایش نشان داد.

1. Dajanaguiraman
2. Saffaryazdi
3. Akbulut and Cakir
4. Nowak
5. Seppänen
6. Turło

منابع

خوشگفتارمنش، ا. ح. ۱۳۸۹. مباحث پیشرفته در تغذیه گیاه. اصفهان، مرکز نشر دانشگاهی اصفهان.۳۷۶ص.

Abi, H. 1984. Catalase *in vitro*. Method of Enzymology, 105: 121-126.

Akbulut, M. and Cakir, S. 2010. The effects of se phytotoxicity on the antioxidant systems of leaf tissues in barley (*Hordeum vulgare* L.) seedling. Plant Physiology and Biochemistry, 48: 160-166.

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.

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

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

Chandlee, J. M. and Scandalios, J. G. 1984. Analysis of variants affecting the catalase development program in *Maize scutellum* Theor. Journal of Applied Genetics, 69: 71-77.

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

Geoffroy, L., Gilbin Simona, R., Floriani, M., Adam, 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.

Graham, H. L., Lewis, J., Lormer, M. F. and Holloway, R. E. 2004. High- Selenium wheat: agronomic biofortification strategies to prove human nutrition. Journal of Food Agriculture and Environment, 2 (1): 171-178.

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.

Hasanuzzaman, M., Anwar Hossain, M. and Masayuki, F. 2011. Selenium-induced up regulation of the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system reduces salinity-induced damage in rapeseed seedlings. Biological Trace Element Research, 143: 1704-1721.

Hasanuzzaman, M., Anwar Hossain, M. and Masyuki F. 2012. Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. Journal of Plant Sciences, 5 (4): 354-375.

Hanson, B., lindblom, S. D., Leoffler, M. L. and Smits, E. A. 2004. Selenium protects plants from phloem feeding aphids due to both deterrence and toxicity. Journal of Environmental Research, 30: 167-172.

Han-Wens, S., Jing, H., Shu-Xuan, L. and Wei-Jun, K. 2010. Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. Commun. Soil Science and Plant Analysis, 41: 1195-1204.

Hawrylak-Noawk, B. 2008. Enhanced selenium content in sweet basil (*Ocimum basilicum*) by foliar fertilization. Vegetable Crops Research Bulletin, 69: 63-72.

Hawrylak-Nowak, B. 2009. Beneficial effects of exogenous selenium in cucumber seedlings subjected to salt stress. Biological Trace Element Research, 132: 259-269.

Helal, R. M. and Abd El Fatah, M. A. 2010. Protective role of selenium on development and physiological responses of *Vicia faba*. [nternational Association for Vegetation Science, 16 (2): 174-183.

Lyons, G. H., Genc, Y., Soole, K., Stangoulis, J. C. R., Liu, F. and Graham, R. D. 2008. Selenium increases seed production in *Brassica*. Plant and Soil, 10.1007/s 11104-008-9818.

Madaan, N. and Mudgal, V. 2011. Phytotoxic effect of selenium on the accessions of wheat and safflower. Research Journal of Environmental Sciences, 5: 82-87.

Miliauskas, G., Venskutonis, P. R. and. Van Beek, T. A. 2004. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. Food Chemistry, 85: 231-237.

Nowak, J., Kaklewski, K. and Ligocki, M. 2004. Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and in plants. Soil Biology and Biochemistry, 36: 1553-1558.

Raven, J. A. 2003. Cycling silicon: the role of accumulation in plants. New Phytologist Journal, 158: 419-30.

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.

Sally, A. M. and Mervet, E. S. 2011. Some antioxidants application in relation to lettuce growth, chemical constituents and yield. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5 (6): 127-135.

Seppänen, M., Turakainen, M. and Hartikainen, H. 2003. Selenium effects on oxidative stress in potato. Plant Science, 165: 311-319.

Simojoki, A. T., Xue, K., Lukkari, A., Pennen, R. and Hartikainen, H. 2003. Allocation of added selenium in lettuce and its impact on roots. Journal of the Science of Food and Agriculture, 12: 155-164.

Soleimanzadeh, H. 2012. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to selenium application under water stress. World Applied Sciences Journal, 17 (9): 1115-1119.

Timothy, P. 2001. Glutation-related enzymes and selenium status: implications for oxidative stress. Biochemical Pharmacology, 62: 237-281.

Turło, J., Gutkowska, B. and Herold, F. 2010. Effect of selenium enrichment on antioxidant activities and chemical composition of *Lentinula edodes* (Berk.) Pegl. mycelial extracts. Food and Chemical Toxicology, 48: 1085-1091.

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

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

Effect of Selenium on some Morphological and Physiological Properties of Hot Pepper (*Capsicum annum*) Grown in Hydroponic Culture

Shekari[1*], L., Mozafariyan[2], M., Kamelmanesh[3], M. M. and Sadeghi[4], F.

Abstract

Selenium is a beneficial element with antioxidant characteristics that can improve plant growth and increase plant resistance to environmental stress. In order to study the effect of different concentrations of selenium on growth parameters, antioxidant enzyme activities, antioxidant properties and total phenol of hot pepper cv. Suryankhi Cluster in a hydroponic culture, this experiment was carried out in a completely randomized design with three replications the treatments were consisted of five Se concentrations (0 as control, 3, 5, 7 and 10 µM). The results showed that Se application at the rate of 3 µM increased growth traits such as stem length, shoot and root fresh and dry weight. The highest root length was also observed in plants treated with 7 µM Se. The activity of antioxidant enzymes such as Catalase and Peroxidase markedly increased at 7 µM Se. Antioxidant activity increased with increasing Se concentration, showing the highest activity at 10 µM Se. Total phenol increased by application of 3 and 5 µM Se and then decreased at 7 and 10 µM compared to 5 µM Se. Proline content significantly increased at 10 µM compared to the control. In general, it can be concluded that selenium application may improve plant growth and increase phenolic content and antioxidant activity of hot pepper.

Keywords: Peroxidase, Proline, Catalase, Hyroponic

1, 2 and 4. Former MSc Students and Assistant Professor, Respectively, Department of Horticulture Sciences, Shiraz Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Sadra Branch, Shiraz

3. Assistant Professor, Department of Genetics and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Sadra Branch, Shiraz

※: Corresponding author Email: lila.shekari63@gmail.com