تأثیر منابع و سطوح مختلف سلنیوم بر برخی ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیکی پیاز (*Allium cepa* L.)

Effect of Different Sources and Levels of Selenium on Growth and Some Physiological Characteristics of Onion (*Allium cepa* L.)

معصومه عامریان[۱]، فرشاد دشتی[۲]*و مجتبی دلشاد[۳]

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۸/۲۸

چکیده

سلنیوم (Se) یک عنصر ضروری برای انسان و حیوانات است. با این حال، اثرات آن بر گیاهان کمتر شناخته شده است. در این پژوهش، تاثیر منابع و سطوح مختلف سلنیوم بر رشد و خصوصیات فیزیولوژیکی پیاز در شرایط کشت بدون خاک مورد مطالعه قرار گرفت تا علاوه بر صفات کیفی مطلوب و قابل قبول، مشکلی برای انسان و گیاه نداشته باشد. تیمارهای آزمایش شامل ۴ غلظت نانوسلنیوم (۲، ۵، ۱۰ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) و ۳ غلظت سلنیت سدیم (۲، ۴ و ۸ میلی‌گرم بر لیتر) و سلنات سدیم (۱، ۲ و ۳ میلی‌گرم بر لیتر) بودند که هر کدام به‌طور جداگانه در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شدند. نتایج نشان داد که سطوح مختلف نانوسلنیوم، سلنیت سدیم و سلنات سدیم اثر معنی‌داری بر وزن تر برگ، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر ساقه مجازی گیاه پیاز و نیز بر وزن تر سوخ، قطر سوخ و طول سوخ پیاز دارند. سطوح مختلف سلنیت سدیم و سلنات سدیم اثر معنی‌داری بر میزان کلروفیل برگ و سلنیوم کل سوخ داشتند. بیشترین میزان کلروفیل برگ در سطوح پائین سلنیت سدیم و سلنات سدیم مشاهده شد که با افزایش غلظت سلنیوم در محلول غذایی میزان کلروفیل برگ پیاز نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. میزان سلنیوم کل سوخ با افزایش غلظت سلنیت سدیم و سلنات سدیم در محلول غذایی افزایش یافت، البته این افزایش در گیاهان تیمار شده با سلنات سدیم بیشتر از گیاهان تیمار شده با سلنیت سدیم بود.

واژه‌های کلیدی: سلنیت سدیم، سلنات سدیم، نانوسلنیوم، محلول غذایی و کشت بدون خاک

۱. دانشجوی سابق دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

۲. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

۳. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

*: نویسنده مسئول Email: dashti1350@yahoo.com

مقدمه

سلنیوم یک عنصر شبه‌فلز است که در گروه ششم جدول تناوبی قرار دارد و به‌دلیل نزدیکی با گوگرد خواصی مشابه با این عنصر دارد (*وایت*[1] و همکاران، 2004). سلنیوم یک عنصر کم مصرف ضروری برای انسان و حیوانات است و نقش مهمی را در تعدادی از فرایندهای بیولوژیکی ایفا می‌کند. سلنیوم به دلیل شرکت در سلنوآنزیم‌های مختلف که در کاهش صدمات ناشی از رادیکال‌های آزاد عمل می‌کنند، پتانسیل ضدسرطانی نشان می‌دهد. در محیط‌هایی که سلنیوم بیشتری وجود دارد نرخ مرگ و میر ناشی از سرطان و بیماری‌های قلبی کمتر است (*شامبرگر*[2]، 1981). شواهدی موجود است مبنی بر این که کمبود سلنیوم ممکن است در ایجاد بیماری‌های قلبی، کم کاری تیروئید و ضعف سیستم ایمنی نقش داشته باشد (*کامبز*[3]، 2000). اگر چه سلنیوم یک ریزمغذی مهم به‌عنوان آنتی‌اکسیدان برای انسان و جانوران است اما در غلظت‌های بالا به دلیل پیوند سلنیوم به جای سولفور در آمینواسیدها سمیت ایجاد می‌کند که بعداً ساختار سه بعدی پروتئین را تغییر می‌دهد و در کار آنزیم‌ها اختلال ایجاد می‌کند (*آموگ*[4] و همکاران، 2003).

سلنیوم از خاک جذب شده و از طریق گیاهان وارد زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌شود (*ریمن*[5]، 2000). نقش سلنیوم در گیاهان به‌عنوان یک عنصر ضروری هنوز مورد بحث است و در غلظت‌های بالا برای گیاه سمی می‌باشد. علائم ناشی از سمیت سلنیوم در گیاهان شامل کاهش رشد، کلروزه شدن، پژمرده و خشک شدن برگ‌ها، کاهش سنتز پروتئین و مرگ پیش از بلوغ گیاه است. با این وجود غلظت‌های پایین سلنیوم اثرات سودمندی بر متابولیسم سلول‌های گیاهی دارد و با توجه به شواهد، کاربرد خاکی یا محلول‌پاشی سلنیوم می‌تواند رشد، عملکرد و کیفیت محصولات را افزایش دهد (*زو*[6] و همکاران، 2003؛ *وانجر*[7]، 2004).

گونه‌های گیاهی در جذب و تجمع سلنیوم در شاخه و نیز توانایی آنها در تحمل غلظت‌های بالای سلنیوم موجود در محیط ریشه یا در بافت شاخه و یا در هر دو خیلی متفاوت هستند، در نتیجه گیاهان به انباشت‌کننده‌ها[8]، اندیکاتورها[9] و غیرانباشت‌کننده‌های سلنیوم طبقه‌بندی می‌شوند. تقریباً ۲۵ جنس از گیاهان جزء انباشت‌کننده‌های سلنیوم به‌شمار می‌روند که شامل سیر (*Allium sativum* L.)، پیاز، کلم بروکلی (*Brassica oleracea* L.) و تره وحشی[10] (رمپ[11]) (*Allium tricocum* L.) هستند (*بارسلوکس*[12]، 1999 و حسنزمن[13] و همکاران، 2010). اکثر گیاهان در گروه غیرانباشت‌کننده‌های سلنیوم قرار می‌گیرند که به حضور سلنیوم در محیط رشد خود حساس هستند (*شارما*[14] و همکاران، 2010).

سلنیوم به‌طور غالب به شکل سلنات توسط ریشه گیاهان جذب می‌شود، درحالی‌که سلنیت و ترکیبات آلی سلنیومی نیز به راحتی جذب می‌شوند. شکل شیمیایی سلنیوم بر جذب و توزیع آن در قسمت‌های مختلف گیاه تأثیرگذار است (*سورس و الیس*[15]، 2005). در کلزا تجمع سلنیوم در گیاهان تیمار شده با سلنیت در ریشه بیشتر از شاخه است، درحالی‌که در گیاهان تیمار شده با سلنات میزان تجمع سلنیوم در شاخه بیشتر است (*شارما* و همکاران، 2010).

حلالیت بیشتر سلنات نسبت به سلنیت نقش مهمی در انتقال و متابولیسم سلنیوم در گیاه دارد، به‌همین جهت وقتی گیاه با سلنات تیمار می‌شود سلنیوم به‌طور عمده به برگ‌ها منتقل می‌شود اما در گیاه تیمار شده با سلنیت، سلنیوم اساساً در ریشه تجمع یافته و میزان کمی به اندام‌های هوایی انتقال می‌یابد (*لانگچیمپ*[16] و همکاران، 2013).

با توجه به تحقیقات انجام شده، میزان تجمع سلنیوم در گیاهان مشابه نیست. در مطالعه‌ای که روی خردل هندی، کلم بروکلی، چغندرقند، باقلای مصری و آفتابگردان با ۲۰ میکرومول سلنیوم انجام شد، نتایج نشان داد که میزان تجمع سلنیوم در فرم سلنات دو تا چهار برابر بیشتر از فرم سلنیت است (*ناگارنی*[17] و همکاران، 2011). براساس نتایج *زانگ*[18] و همکارانش (2003) در سویا تجمع سلنیوم در فرم سلنیت بیشتر از سلنات بوده و به غلظت سلنیوم و فسفات در محلول غذایی بستگی دارد، چونکه غلظت‌های بالای فسفات (۱۰۰ میکرومول) جذب سلنیت را کاهش می‌دهد. میزان تجمع یکسانی از سلنیوم برای هر دو فرم آن (سلنات و سلنیت) در

1. White
2. Shamberger
3. Combs
4. Amweg
5. Rayman
6. Xu
7. Whanger
8. Accumulators
9. Indicators
10. Wild Leek
11. Ramps
12. Barceloux
13. Hasanuzzaman
14. Sharma
15. Sors and Ellis
16. Longchamp
17. Nagarani
18. Zhang

برنج با غلظت ۲۰ میکرومول سلنیوم (*زید*[1] و همکاران، 1998) و گندم با غلظت ۱۰ میکرومول سلنیوم (*لی*[2] و همکاران، 2008) گزارش شده است. میزان تجمع سلنیوم در سه گونه از آلیوم‌های چند ساله (*Allium nutans* L.، *Allium obliquum* L. و *Allium schoenoprasum* L.) پس از محلول‌پاشی برگی با ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به‌صورت نانوسلنیوم، سلنات سدیم و سلنیت سدیم توسط *گولبنیا*[3] و همکارانش (2012) مورد بررسی قرار گرفت. میزان تجمع سلنیوم در برگ‌های هر سه گونه متفاوت بود و بیشترین میزان تجمع سلنیوم در گونه *Allium schoenoprasum* L. با ۱۲۱۵ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک در تیمار سلنات سدیم و کمترین میزان تجمع سلنیوم در گونه *Allium obliquum* با ۶۷۲ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک در تیمار سلنیت سدیم مشاهده گردید.

سبزی‌های موجود در خانواده‌ی آلیاسه[4] به‌طور طبیعی سلنوفروز[5] بوده و می‌توانند سلنیوم معدنی را از خاک جذب کرده و به فرم‌های آلی فعال تبدیل کنند و انواع مختلفی از سلنوآمینواسیدها را تولید کنند. این گیاهان، سلنیوم را به شکل سلنومتیل‌سلنوسیستئین[6] (SeMSeCys) اندوخته می‌کنند که می‌تواند به متیل سلنول[7] تبدیل شده و در مقابل سرطان نقش محافظتی داشته باشد (*وانجر*، 2004). به همین جهت، پیاز (*Allium cepa* L.) می‌تواند منبع خوبی از این عنصر حیاتی برای حفظ سلامتی انسان در برابر بسیاری از بیماری‌ها باشد. گزارشاتی مبنی بر تاثیر سلنیوم بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی و نیز ترکیبات معطره پیاز وجود دارد (*پولدما*[8] و همکاران، 2013؛ *کوپسل* و *رندل*[9]، 199). ویژگی آنتی‌اکسیدانی و ضدسرطانی منسوب به برخی ترکیبات سلنیوم، افزایش پرورش سبزی‌های غنی شده با سلنیوم ازجمله پیاز را توجیه می‌کند.

میزان قابل تحمل[10]، حد مجاز پیشنهاد شده[11]و میانگین نیاز برآورد شده[12] برای انسان به‌ترتیب ۴۰۰، ۵۵ و ۴۵ میکروگرم سلنیوم در روز می‌باشد (*فراگا*[13]، 2005). *کلارک*[14] و همکارانش (1996) اثبات کردند که مصرف ۲۰۰ میکروگرم سلنیوم در روز میزان سرطان ریه، پروستات و روده را کاهش می‌دهد. ویژگی آنتی‌اکسیدانی و ضدسرطانی برخی از ترکیبات سلنیوم نقش مهمی در سلامت انسان دارند. سلنیوم جزء جدایی‌ناپذیری از اجزای سازنده‌ی آنزیم‌هایی مانند گلوتاتیون پراکسیداز و تیورودوکسین ردوکتاز است که در محافظت آنتی‌اکسیدانی یاخته‌های انسانی سهیم هستند (*پیرزینسکا*[15]، 2009). اخیراً، فرم‌های متیله شده‌ی سلنیوم مانند سلنومتیل‌سلنوسیستئین مورد توجه قرار گرفته است، به‌دلیل اثر محافظتی ویژه‌ای که در برابر برخی از سرطان‌ها دارند (*الیس و سالت*[16]، 2003). محدوده‌ی بین میزان سلنیوم مورد نیاز و غلظت سمی آن بسیار نزدیک است. غلظت بالای سلنیوم در خون منجر به علائم سمیت شدید سلنیوم در انسان می‌شود که شامل تغییرات مورفولوژیکی ناخن، شکنندگی ناخن، ریزش مو و نیز حالت تهوع و استفراغ و ضایعات پوستی است. علائم کمبود سلنیوم نیز درد عضلانی، ضعف و از بین رفتن رنگدانه‌های مو و پوست و سفید شدن ناخن‌ها را در پی دارد (*وانجر*، 2002).

با توجه به این‌که اعضای خانواده آلیاسه جزء گیاهان سلنوفروز هستند، لذا بررسی توانایی پیاز در جذب و انباشت سلنیوم در حد بحرانی، برای سلامت بشر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در تحقیق حاضر برای دستیابی به سطوح مناسب سلنیوم با توجه به عدم‌تأثیر آن بر رشد گیاه پیاز و نیز قرار گرفتن در دامنه مناسب جهت مصرف انسان، اثر نانو سلنیوم، سلنیت سدیم و سلنات سدیم در سطوح مختلف بر برخی ویژگی‌های مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی پیاز در شرایط کشت بدون خاک مورد بررسی قرار گرفت. شایان ذکر است که برگ و ساقه مجازی پیاز در ایران مصرف می‌شوند، لذا در این تحقیق اثر منابع و سطوح مختلف سلنیوم بر خصوصیات رشدی دانهال پیاز (مقارن با تشکیل سوخ) نیز مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

بذر پیاز رقم قرمز آذر شهر از مرکز تحقیقات سیب‌زمینی و پیاز واقع در شهرستان کرج تهیه گردید. بذور پس از ضدعفونی به‌مدت ۱۰ دقیقه با هیپوکلرید سدیم ۱٪ در سینی‌های نشا کشت شدند. دانهال‌ها هفته‌ای دو بار با محلول غذایی کامل هوگلند تغذیه و به میزان نیاز آبیاری می‌شدند. پس از ۵ هفته، گیاهان به گلدان‌های پلاستیکی ۷ لیتری حاوی پرلیت با تراکم

1. Zayde
2. Li
3. Golubkina
4. Alliacea
5. Selenoferous
6. Selenomethylselenocysteine
7. Methyl selenol
8. Põldma
9. Kopsell and Randle
10. Tolerable upper intake level (UL)
11. Recommended dietary allowance (RDA)
12. Estimated average requirement (EAR)
13. Fraga
14.Clark
15. Pyrzynska
16. Ellis and Salt

۳ گیاه در هر گلدان منتقل شدند. سه هفته پس از انتقال گیاهان به گلدان و سازگاری نسبی به شرایط هیدروپونیک تیمارهای مختلف اعمال شدند، طی این سه هفته محلول‌دهی با محلول غذایی کامل هوگلند و به‌صورت یک روز در میان انجام می‌گرفت. آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و ۳ گلدان در هر کرتچه و سه بوته در هر گلدان اجرا شدند. تیمار نانوسلینوم شامل ۲، ۵، ۱۰ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم به‌صورت محلول‌پاشی برگی، طی سه مرحله (به فاصله یک هفته) اعمال گردید. سلنات سدیم به میزان ۱، ۲ و ۳ میلی‌گرم بر لیتر و سلنیت سدیم ۲، ۴ و ۸ میلی‌گرم بر لیتر به‌طور جداگانه به محلول غذایی هوگلند اضافه شدند. گیاهان شاهد نیز با محلول غذایی هوگلند کامل تغذیه گردیدند. تقریباً مقارن با شروع سوخدهی ۳ ماه پس از کشت بذر، زمانی‌که نسبت سوخدهی بیشتر از ۲ (نسبت حداکثر قطر سوخ به حداقل قطر ساقه مجازی) تشخیص داده شد (مصرف گیاه به صورت پیازچه) سه بوته از هر کرتچه برداشت و ارتفاع گیاه، وزن گیاه، تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ، ریشه و ساقه مجازی[1] و مقدار کلروفیل برگ اندازه‌گیری شد. سپس در مرحله خمیدگی بیش از ۵۰٪ گردن، سوخ‌ها برداشت شدند و وزن تر و خشک سوخ، طول و قطر سوخ و میزان سلنیوم کل سوخ تعیین گردید. در این آزمایش، طول دوره رشد پیاز از زمان کشت بذر تا سوخدهی ۷ ماه طول کشید. مقدار کلروفیل برگ با استفاده از روش *آرنون*[2] (1949) و نیز سلنیوم کل سوخ به‌روش *کاپولنا و فودر*[3] (2006) توسط دستگاه ICP-MS (مدل HP ۷۵۰۰، کشور ژاپن) محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P\leq0.05$) استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر سلنیوم بر خصوصیات رشدی دانهال پیاز

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح و منابع مختلف سلنیوم بر برخی صفات مرفولوژیکی دانهال‌های پیاز (جدول ۱)، نانوسلنیوم اثر معنی‌داری در سطح ۵٪ روی وزن تر و خشک ریشه داشت. البته نانوسلنیوم اثر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه، وزن گیاه، تعداد برگ، وزن تر برگ، وزن تر ساقه مجازی، وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه مجازی نشان نداد. سلنیت سدیم اثر معنی‌داری بر وزن تر برگ و ساقه مجازی در سطح ۵٪ و وزن خشک ریشه در سطح ۱٪ نشان داد، درحالی‌که اثر سلنیت سدیم بر ارتفاع گیاه، وزن گیاه، تعداد برگ، وزن تر ریشه، وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه مجازی معنی‌دار نبود. سلنات سدیم اثر معنی‌داری بر وزن تر برگ، ساقه مجازی و وزن خشک ریشه (در سطح ۱٪) داشت، اما اثر سلنات سدیم بر ارتفاع گیاه، وزن گیاه، تعداد برگ، وزن تر ریشه، وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه مجازی معنی‌داری نبود (جدول ۱).

مقایسه میانگین داده‌های تیمار نانوسلنیوم بر برخی خصوصیات رشدی پیاز (جدول ۲) نشان داد که بیشترین وزن تر ریشه مربوط به ۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم بود و سایر سطوح نانو سلنیوم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار شاهد و کمترین وزن خشک ریشه در ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم مشاهده گردید، سایر سطوح در حد وسط قرار داشتند و اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند.

در رابطه با اثر سلنیت سدیم بر برخی خصوصیات رشدی پیاز، مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان دادند که بیشترین وزن تر برگ در تیمار ۲ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین وزن تر برگ در ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم مشاهده شد که البته تفاوت معنی‌داری با بقیه تیمارها نداشت. گیاهان رشد یافته در تیمار غذایی شاهد و ۲ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین میزان وزن تر ساقه مجازی را داشتند و کمترین میزان وزن تر ساقه مجازی در ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم مشاهده شد که تفاوت معنی داری با ۴ میلی‌گرم بر لیتر نداشت. بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار ۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم و کمترین وزن خشک ریشه در ۴ و ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم مشاهده گردید که تفاوت معنی‌داری را با تیمار شاهد نشان ندادند.

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به اثر سلنات‌سدیم بر برخی خصوصیات رشدی پیاز (جدول ۲) نشان داد که بیشترین میزان وزن تر برگ، وزن تر ساقه مجازی و وزن خشک ریشه در تیمار ۱ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین آن‌ها در ۳ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم بودند.

1. Pesudostem
2. Arnon
3. Kapolna and Fodor

جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف نانوسلنیوم، سلنیت سدیم و سلنات سدیم بر برخی ویژگی‌های مرفولوژیکی گیاه پیاز

Table 1: Analysis of variance effect different levels of nano-selenium, sodium selenite and sodium selenate on some morphological characteristics onion plant

		میانگین مربعات Means of square								
منبع پراکنش S. O. V	درجه آزادی df	ارتفاع گیاه Plant height	وزن گیاه Plant weight	تعداد برگ Number of leaves	وزن تر برگ Leaf fresh weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن تر ساقه مجازی Pseudostem fresh weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک ساقه مجازی Pseudostem dry weight
نانو سلنیوم Nano-selenium	4	9.06^{ns}	3.67^{ns}	0.087^{ns}	2.15^{ns}	0.156^{*}	0.0172^{ns}	0.0000061^{ns}	0.00010^{*}	1.11^{ns}
اشتباه آزمایشی Error	10	16.55	5.37	0.075	2.44	0.0170	0.0093	0.000014	0.0000015	7.87
C.V	–	9.46	17.31	5.42	17.08	2.32	18.40	10.52	6.20	6.94
سلنیت سدیم Sodium selenite	3	9.58^{ns}	8.16^{ns}	0.031^{ns}	4.58^{*}	0.016^{ns}	0.0022^{*}	0.000004^{ns}	0.00024^{**}	1.84^{ns}
اشتباه آزمایشی Error	8	18.68	1.91	0.039	0.376	0.011	0.00021	0.0000024	0.0000057	0.0000014
C.V	–	9.39	12.01	6.36	7.82	21.03	3.75	16.25	15.22	15.49
سلنات سدیم Sodium selenate	3	17.37^{ns}	8.21^{ns}	0.031^{ns}	4.40^{**}	0.0092^{ns}	0.011^{**}	9.56^{ns}	0.000032^{**}	9.55^{ns}
اشتباه آزمایشی Error	8	24.43	1.46	0.093	0.194	0.019	0.0040	8.95	0.0000099	9.94
C.V	–	11.01	10.25	6.36	5.5	26.25	4.67	9.84	3.44	7.96

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

Ns, * and **: non- significant and significant at the 5% and 1% level of probability, respectively

جدول ۲: مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف نانوسلنیوم، سلنیت سدیم و سلنات سدیم بر ویژگی‌های مرفولوژیکی گیاه پیاز
Table 2: Mean comparison of effect different levels of nano-selenium, sodium selenite and sodium selenate on some morphological characteristics onion plant

وزن خشک ریشه (گرم)	وزن تر ساقه مجازی (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن تر برگ (گرم)	غلظت‌ها (میلی‌گرم بر لیتر)
Root dry weight(gr)	Pseudostem fresh weight(gr)	Root fresh weight(gr)	Leaf fresh weight(gr)	Concentration (mgL^{-1})
				نانوسلنیوم
				Nano-selenium
0.032[a]	0.42[a]	0.50[b]	10[a]	Control
0.019[b]	0.49[a]	0.52[b]	8.3[a]	2
0.018[b]	0.53[a]	0.68[a]	9.7[a]	5
0.018[b]	0.50[a]	0.46[b]	7.7[a]	10
0.012[c]	0.67[a]	0.35[b]	9.8[a]	30
				سلنیت سدیم
				Sodium selenite
0.011[b]	0.42 [a]	0.59[a]	7.27[b]	Control
0.032[a]	0.42[a]	0.50[a]	10.1[a]	2
0.009[b]	0.37[b]	0.38[a]	7.06[b]	4
0.009[b]	0.35[b]	0.55[a]	6.92[b]	8
				سلنات سدیم
				Sodium selenate
0.031[b]	0.42[ab]	0.57[a]	7.9[b]	Control
0.032[a]	0.54[a]	0.61[a]	10.1[a]	1
0.028[c]	0.38[b]	0.50[a]	7.4 [bc]	2
0.023[c]	0.36[b]	0.46[a]	6.6[c]	3

حروف مشابه عدم اختلاف معنی‌دار و حروف غیرمشابه اختلاف معنی‌دار را در سطح ۵٪ نشان می‌دهد
In each column means that a common letter are significantly different at the 5% level are Duncan's Multiple Range Test

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف نانوسلنیوم، سلنیت سدیم و سلنات سدیم بر برخی ویژگی‌های مرفولوژیکی سوخ پیاز

Table 3: Analysis of variance effect different levels of nano-selenium, sodium selenite and sodium selenate on some morphological characteristics bulb onion

میانگین مربعات Means of square					
طول سوخ Bulb length	قطر سوخ Bulb diameter	وزن خشک سوخ Bulb dry weight	وزن تر سوخ Bulb fresh weight	درجه آزادی df	منبع پراکنش S. O. V.
14.041*	12.566**	0.00229ns	347.761*	4	نانو سلنیوم Nano-selenium
2.71	17.83	0.00249	87.70	10	اشتباه آزمایشی Error
17.98	14.67	21.69	42.73	-	C.V
17.80**	22.52**	0.00043ns	751.78**	3	سلنیت سدیم Sodium selenite
1.541	2.041	0.00052	38.51	8	اشتباه آزمایشی Error
13.42	14.17	10.69	21.78	-	C.V
16.11**	19.85**	0.0099ns	529.92**	3	سلنات سدیم Sodium selenate
1.416	1.020	0.0111	4.842	8	اشتباه آزمایشی Error
13.47	10.588	43.32	10.85	-	C.V

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

Ns, * and **: non- significant and significant at the 5% and 1% level of probability, respectively

سلنیوم در غلظت‌های پایین رشد گیاه را تحریک می‌کند، اما در غلظت‌های بالا به‌عنوان یک اکسیدان عمل کرده و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد و نیز یک‌سری اختلالات متابولیکی را القا می‌کند. نقش آنتی‌اکسیدانی سلنیوم که سبب محافظت غشا سلولی گیاه در برابر پراکسیداسیون می‌شود و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان می‌تواند در افزایش رشد گیاه موثر باشد (*پنن*[1] و همکاران، 2002). تحقیقات انجام شده توسط *دلالازمورا*[2] و همکارانش (2008) نشان داد که سطوح بالای ۲۰ گرم سلنیوم بر هکتار سبب کاهش رشد شبدرسفید شد و ریشه نسبت به شاخه بیشتر تحت تاثیر قرار گرفت. در کاهو، سلنیوم در غلظت‌های کم به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند اما در غلظت‌های بالا سبب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود. همچنین در کاهو حداکثر زیست توده[3] زمانی به‌دست آمد که از سلنات به جای سلنیت در محلول غذایی استفاده گردید (*راموس*[4] و همکاران، 2010). کاربرد دو فرم سلنیوم (غلظت‌های صفر، ۱، ۲ و ۴ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم و سلنیت سدیم) در کلزا نشان داد که با افزایش غلظت سلنیوم ارتفاع گیاه، تعداد برگ و میزان ماده خشک گیاهان تیمار شده با سلنیوم در مقایسه با شاهد کاهش پیدا کردند، البته این کاهش در گیاهان تیمار شده با سلنات بیشتر از سلنیت بود (*شارما* و همکارانش، 2010).

با توجه به نتایج به‌دست آمده در تحقیق حاضر، بیشترین میزان وزن تر برگ، وزن تر و خشک ریشه و وزن تر ساقه مجازی در کمترین سطوح سلنیت سدیم و سلنات سدیم مشاهده شدند و با افزایش غلظت سلینوم در محلول غذایی میزان این صفات در مقایسه با تیمار شاهد کاهش پیدا کردند. بررسی‌های انجام شده در پیاز و اسفناج نیز نشان دادند که غلظت‌های پایین سلنیوم موجب افزایش وزن خشک ریشه و بخش‌های هوایی گیاهان شده ولی با افزایش غلظت سلنیوم این صفات کاهش یافتند (*رابل*[5] و همکاران، 2004 و *صفاریزدی*[6] و همکاران، 2012) که مطابق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش است.

با توجه به تحقیقات انجام شده، از آنجایی‌که سلنیوم می‌تواند جایگزین گوگرد شود و گوگرد جزء ساختاری برخی اسیدهای آمینه (سیستئن و متیونین) و ویتامین‌ها است که نقش مهمی در رشد گیاه دارند، لذا این احتمال وجود دارد که در پیاز نیز قرار گرفتن سلنیوم در ساختار اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها و ویتامین‌ها در غلظت‌های بالا دلیلی برای کاهش رشد آن باشد. همچنین گزارشاتی وجود دارد مبنی بر اینکه سلنیوم در غلظت‌های بالا می‌تواند به‌عنوان یک اکسیدان عمل کند و منجر به کاهش رشد شود، احتمالاً در پیاز نیز فعالیت اکسیدانی سلنیوم و کاهش میزان کلروفیل در غلظت‌های بالا دلیلی دیگر بر کاهش رشد آن است. در تحقیق حاضر، میزان وزن تر برگ، وزن تر ساقه‌ی مجازی و وزن خشک ریشه در غلظت‌های پائین سلنیت سدیم و سلنات سدیم بیشتر از گیاهان شاهد بود، اما با افزایش غلظت سلنیوم که با کاهش میزان کلروفیل نیز همراه بود، این خصوصیات رشدی کاهش پیدا کردند. البته در تیمار نانوسلنیوم بیشترین وزن خشک مربوط به تیمار شاهد بود و با افزایش غلظت نانوسلنیوم وزن خشک ریشه نیز کاهش یافت.

با افزایش غلظت سلنیوم مقدار کمی تمامی صفات ذکر شده نسبت به تیمار شاهد کاهش یافتند.

اثر سلنیوم بر خصوصیات رشدی سوخ پیاز

طبق نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح و منابع مختلف سلنیوم روی برخی صفات مرفولوژیک سوخ پیاز (جدول ۳)، نانوسلنیوم اثر معنی‌داری بر میزان وزن تر سوخ، طول سوخ (در سطح ۱٪) و قطر سوخ (در سطح ۵٪) داشت و نیز سلنیت سدیم و سلنات سدیم اثر معنی‌داری را در سطح ۱ ٪ بر میزان وزن تر سوخ، قطر سوخ و طول سوخ نشان دادند.

مقایسه میانگین داده‌های نانوسلنیوم بر برخی ویژگی‌های مرفولوژیکی سوخ پیاز (جدول ۴) نشان داد که بیشترین میزان وزن تر سوخ پیاز در غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلینوم بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم نداشت و کمترین میزان وزن تر سوخ پیاز در تیمار شاهد مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نشان نداد. بیشترین میزان قطر سوخ در تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم مشاهده گردید که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم نداشت و کمترین میزان آن در تیمار شاهد مشاهده گردید که تفاوت معنی‌دای را با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم نشان نداد. کمترین میزان طول سوخ در تیمار شاهد بود و بیشترین آن در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوسلنیوم که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نداشت.

براساس نتایج مقایسه میانگین اثر کاربرد سلنیت سدیم بر برخی ویژگی‌های مرفولوژیکی سوخ پیاز (جدول ۴)، بیشترین و

1. Pennanen
2. De La Luz Mora
3. Biomass
4. Ramos
5. Wrobel
6. Saffaryazdi

کمترین میزان وزن تر سوخ به‌ترتیب در غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم و تیمار شاهد بود. کمترین میزان قطر و طول سوخ در تیمار شاهد مشاهده گردید و بیشترین آن‌ها در غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم مشاهده شد که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت.

طبق جدول مقایسه میانگین اثر کاربرد سلنات سدیم بر برخی ویژگی‌های مرفولوژیکی سوخ پیاز (جدول ۴)، بیشترین میزان وزن تر سوخ پیاز در تیمار ۱ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم مشاهده گردید و کمترین وزن تر سوخ پیاز در غلظت ۳ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت. بیشترین میزان قطر سوخ در غلظت ۱ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم و کمترین آن در تیمار شاهد مشاهده گردید. کمترین میزان طول سوخ در تیمار شاهد مشاهده گردید و بیشترین آن در غلظت ۱ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم بود که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نداشت.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، در سطوح پائین سلنیت سدیم و سلنات سدیم میزان خصوصیات مرفولوژیکی سوخ پیاز نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت اما با افزایش غلظت سلنیوم در محلول غذایی این تیمارها خصوصیات ذکر شده کاهش پیدا کردند.

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف نانوسلنیوم، سلنیت سدیم و سلنات سدیم بر برخی ویژگی‌های مرفولوژیکی سوخ پیاز

Table 4: Mean comparison of effect different levels of nano-selenium, sodium selenite and sodium selenate on on some morphological characteristics bulb onion

غلظت‌ها (میلی‌گرم بر لیتر) Concentration (mgL^{-1})	وزن تر سوخ (گرم) Bulb fresh weight(gr)	قطر سوخ (سانتی‌متر) Bulb diameter(cm)	طول سوخ (سانتی‌متر) Bulb length(cm)
نانو سلنیوم Nano-Selenium			
Control	14.8^{b}	2.05^{c}	1.88^{b}
2	21.80^{ab}	2.94^{b}	3.27^{a}
5	29.69^{a}	3.50^{ab}	3.72^{a}
10	17.84^{ab}	2.83^{bc}	2.88^{a}
30	33.90^{a}	3.83^{a}	3.50^{a}
سلنیت سدیم Sodium selenite			
Control	14.8^{c}	2.05^{b}	1.88^{b}
2	43.90^{a}	4.16^{a}	3.66^{a}
4	32.30^{ab}	3.72^{a}	3.50^{a}
8	31.41^{b}	3.50^{a}	3.27^{a}
سلنات سدیم Sodium selenate			
Control	14.8^{c}	2.05^{c}	1.88^{b}
1	35.85^{a}	4.11^{a}	3.66^{a}
2	26.20^{b}	3.44^{b}	3.33^{a}
3	12.68^{c}	3.11^{b}	2.88^{a}

حروف مشابه عدم اختلاف معنی‌دار و حروف غیرمشابه اختلاف معنی‌دار را در سطح ۵٪ نشان می‌دهد

In each column means that a common letter are significantly different at the 5% level are Duncan's Multiple Range Test

تأثیر سلنیوم بر روند رشدی سوخ پیاز مشابه مرحله دانهالی آن بود، بدین صورت که سلنیوم در غلظت‌های پائین در هر دو مرحله رشدی پیاز تحریک‌کننده رشد بوده اما در غلظت‌های بالا رشد را کاهش داد.

بررسی‌ها نشان داده است که در سطوح بالای سلنیوم، این عنصر در پروتئین‌ها و سایر ترکیبات گوگردی جانشین گوگرد می‌شود. باند بین دو اتم سلنیوم بلندتر و ضعیف‌تر از باند دی سولفید است، به همین دلیل ورود سلنوسیستئین به پروتئین‌ها موجب تغییر در ساختار سوم آنها شده، تاثیر منفی بر فعالیت کاتالیتیکی آنزیم‌ها و در نتیجه رشد گیاه می‌گذارد. لذا این احتمال وجود دارد که در پیاز نیز سلنیوم در واکنش‌های مختلف (مانند ورود به اسیدهای امینه) جایگزین گوگرد شود و

با کاهش میزان پروتئین منجر به کاهش رشد پیاز گردد. علاوه‌بر این، کاهش میزان کلروفیل در سطوح بالای سلنیوم کاهش میزان فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد گیاه پیاز را درپی داشت.

اثر سلنیوم بر میزان کلروفیل برگ پیاز

طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نانوسلنیوم اثر معنی‌داری بر میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل نداشت درحالی‌که سلنیت سدیم و سلنات سدیم اثر معنی‌داری را بر میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل (در سطح ۱ درصد) نشان دادند.

مقایسه میانگین داده‌های اثر کاربرد سلنیت سدیم بر میزان کلروفیل برگ پیاز (جدول ۶) نشان می‌دهد که بیشترین میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل در تیمار ۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم و کمترین آن‌ها در تیمار ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم بود.

طبق جدول مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف سلنات سدیم بر میزان کلروفیل برگ پیاز (جدول ۶)، بیشترین و کمترین میزان کلروفیل a و کلروفیل کل به‌ترتیب در تیمار ۱ و ۳ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در محلول غذایی مشاهده شد. بیشترین میزان کلروفیل b در تیمار شاهد بود که با تیمارهای ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین آن در غلظت ۳ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در محلول غذایی مشاهده گردید.

در آزمایش‌های انجام شده، بیشترین میزان کلروفیل برگ در کمترین سطوح سلنیت سدیم (۲ میلی‌گرم بر لیتر) و سلنات سدیم (۱ میلی‌گرم بر لیتر) مشاهده شد که با افزایش غلظت سلنیوم در محلول غذایی میزان کلروفیل برگ پیاز نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت که نتایج مشابهی در زمینه تاثیر سلنیوم بر مقدار کلروفیل در کاهو، کلزا و اسفناج نیز گزارش شده است (*راموس* و همکاران، 2012؛ *شارما* و همکاران، 2010؛ *صفاریزدی* و همکاران، 2012).

شواهدی وجود دارند مبنی بر این که سلنیوم بر بیوسنتز گلیکوآلکالوئید ها، کلروفیل و جذب نیتروژن موثر است (*اسلم* و همکاران[1]، ۱۹۹۰). بررسی‌ها نشـــان می‌دهد که احتمالاً غلظت‌های کم سلنیوم با محافظت از آنزیم‌های کلروپلاستی، بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی را افزایش می‌دهد، اما با افزایش غلظت سلنیوم، این عنصر آنزیم‌های بیوسنتزکننده کلروفیل را مهار کرده و از این طـــریق تأثیر منفی بر سنتز کلـــروفیل می‌گذارد. جایگزین شدن سلنیوم به‌جای منیزیم موجود در ساختار کلروفیل نیز یکی از مکانیسم‌های آسیب به کلروفیل می‌باشد (*وو*[2] و همکاران، 1991). سلنیوم می‌تواند با افزایش سنتز ترکیبات فنلی، سبب تحریک فعالیت آنزیم کلروفیلاز شده که این آنزیم نیز با متلاشی ساختن حلقه چهار پیرولی باعث تجزیه کلروفیل می‌گردد (*کای‌مینگ*[3] و همکاران، 2002).

در لوبیا سطوح پائین سلنیوم (۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم) سبب افزایش رشد ریشه و شاخه گردید که با افزایش میزان کلروفیل و میزان آب برگ همراه بود، درحالی‌که در غلظت‌های بالا (۴ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم) رشد گیاه کاهش یافت که می‌تواند به آسیب واردکردن سلنیوم به غشای سلولی و کاهش در میزان کلروفیل و میزان آب برگ وابسته باشد (*آگاروال*[4] و همکاران، 2011).

در پیاز نیز احتمالاً افزایش رشد در سطوح پائین سلنیوم (سلنیت سدیم و سلنات سدیم) می‌تواند با افزایش میزان کلروفیل ارتباط داشته باشد. افزایش میزان کلروفیل a و b در برگ پیاز ممکن است به دلیل اثر محافظتی سلنیوم از آنزیم-های کلروپلاست باشد که منجر به افزایش سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود. در آزمایش حاضر میزان سلنیوم کل سوخ با میزان کلروفیل a همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۷)، بدین معنی که با افزایش میزان سلنیوم در سوخ پیاز که با افزایش غلظت سلنیوم در محلول غذایی هوگلند همراه است میزان کلروفیل a برگ پیاز کاهش یافت.

اثر سلنیوم بر میزان سلنیوم کل سوخ پیاز

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر منابع و سطوح مختلف سلنیوم بر میزان سلنیوم سوخ پیاز (جدول ۵)، تیمارهای سلنیت سدیم و سلنات سدیم اثر معنی‌داری در سطح ۱٪ روی میزان سلنیوم سوخ داشتند، درحالی‌که تیمار نانوسلنیوم اثر معنی‌داری را بر میزان سلنیوم سوخ نشان نداد.

1. Aslam

2. Wu
3. Chi-Ming
4. Aggarwal

جدول ۵: تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف نانوسلنیوم، سلنیت سدیم و سلنات سدیم بر میزان کلروفیل برگ و سلنیوم کل سوخ پیاز
Table 5: Analysis of variance effect different levels of nano-selenium, sodium selenite and sodium selenate on Chlorophyll content and Selenium total bulb onion

	میانگین مربعات Means of square				
منبع پراکنش S. O. V.	درجه آزادی df	کلروفیل (a) Chlorophyll(a)	کلروفیل (b) Chlorophyll(b)	کلروفیل (کل) Total chlorophyll	سلنیوم Selenium
نانو سلنیوم Nano-selenium	4	0.0011^{ns}	0.0004^{ns}	0.0029^{ns}	-
اشتباه آزمایشی Error	10	0.00068	0.00015	0.0013	-
C.V	-	7.4	22.4	5.01	-
سلنیت سدیم Sodium selenite	3	0.00076**	0.00017**	0.00013**	112586.02**
اشتباه آزمایشی Error	8	0.000019	0.0000078	0.000015	0.0136
C.V		8.72	12.76	5.43	0.065
سلنات سدیم Sodium selenate	3	0.00062**	0.00012**	0.0013**	4411.86**
اشتباه آزمایشی Error	8	0.0000093	0.0000046	0.0000085	0.044
C.V	-	7.52	13.96	5.16	0.33

ns و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد
Ns and **: non- significant and significant at the 1% level of probability, respectively

میزان سلنیوم در سوخ گیاهان محلول‌پاشی شده با غلظت‌های مختلف نانوسلنیوم و نیز گیاهان رشد یافته در محیط شاهد پائین تر از حد تشخیص دستگاه ICP-MS بود.

براساس نتایج مقایسه میانگین تیمار سلنیت سدیم بر میزان سلنیوم سوخ پیاز (جدول ۶)، بیشترین میزان سلنیوم در تیمار ۸ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم و کمترین آن در تیمار ۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم در محلول غذایی هوگلند مشاهده شد.

مقایسه میانگین داده‌های اثر کاربرد سلنات سدیم بر میزان سلنیوم سوخ پیاز نشان داد که بیشترین میزان سلنیوم در تیمار ۳ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم و کمترین آن در تیمار ۱ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در محلول غذایی هوگلند بود (جدول ۶).

این احتمال وجود دارد که در گیاهان محلول‌پاشی شده با غلظت‌های مختلف نانوسلنیوم، سلنیوم در برگ‌ها تجمع یافته و وارد سوخ نشده باشد که نیازمند آزمایشات بیشتری است. چرا که غلظت‌های مختلف نانو سلنیوم بر ویژگی‌های مرفولوژیکی پیاز تأثیرگذار بوده است.

با افزایش غلظت سلنیوم در محلول غذایی (به‌صورت سلنیت سدیم و سلنات سدیم) میزان سلنیوم کل سوخ پیاز افزایش یافت که مشابه نتایج به‌دست آمده در پیاز، پیازچه (*Allium fistulosum* L.)، چایو (*Allium schoenoprasum* L.) و اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) است (*کوپسل و رندل*، 1997؛ *کاپولنا و فودر*، 2006؛ *کاپولنا*[1] و همکاران، 2007 و *صفاریزدی* و همکاران، 2012).

1. Kapolna

جدول ۶: مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف سلنیت سدیم و سلنات سدیم بر میزان کلروفیل برگ و سلنیوم کل سوخ پیاز

Table 6: Mean comparison of effect different levels of sodium selenite and sodium selenate on Chlorophyll content and Selenium total bulb onion

سلنیوم (میکروگرم بر گرم وزن خشک) Selenium (µg/g DW)	کلروفیل (کل) (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) Total chlorophyll (mg/g FW)	کلروفیل (b) (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) Chlorophyll(b)(mg/g DW)	کلروفیل (a) (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) Chlorophyll(a)(mg/g DW)	غلظت‌ها (میلی‌گرم بر لیتر) Concentration (mgL^{-1})
				سلنیت سدیم Sodium selenite
ND	0.087^{b}	0.024^{b}	0.057^{b}	Control
36.5^{c}	0.092^{a}	0.033^{a}	0.069^{a}	2
99.8^{b}	0.076^{c}	0.022^{c}	0.054^{c}	4
399.2^{a}	0.045^{d}	0.014^{d}	0.030^{d}	8
				سلنات سدیم Sodium selenate
ND	0.076^{b}	0.024^{a}	0.053^{b}	Control
18.68^{c}	0.091^{a}	0.022^{a}	0.066^{a}	1
83.64^{b}	0.070^{c}	0.020^{a}	0.050^{b}	2
86.70^{a}	0.040^{d}	0.010^{b}	0.031^{c}	3

حروف مشابه عدم‌اختلاف معنی‌دار و حروف غیرمشابه اختلاف معنی‌دار را در سطح ۵٪ نشان می‌دهد

In each column means that a common letter are significantly different at the 5% level are Duncan's multiple range test.

عدم تشخیص: ND [1]

1. Not detected

تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای بین مکانیزم‌های درگیر در جذب و انتقال سلنات، سلنیت و ترکیبات آلی سلنیومی (مانند سلنومتیونین) وجود دارد (*حسنزمن* و همکاران، 2010). *لیون*[1] و همکارانش (2005) بیان کردند که سلنیت در مقایسه با سلنات سمیت بیشتری دارد که این به‌دلیل ترکیب پذیری سریعتر سلنیت نسبت به سلنات است. وقتی سلنیت توسط گیاهان جذب شد سریعاً در ریشه به ترکیبات آلی سلنیومی تبدیل شده و تحرک کمی در آوند چوبی دارد (*راموس* و همکاران، 2010). هم‌چنین جذب و توزیع سلنات در گیاهان بسیار سریع‌تر از سلنیت صورت می‌گیرد (*کارتز*[2] و همکاران، ۲۰۰۵). *دسوزا*[3] و همکارانش (1998) گزارش کردند که میزان تجمع سلنیوم کل در فرم سلنات ۱۰ برابر بیشتر از فرم سلنیت است. نمک‌های سلنات بسیار محلول هستند و به آسانی توسط گیاهان جذب می‌شوند، درحالی‌که ممکن است در دسترس بودن سلنیت برای گیاهان توسط ترکیبات خاک تحت تاثیر قرار گیرد، به‌طوری‌که سلنیت توسط کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن موجود در خاک جذب می‌شود.

در غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر که در هر دو فرم سلنیوم مشترک بود، نتایج نشان داد که تجمع سلنیوم کل سوخ در فرم سلنات (۸۳/۶۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک سوخ) دو برابر فرم سلنیت (۳۸/۵۰ میکروگرم بر گرم وزن خشک سوخ) است. با توجه به تحقیقات انجام شده در پیاز نیز تجمع سلنیوم در سوخ به شکل سلنیوم موجود در محلول غذایی وابسته است و میزان تجمع سلنیوم در شکل سلنات بیشتر از سلنیت می‌باشد. همچنین علائم سمیت سلنیوم در هیچ یک از تیمارهای اعمال شده مشاهده نشد.

با توجه به مقادیر سلنیوم کل محاسبه شده در سوخ پیاز و میزان مصرف روزانه پیاز در کشور (تقریباً ۶۰ گرم وزن تر) غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم (۲۱۹/۲۴ میکروگرم سلنیوم در روز) و ۱ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم (۱۱۲/۱۰۴ میکروگرم سلنیوم در روز) در محلول غذایی هوگلند برای پیاز توصیه می‌گردد. چرا که با توجه به میزان مصرف روزانه پیاز، استفاده از غلظت‌های بالاتر سلنیوم در محلول غذایی سبب می شود که میزان سلنیوم کل سوخ پیاز بیشتر از ۴۰۰ میکروگرم سلنیوم در روز (میزان قابل تحمل سلنیوم) شود که در نهایت سمیت سلنیوم و عوارض ناشی از آن را برای انسان درپی دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، پیاز می‌تواند یک منبع غنی از سلنیوم و نیز ترکیبات سلنیومی باشد و نقش مهمی در کاهش بیماری‌ها و سلامت انسان داشته باشد.

با توجه به آزمایشات انجام شده، غلظت‌های پائین سلنیوم با افزایش میزان سنتز کلروفیل، پروتئین، کربوهیدرات‌ها، ترکیبات فنلی، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (مانند کاتالاز، پلی فنل اکسیداز، گایاگول پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز) و ترکیبات آنتی‌اکسیدان (مانند آسکوربات، توکوفرول و گلوتاتیون)، ممانعت از پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش جذب عناصر و مواد غذایی در گیاهان موجب افزایش زیست توده و بهبود رشد گیاه می‌شوند. اما غلظت‌های بالای این عنصر اثری معکوس داشته و برخلاف ویژگی آنتی‌اکسیدانی اثر اکسیدانی دارد. سطوح بالای سلنیوم با آسیب زدن به سیستم سنتز کلروفیل، پروتئین و کربوهیدرات‌ها موجب کاهش رشد و حتی مرگ گیاه می‌شود. لذا تصور می‌شود که در پیاز نیز افزایش سنتز کلروفیل و در نتیجه افزایش فتوسنتز گیاه و متعاقب آن افزایش تثبیت کربن طی تیمار سلنیوم، از دلایل اصلی افزایش رشد پیاز باشد. در نتیجه کاربرد سلنیوم در غلظت‌های مناسب با توجه به نوع گیاه و مرحله رشدی آن می‌تواند بسیار سودمند باشد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، سطوح پایین سلنیوم رشد پیاز را افزایش دادند؛ اما با افزایش غلظت سلنیوم در محلول غذایی میزان کلروفیل و نیز رشد پیاز کاهش پیدا کرد. با توجه به بررسی‌های انجام شده، افزایش رشد پیاز در غلظت‌های پائین به‌دلیل نقش آنتی‌اکسیدانی سلنیوم است که پارامترهای رشدی پیاز را افزایش می‌دهد اما در غلظت‌های بالا، سلنیوم به‌عنوان یک اکسیدان عمل می‌کند و نیز با مهار آنزیم‌های مسیر بیوسنتز کلروفیل، میزان سنتز کلروفیل را کاهش داده و در نهایت منجر به کاهش رشد پیاز می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

از آن‌جایی‌که پیاز در رژیم غذایی مردم ایران جایگاه ویژه‌ای دارد، لذا می توان گفت که پیاز می‌تواند به‌عنوان یک منبع غنی از سلنیوم برای حفظ سلامتی انسان باشد. با توجه به میزان سلنیوم کل سوخ پیاز و حد مجاز مصرف سلنیوم در روز توسط انسان، غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر سلنیت سدیم و ۱ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم در محلول غذایی هوگلند برای پیاز توصیه می‌شود که علاوه‌بر افزایش خصوصیات رشدی پیاز در دامنه مناسب جهت مصرف انسان قرار می‌گیرد.

1. Lyons
2. Catres
3. De Souza

جدول ۷: ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد آزمون

Table 7: Correlation coefficients among measured criteria

	ارتفاع گیاه Plant height	وزن گیاه Plant weight	تعداد برگ Number of leaves	وزن تر برگ Leaf fresh weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن تر ساقه مجازی *Pseudostem fresh weight*	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک ساقه مجازی *Pseudostem dry weight*	کلروفیل (a) Chlorophyll(a)	کلروفیل (b) Chlorophyll(b)	کلروفیل (کل) Total chlorophyll	سلنیوم Selenium
ارتفاع گیاه Plant height	1												
وزن گیاه Plant weight	0.33064	1											
تعداد برگ Number of leaves	-0.74677**	0.07300	1										
وزن تر برگ Leaf fresh weight	-0.38048	0.00816	0.15586	1									
وزن تر ریشه Root fresh weight	0.09543	0.22546	0.13836	-0.05140	1								
وزن تر ساقه مجازی *Pseudostem fresh weigh*	-0.32457	0.42795	0.36581	0.47248	-0.06822	1							
وزن خشک برگ Leaf dry weight	-0.76010**	0.09240	0.88355**	0.25811	-0.05246	0.49104	1						
وزن خشک ریشه Root dry weight	0.15293	0.05640	-0.38637	0.50697	0.26608	-0.06295	-0.39085	1					
وزن خشک ساقه مجازی *Pseudostem dry weight*	-0.10017	0.70055	0.13353	0.39784	0.27918	0.62581	0.21814	0.29473	1				
کلروفیل (a) Chlorophyll(a)	0.07243	0.20417	-0.06977	0.24824	0.07295	0.17598	-0.24779	0.35978	0.45617	1			
کلروفیل (b) Chlorophyll(b)	-0.05056	0.22177	0.19721	0.18986	0.12912	0.16989	0.03810	0.18126	0.43469	0.91495**	1		
کلروفیل (کل) Total chlorophyll	0.03476	0.21969	0.04067	0.14810	0.19431	0.14954	-0.17388	0.26813	0.47517	0.97690**	0.94638**	1	
سلنیوم Selenium	-0.12007	-0.4920	0.01947	-0.20673	-0.04986	-0.54082	0.09625	-0.38043	-0.55336*	-.070731*	-0.40951	-0.47721	1

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد (تعداد جفت صفات مقایسه شده=۱۳، درجه آزادی خطا=۱۱)

* and **: significant at the 5% and 1% level of probability, respectively (N=13 and df_e=11)

منابع

Aggarwal, M., Sharma, S., Kaur, N., Pathania , D., Bhandhari, K., Kaushal, N., Kaur, R., Singh, K., Srivastava, A. and Nayyar, H. 2011. Exogenous proline application reduces phytotoxic effects of selenium by minimising oxidative stress and improves growth in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. Biological Trace Element Research, 140: 354-367.

Amweg, E. L., Stuart, D. L. and Weston, D. P. 2003. Comparative bioavailability of selenium to aquatic organisms after biological treatment of gricultural drainage water. Aquatic Toxicology, 63: 13-25.

Arnon, D. I. 1949. Copper enzyme in isolated chlroplasts; polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris.* Plant Physiology, 24: 1-15.

Aslam, M., Harbit, K. B. and Huffaker, R. C. 1990. Comparative effects of selenite and selenate on nitrate assimilation in barley seedlings. Plant, Cell and Environment, 13: 773-782.

Barceloux, D. G. 1999. *Selenium*. Journal of Toxicology - Clinical Toxicology, 37:145-172.

Cartes, P., Gianfera, L. and Mora, M. L. 2005. Uptake of selenium and its antioxidative activity in ryegrass when applied a selenate and selenite forms. Plant and Soil, 276: 359-367.

Chi-Ming, Y., Chyoung-Ni L., and Chang-Hung C. 2002. Effect of three allelopathic phenolics on chlorophyll accumulation of rice (*Oryza sativa*) seedling: inhabitation of suply-orientation. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 43: 299-304.

Clark, S. A., Shaw, M. L., Every, D. and Lancaster, J. E. 1998. Physical characterization of alliinase, the flavor generating enzyme in onions. J. Food Biochem, 22: 91-103.

Clark, S.A., M.L. Shaw, D. Every, and J.E. Lancaster. 1998. Physical characterization of alliinase, the flavor generating enzyme in onions.Journal of Food Biochemistry. 22: 91-103.

Combs, Jr., G. F. 2000. Food system-based approaches to improving micronutrient nutrition: the case for selenium. Biofactors, 12: 39-43.

De la Luz Mora, M ., Pinilla, L., Rosas, A. and Cartes, P. 2008. Selenium uptake and its influence on the antioxidative system of white clover as affected by lime and phosphorus fertilization. Plant Soil, 303: 139-149.

De Souza, M. P., Pilon-Smits, E. A. H., Lytle, C. M., Hwang, S and Tai, J. 1998. Rate-limiting steps in selenium assimilation and volatilization by Indian mustard. Journal of Plant Physiology, 117: 1487-1494.

Ellis, D. R. and Salt, D. E. 2003. Plants, selenium and human health. Current Opinion in Plant Biology, 6: 273-279

Fraga, C. G. 2005. Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. Molecular Aspects of Medicine, 26: 235-244.

Golubkina, G. A., Folmanis, G. F. and Tananaev, I. G. 2012. Comparative evaluation of selenium accumulation by Allium species after foliar application of selenium nanoparticles, sodium selenite and sodium selenate. Doklady Biological Science, 444: 176-179.

Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A. and Fujita, M. 2010. Selenium in Higher Plant: Physiological Role, Antioxidant Metabolism and Abiotic Stress Tolerance. Journal of Plnat Sciences, 5 (4): 354-375.

Kapolna, E. and Fodor, P. 2006. Speciation analysis of selenium enriched green onions (*Allium fistulosum*) by HPLC-ICP-MS. Microchemical Journal, 84:56-62.

Kopsell, D. A. and Randle, W. M. 1999. Selenium affects the *S*-alk(en)yl cysteine sulfoxides among short-day onion cultivars. Journal of the American Society for Horticultural Science, 124 (3): 307-311.

Li, H. F., McGrath, S. P. and Zhao, F. J .2008. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. New Phytol, 178:92-102.

Longchamo, M., Angeli, N and Castrec-Rouelle, M. 2013. Selenium uptake in *Zea mays* supplied with selenite or selenite under hydroponic conditions. Plant Soil, 362: 107-117.

Nagarani, B., Subal, D., Santhosh, K. C., Chiranjib, B. G. and Ganesh, K. 2011. A review: Herbs used as anticancer agents. International Research Journalof Pharmacy, 2: 20-24.

Pennanen, A., Xue, T., Hartikainen, H and Xue, T. L. 2002. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress. Journal Applied. Botany, 76: 66-76.

Poldma, P., Moor, U., Tonutare, T., Herodes, K. and Rebane, R. 2013. Selenium Treatment Under Field Conditions Affects Mineral Nutrition, Yield and Antioxidant properties of bulb Onion (*Allium cepa* L.). Acta Scientiarum Polonorum- Hortorum Cultus, 12 (6): 167-181.

Pyrzynska, K. 2009. Selenium speciation in enriched vegetables. Food Chemistry, 114: 1183-1191.

Ramos, S. J., Faquin, V., Guilherme, L. R. G., Castro, E. M., Ávila, F. W., Carvalho, G. S., Bastos, C. E. A and Oliveira, C. 2010. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. Plant, Soil and Environment, 56 (12): 584-588.

Rayman, M. P. 2000. The importance of selenium to human health. The Lancet, 356 (9225): 233-241.

Saffaryazdi, A., Lahouti, M., Ganjeali, A. and Bayat, H. 2012. Impact of selenium supplementation on growth and selenium accumulation on spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants. Natulae Scientia Biologicae, 4(4): 95-100.

Shamberger, R. J. 1981. Selenium in the environment. Science of the Total Environment**,** 17: 59-74.

Sharma, S., Bansal, A., Surjit, K. D., Dhillon, K. D. 2010. Comparative effects of selenate and selenite on growth and biochemical composition of rapeseed (*Brassica napus* L.). Plant Soil, 329: 339-348.

Sors, T. G., Ellis, D. R. and Salt, D. E. 2005. Selenium uptake, translocation, assimilation an metabolic fate in plants. Photosynthesis Research, 86: 373-389.

Whanger, P. D. 2002. Review. Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. Journal of the American College of Nutrition, 21: 223-232.

Whanger, P. D. 2004. Selenium and its relationship to cancer. British Journal of Nutrition, 91: 11-28.

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, 55: 404.

Wrobel, K., Wrobel, K., Kannamkumarath, S. S., Caruso, J. A., Wysocka, I, A., Bulska,., Swiatek, J. E. and Wierzbicka, M . 2004. HPLC–ICP-MS speciation of selenium in enriched onion leaves a potential dietary source of Se-methylselenocysteine. Food Chemistry, 86 (4): 617-623.

Wu, L. and Huang , Z. Z. 1991. Chloride and sulfate salinity effects on selenium accumulation by Tall Fescue. Crop Science Society of American, 31: 114-118.

Xu, J., Yang, F., Chen, L., Hu, Y and Hu, Q .2003. Effect of selenium on increasing the antioxidant activity of tea leaves harvested during the early spring tea producing season. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51: 1081-1084.

Zayed, A., Lytle, C. M, and Terry, N .1998. Accumulation and volatilization of different chemical species of selenium by plants. Planta, 206:284-292.

Effect of Different Sources and Levels of Selenium on Growth and Some Physiological Characteristics of Onion (*Allium cepa* L.)

Amerian[1], M., Dashti[2*], F. and Delshad[3], M.

Abstract

Selenium (Se) is an essential element for humans and animals. However, its effects are less known on plants. In this study, the effect of different sources and levels of selenium was studied on growth and some physiological characteristics of onion in hydroponic system, it is done in order to have a good and an acceptable quality character, and does not have a problem for human and plant. The treatments included four levels of selenium nanoparticles (2, 5, 10 and 30 mgL^{-1}) and three concentrations of sodium selenite (2, 4 and 8 mgL^{-1}) and sodium selenate (1, 2, and 3 mgL^{-1}), each treatment were separately performed in a completely randomized design with three replicates. Results showed that in seedling stage different levels of nano-selenium, sodium selenite and sodium selenate were significantly effected on leaf fresh weight, root fresh weight, root dry weight, pseudostem fresh weight and also bulb weight, bulb diameter and length of bulbs. Sodium selenite and sodium selenate were significantly effected on leaf chlorophyll content and total selenium bulb. The highest leaf chlorophyll content was observed at low levels of sodium selenite and sodium selenate by increasing selenium concentration in nutrient solution, leaf chlorophyll content were decreased in comparison with control. The content of total selenium bulb increased with increasing sodium selenite and sodium selenate concentration in nutrient solution, However increase in plants treated with sodium selenate was more than plants treated with sodium selenite.

Keywords: Sodium selenite, Sodium selenate, Nano-selenium, Nutrient and hydroponic culture

1. Former Ph.D. student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan
2. Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan
3. Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Tehran University, Karaj
※: Corresponding author Email: dashti1350@yahoo.com