

غنی‌سازی محصولات کشاورزی با عنصر سلنیوم و اثرات آن بر فیزیولوژی گیاه

Selenium Enrichment of Crops and Its Effect on Plant Physiology

کامران قاسمی*

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۰۸

چکیده

امروزه اهمیت سلنیوم برای سلامتی انسان به‌طور عمومی شناخته شده است. طبق توصیه سازمان بهداشت جهانی، نیاز روزانه یک فرد بالغ به سلنیوم در حدود ۵۰ میکروگرم می‌باشد. متأسفانه بیشتر گیاهان از نظر میزان سلنیوم فقیر هستند و همین مسئله ضرورت غنی‌سازی محصولات کشاورزی با سلنیوم را به خوبی مشخص می‌کند. در بین سبزی‌ها، سیر و کلم بروکلی انباشتگرهای خوبی برای سلنیوم به حساب می‌آیند. جایگزینی اسیدآمین‌های گوگردی توسط اسیدآمین‌های سلنیومی مانند: سلنومتیونین و سلنوسیتئین می‌تواند واکنش‌های بیوشیمیایی را مختل کند. گیاهانی که مقاومت بالایی نسبت به تجمع سلنیوم دارند می‌توانند سلنیوم را در ترکیب اسیدآمین‌های غیرپروتئینی وارد کنند. هرچند سمیت سلنیوم در غلظت‌های بالا برای گیاهان کاملاً محرز بوده و نوعی تنش محسوب می‌گردد، ولی اثرات سودمند غلظت‌های پایین سلنیوم در حفاظت گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی، گونه‌های فعال اکسیژن و فعال‌سازی سازوکارهای کاهنده تنش‌های اکسیداتیو در پژوهش‌های متفاوتی گزارش شده است. در انسان مرز بین سمیت و کمبود سلنیوم بسیار باریک بوده و بستگی زیادی به شکل شیمیایی سلنیوم دارد. مصرف ناکافی سلنیوم منجر بروز به مشکلات ناشی از کمبود این عنصر می‌گردد، ضمن اینکه مصرف زیاد از حد آن می‌تواند موجب سمیت شود. با توجه به خطرات سمیت سلنیوم برای انسان، قبل از هرگونه برنامه‌ای جهت غنی‌سازی محصولات می‌بایست میزان مصرف سلنیوم توسط افراد و همچنین مقادیر این عنصر در خاک‌های مناطق مختلف کشور مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس در مورد غنی‌سازی این عنصر تصمیم‌گیری شود.

واژه‌های کلیدی: سلنات، سلنیت، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، اسید آمینه‌های گوگردی، اسید آمینه‌های سلنیومی

مقدمه

نقش سلنیوم در سلامت انسان

سلنیوم عنصری ضروری و مهم برای انسان و حیوان می‌باشد که باید از طریق رژیم غذایی تأمین گردد. سازمان بهداشت جهانی نیاز روزانه یک فرد بالغ به سلنیوم را حدود ۵۰ میکروگرم اعلام کرده است (کودرمن^۱ و همکاران، ۲۰۰۸). کمبود سلنیوم به‌طور مستقیم روی سلامت انسان تأثیر گذاشته و بیش از ۴۰ نوع بیماری مرتبط با کمبود این عنصر مانند بیماری کشان^۲، سرطان، بیماری‌های قلبی عروقی، بیماری‌های کبدی و آب مروارید گزارش شده است (فنگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۳).

در بدن انسان دو سیستم آنتی‌اکسیدانی وجود دارد: یکی سیستم آنتی‌اکسیدانی پیشگیری‌کننده که شامل پروتئین‌هایی مثل آلبومین، سرولوبلاسمین و غیره است که متصل به فلزات هستند و از تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن^۴ جلوگیری می‌کنند و به این ترتیب از شروع واکنش زنجیره‌ای ممانعت می‌گردد. سیستم دوم، سیستم آنتی‌اکسیدان جاروب‌کننده مثل ویتامین E و ویتامین C و آنزیم گلوکوتایون پراکسیداز که گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده را حذف می‌کنند تا از تخریب بافت‌های سلولی مانند پراکسیداسیون غشای پلاسمایی ممانعت شود (آگاروال^۵ و همکاران، ۲۰۰۵).

بعد از آن که برای اولین بار روتاک^۶ و همکاران (۱۹۷۳) به نقش سلنیوم در آنزیم گلوکوتایون پراکسیداز پی بردند، تحقیقات زیادی نقش حفاظتی سلنیوم در مقابل آسیب‌های سلولی ناشی از رادیکال‌های آزاد را به اثبات رسانده‌اند، به‌طوری‌که امروزه اهمیت سلنیوم برای سلامتی انسان به‌طور عمومی شناخته شده است. سلنیوم به‌عنوان کوفاکتور برای تولید آنزیم‌های حیاتی گلوکوتایون پراکسیدازها^۷ که در تمامی بافت‌های زنده نقش کلیدی دارد، ضروری است. این آنزیم پراکسیدهای سلولی را کاهش داده و از اکسایش مضر در سلول جلوگیری می‌کند. گونه‌های فعال اکسیژنی مانند هیدروژن پراکسید و هیدروپراکسیدهای آلی توسط همین آنزیم‌ها غیرفعال می‌شوند. تیوردوکسین ردوکتاز آنزیم دیگری است که نقش منحصر به فرد سلنیوم را در فیزیولوژی انسان مشخص می‌کند. این آنزیم باعث جلوگیری از سرطان‌های خاص، عامل کاهش‌دهنده

بیماری‌ها، آسیب‌های سیستم عصبی مرکزی و عامل ایمنی می‌شود (سلمانی ندوشن و همکاران، ۱۳۹۲).

در یک پژوهش نشان داده شده است کمبود سلنیوم خون در بریتانیا، پتانسیل سلامت عمومی را با شیوع بیماری‌های مزمن مثل سرطان و بیماری‌های قلبی و عروقی به خطر می‌اندازد و دریافت یک رژیم غذایی حاوی سلنیوم کاهش ۵۰ درصدی این بیماری‌ها را موجب می‌شود (بورک و هیل^۸، ۲۰۰۹). سلنیوم نقش مهمی در جلوگیری از تصلب شریان، سرطان‌های خاص، آرتروز و تغییرات در عملکرد سیستم ایمنی بدن دارد. به هر حال اثرات سودمند سلنیوم به شکل شیمیایی آن بستگی دارد و سلنومتیونین^۹ مهم‌ترین شکل همگون‌سازی شده آن می‌باشد (پاتریک^{۱۰}، ۲۰۰۴). البته باید به این نکته نیز توجه داشت که سلنیوم ممکن است در همه شرایط اثر ضدسرطان نداشته باشد. مطالعات آزمایشگاهی دلالت بر این دارند که سلنیوم در میزان زیاد می‌تواند سمی باشد و خطر بروز سرطان را زیاد کند (لتاویو^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۶).

سلنیوم جزء اصلی سلنوآنزیم‌هاست. در مرکز همه این پروتئین‌ها، اسیدآمینو سلنوسیستئین وجود دارد که به عنوان عامل اکسایش و کاهش عمل می‌کند. جدول ۱-۲ جزئیات سلنوپروتئین‌های شناخته شده که عملکرد آنزیمی بر عهده دارند را نشان می‌دهد. در حدود ۳۵ سلنوآنزیم در بیوشیمی انسان شناخته شده است (سلمانی ندوشن و همکاران، ۱۳۹۲).

1. Cuderman
2. Keshan disease
3. Feng
4. Reactive Oxygen Species (ROS)
5. Agarwal
6. Rotuck
7. GSH-Px

8. Burk and Hill
9. Selenomethionine (SeMet0)
10. Patrick
11. Letavayova

جدول ۱: جایگاه و عملکرد سلنواُنزیم‌ها در بدن انسان (سلمانی ندوشن و همکاران، ۱۳۹۲)

Table 1: Location and performance of selenoenzymes in human body (Salmani Nodoushan *et al.*, 2013)

عملکرد Performance	جایگاه Location	سلنواُنزیم Selenoenzyme
آنتی‌اکسیدان، تجزیه‌کننده H ₂ O ₂ Antioxidant, H ₂ O ₂ decomposer	پلازما، تیروئید Plasma, Thyroid	گلوکوتایون پراکسیداز (GPx3) Glutathione peroxidase
Anti-apoptotic of colon ضد آپوپتوتیک در روده بزرگ، کمک به حفظ یکپارچگی روده	مجاری گوارشی Digestive tract	گاستروئین تستینال (GPx2) Gastrointestinal
اکسیداسیون بیومولکول‌ها Biomolecules oxidation	سیتوسل Cytosol	گلوکوتایون پراکسیداز (کلاسیک) Classic glutathione peroxidase
تخریب‌کننده فسفولیپید هیدروپراکسید، محافظت از غشا Phospholipid hydroperoxide destructive, Membrane protection	غشا سلول Cell membrane	فسفولیپید هیدروپراکسید گلوکوتایون پراکسیدازها Phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase
حضور در بیضه‌ها و ضروری برای تحرک اسپرم Presence in testis and essential for sperm motility	هسته اسپرم Sperm nucleus	هسته اسپرم گلوکوتایون پراکسیداز Sperm nucleus glutathione peroxidase
کاهنده فعال به‌ویژه برای تیوردوکسین Active reductant specially for thioredoxin	بافت، پوست، تیروئید Tissue, Skin, Thyroid	تیوردوکسین ردوکتاز Thioredoxin reductase
توزیع سلنیوم در قسمت‌های مختلف بدن Se distribution in different parts of body	خون، تیروئید Blood, Thyroid	سلنوپروتئین P Selenoprotein P
تولید T3 در تیروئید و بافت‌های محیطی T3 production in the thyroid and peripheral tissues	ریه، کلیه، تیروئید Lung, Kidney, Thyroid	یدوتیروئین دی‌دیناز نوع I Iodothyronine deiodinase I
تولید T3 در بافت‌های محیطی T3 production in peripheral tissues	قلب، عضله اسکلتی Heart, Skeletal muscle	یدوتیروئین دی‌دیناز نوع II Iodothyronine deiodinase II

کمبود سلنیوم می‌تواند عاملی برای دیابت باشد، به عبارت دیگر سطح سلنیوم کم باعث ابتلاء به دیابت شود (مدینا^۵ و همکاران، 2001).

سرطان پستان مهم‌ترین سرطان‌کننده در زنان می‌باشد. مطالعات روی بافت سرطان پستان نشان می‌دهد که کاهش سطح سلنیوم با افزایش میزان فعالیت آنزیم تلومراز (آنزیمی که باعث نامیرایی سلول‌های سرطانی می‌شود) همراه می‌باشد (کاولو^۶ و همکاران، 1991). در مطالعه دیگری هنگ^۷ و همکاران (1999) به بررسی مواد کمیاب خون افراد مبتلا به سرطان پستان پرداختند که میزان آن‌ها از جمله سلنیوم در افراد مبتلا به سرطان پستان از گروه شاهد کمتر بود.

مصرف سلنیوم موجب بهبود حرکت اسپرم و افزایش شانس باروری در مردان کم‌بارور^۸ می‌شود (سکات^۹ و همکاران، 1998). سلنوپروتئین‌ها قسمت عمده‌ای از کپسول میتوکندری ناحیه میانی اسپرم را تشکیل داده است. کمبود سلنیوم در موش صحرائی، منجر به ایجاد تغییر شکل غیرطبیعی اسپرم (دم‌های غیرطبیعی و بی‌حرکت) می‌شود. مشخص شده این ناهنجاری‌ها در رابطه با افزایش شکنندگی کپسول میتوکندری اسپرم است. بنابراین سلنیوم برای ایجاد انرژی جهت حرکت اسپرم و

آزمایش ممانعت غذایی سرطان ان‌پی‌سی^۱ کاهش ۶۳ درصدی شیوع سرطان پروستات را در افرادی که سلنیوم کافی داشتند، نشان داد (هلزلسور^۲ و همکاران، 2000). نتایج تحقیقات دوفیلد لیلیکو^۳ و همکاران (2003) نیز بیانگر این مطلب بود که مصرف مکمل سلنیوم در رژیم غذایی می‌تواند احتمال ابتلا به سرطان پروستات را کاهش دهد. مکانیزم سلنیوم در جلوگیری از کاهش احتمال خطر ابتلا به سرطان پروستات به‌طور کامل شناخته نشده است ولی شواهدی وجود دارد که سلنیوم باعث آپوپتوز (مرگ برنامه‌ریزی شده) سلول‌های سرطانی پروستات می‌شود، درحالی‌که اثر مخربی روی سلول‌های پروستاتی طبیعی ندارد. این فرآیند آپوپتوتیک می‌تواند توسط آراشیدونیک اسید و محصول ۵-لیپوکسیژناز تشکیل شده از متابولیک‌های آراشیدونیک اسید جلوگیری شود. بر این اساس به افرادی که برای درمان سرطان پروستات سلنیوم مصرف می‌کنند، توصیه می‌شود که از رژیم‌های غذایی شامل آراشیدونیک اسید اجتناب کنند (قوش^۴ و همکاران، 2004).

در افرادی که کمبود سلنیوم دارند، ترشح انسولین به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و اختلالات قند خون در افرادی که کمبود ویتامین E و سلنیوم دارند، افزایش می‌یابد. پس

5. Medina
6. Cavallo
7. Hang
8. Subfertile
9. Scott

1. NPC: Nutritional Prevention of Cancer
2. Helzlsouer
3. Duffield-Lillico
4. Ghosh

داده و در نتیجه از جذب و تجمع سلینیوم در گیاه می‌کاهد (هوپر و پارکر^{۱۱}، ۱۹۹۹). تحقیقات نشان می‌دهد که تنها ۵ تا ۲۰ درصد از کودهای سلینیومی توسط گیاه مصرف می‌شود و بقیه به فرم نامحلول در خاک در می‌آید که برای گیاه قابل دسترس نخواهد بود. همین مسئله می‌تواند نگرانی‌هایی را در مورد آلودگی به علت کاربرد خاکی کودهای سلینیومی بوجود آورد (یلارانتا^{۱۲}، ۱۹۸۵).

میزان سلینیوم گیاهان با میزان کم تا متوسط سلینیوم خاک همبستگی ندارد زیرا فاکتورهای متعددی مانند شکل شیمیایی سلینیوم، pH، میزان رس، اکسیدهای آهن و مواد آلی و همچنین رقابت آنیونی بر میزان فراهمی سلینیوم در خاک موثر است (گیسل نیلسن^{۱۳}، ۲۰۰۲). با این وجود میزان سلینیوم گیاهان در خاک‌های اسیدی و خاک‌های دارای سلینیوم کم، با افزودن سلنات یا سلنیت به خاک زیاد می‌شود (یلارانتا، ۱۹۸۳). در مطالعه‌ای مقایسه بین دو منبع مهم سلینیوم یعنی سلنات سدیم و سلنیت سدیم در گیاه چاودار صورت گرفت که نشان داد بالاترین غلظت سلینیوم با تیمار سلنات سدیم به دست آمد. برای هر دو منبع سلینیوم همبستگی مثبت بین غلظت سلینیوم در گیاه و فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز دیده شد (کارتس^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۵). به‌طور کلی جذب و توزیع سلنات در گیاه خیلی سریعتر از سلنیت اتفاق می‌افتد (کارتس و همکاران، ۲۰۰۵). دسوزا^{۱۵} و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که از میزان کل سلینیوم تجمع‌یافته در گیاه میزان سلنات ده برابر سلنیت است. چنین پیشنهاد شده است که سلنات آنالوگی برای یون سولفات بوده و به همین جهت به‌صورت فعالانه از طریق ناقل‌های سولفات به درون ریشه انتقال یافته و بعد از آن سریعاً به قسمت‌های هوایی منتقل می‌شود (تری^{۱۶} و همکاران، ۲۰۰۰). هرچند مکانیسم جذب سلنیت به‌طور کامل مشخص نشده است ولی به نظر می‌رسد جذب آن غیرفعال باشد (تری و همکاران، ۲۰۰۰). علاوه بر این گیاهان قادر به جذب فرم‌های آلی سلینیوم مانند سلنومتیونین نیز می‌باشند (تری و همکاران، ۲۰۰۰). انتقال سلینیوم از ریشه به شاخ و برگ نیز از طریق آوند چوبی صورت می‌گیرد (آروی^{۱۷}، ۱۹۹۳).

اکثر گیاهان سلینیوم را در شاخه‌ها و برگ‌ها بیشتر از بافت ریشه تجمع می‌دهند اما استثناهایی نیز وجود دارد (زاید^{۱۸} و

هم‌چنین برای اسپرما توژنزیس ضروری است (اولسون^۱ و همکاران، ۲۰۰۴).

در مطالعه هم‌گروهی^۲ بالینی وسیعی که توسط مارک^۳ و همکاران (۲۰۰۰) در یک جمعیت دچار کمبود سلینیوم در چین انجام شد، کاهش خطر سرطان مری و سرطان کاردیای معده را در افراد با غلظت بالای سلینیوم در سرم خون به دست آوردند. مطالعات مشاهده‌ای و تجربی نشان داده است که سطح بالای سلینیوم خطر سرطان دستگاه گوارش فوقانی را در جمعیت دچار نقص و کمبود سلینیوم کاهش می‌دهد (وی^۴ و همکاران، ۲۰۰۴). مطالعاتی نیز به نقش سلینیوم در خلق اشاره دارد. کمبود سلینیوم با افزایش بروز اختلالات خلقی نظیر افسردگی، اضطراب، گیجی و پرخاشگری ارتباط دارد و دریافت سلینیوم مکمل موجب بهبود خلق می‌گردد (هاوکس و هورنبوستل^۵، ۱۹۹۶).

جذب و توزیع سلینیوم در گیاهان

سلینیوم یک متالوئید (شبه‌فلز) است؛ به عبارت دیگر هم خاصیت فلزی و هم خاصیت غیرفلزی دارد (سلمانی ندوشن و همکاران، ۱۳۹۲). در اکثر خاک‌ها میزان سلینیوم بین ۰/۱ تا ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بسته به منطقه جغرافیایی متغیر است (دهیلون و دهیلون^۶، ۲۰۰۳). در بعضی کشورها مانند نیوزلند، فنلاند و برخی مناطق چین سلینیوم قابل دسترس در خاک‌ها به‌طور طبیعی کم است. میزان سلینیوم خاک بستگی به ترکیب سنگ بستری دارد که خاک از آن منشأ می‌گیرد. سلینیوم در خاک در چهار سطح اکسیداسیونی وجود دارد: سلنات^۷ (+۶)، سلنیت^۸ (+۴)، سلینیوم عنصری (صفر) و سلنید ارگانیک و غیرارگانیک (-۲). سلنات برای گیاهان قابل دسترس‌تر است در حالی که سلنیت به علت جذب شدن توسط سطوح اکسید آهن و رس‌های خاک کمتر قابل دسترس برای گیاه است (میکلسن^۹ و همکاران، ۱۹۸۹). آهک موجب کاهش جذب سلنیت توسط سطوح اکسیدی شده و از این طریق حلالیت عنصر سلینیوم در خاک و جذب آن توسط گیاه را افزایش می‌دهد (گارلستون^{۱۰} و همکاران، ۱۹۹۱). علاوه بر سولفات، تقابل بین سلینیوم و سایر عناصر غذایی مانند فسفات دسترسی سلینیوم در خاک را کاهش

11. Hopper and Parker
12. Ylaranta
13. Gissel-Nielsen
14. Cartes
15. De Souza
16. Terry
17. Arvy
18. Zayed

1. Olson
2. Cohort study
3. Mark
4. Wei
5. Hawkes and Hornbostel
6. Dhillon and Dhillon
7. Selenate
8. Selenite
9. Mikkelsen
10. Garlston

ترکیبات مختلف مثل سلنوسیستئین، سلنوسیستین، دی سلنوسیستین، سلنومتیونین، سلنوگلوکوتایون و سلنو دی گلوکوتایون تولید نماید. سلنومتیونین قادر است به طور غیراختصاصی وارد پروتئین‌ها شده و به جای میتونین قرار گیرد. به‌طور کلی ترکیبات سلنیوم‌دار نسبت به همتای گوگرد آنها واکنش‌پذیرتر هستند. به‌عنوان مثال سلنوسیستین از سیستین اسیدی‌تر است و با سهولت بیشتری اکسید می‌شود (سلمانی ندوشن و همکاران، ۱۳۹۲).

تجمع سلنیوم در گیاه

میزان سلنیوم در گیاهان بستگی به فرم شیمیایی سلنیوم، غلظت و دسترسی زیستی آن در خاک و هم‌چنین توانایی انباشت‌کنندگی گیاه دارد. گیاهان عالی دارای توانایی متفاوت در تجمع و مقاومت به سلنیوم هستند که از این نظر می‌توانند به سه گروه انباشت‌گر^۸، اندیکاتور^۹ و غیرانباشت‌گر^{۱۰} تقسیم شوند (ویت^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۴). بعضی گونه‌های خاص گیاهی فوق انباشت‌گر^{۱۲} نامیده می‌شوند که خود به دو گروه تجمع‌دهنده‌های اولیه سلنیوم (تجمع هزاران میلی‌گرم سلنیوم در کیلوگرم وزن خشک) و تجمع‌دهنده‌های ثانویه سلنیوم (تجمع صدها میلی‌گرم سلنیوم در کیلوگرم وزن خشک) تقسیم می‌شوند. گونه‌های خانواده کلم^{۱۳} شامل خردل هندی، کلم بروکلی و کلزا به‌عنوان تجمع‌دهنده اولیه سلنیوم شناخته می‌شوند. با این حال بسیاری از محصولات کشاورزی مقاومت کمی نسبت به سطوح بالای سلنیوم دارند. عموماً گیاهانی که کمتر از ۲۵ میکروگرم سلنیوم در هر گرم وزن خشک دارند به‌عنوان غیرانباشت‌گر در نظر گرفته می‌شود (توراکاین، ۲۰۰۷).

در گیاهان عالی، به علت تشابه در خصوصیات شیمیایی و متابولیسم، سلنیوم ارتباط نزدیکی با گوگرد دارد. به نظر می‌رسد ورود سلنوآمینواسیدها (سلنومتیونین و سلنوسیستئین) به ترکیبات پروتئینی مهم‌ترین علت سمیت سلنیوم در گیاهان غیرتجمع‌دهنده سلنیوم باشد (براون و شریف^{۱۴}، ۱۹۸۲). طبق نظر لیونز^{۱۵} و همکاران (۲۰۰۵a)، سمیت سلنیوم به فرم سلنیت بیشتر از سلنات است. یک علت سمیت بالاتر سلنیت نسبت به سلنات این است که بعد از جذب

همکاران، ۱۹۹۸). کاهاکاچی^۱ و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که بافت‌هایی با رشد فعالانه، معمولاً مقدار بیشتری از سلنیوم را دارا می‌باشند. ووگرینکیس^۲ و همکاران (۲۰۰۹) اعلام کردند که میزان سلنیوم در گندم سیاه که با سلنیوم محلول‌پاشی شده بود حدود ۵۰ تا ۵۰۰ برابر گیاهان کنترل بود. عمده‌ترین گونه سلنیوم در بذر سلنیوم متیونینی (SeMet) بود ولی در سیوس آن هیچ گونه‌ای از سلنیوم یافت نشد. جرم^۳ و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی میزان جذب سلنیوم محلول‌پاشی شده در سطوح مختلف پرتو ماوراء بنفش به این نتیجه رسیدند که در سطوح کاهش‌یافته پرتو ماوراء بنفش، حداکثر جذب سلنیوم اتفاق افتاده است.

در مطالعه‌ای روی چگونگی توزیع گونه‌های سلنیوم در پیاز خوراکی نشان داد که یون سلنات (Se (VI) عمدتاً با مکانیسم آپوپلاستی منتقل می‌شود و هیچ‌گونه تبدیل به سایر اشکال شیمیایی و یا تراوش به سلول صورت نمی‌گیرد. این در حالی است که شکل سمی سلنیت (Se(IV) از طریق سیم‌پلاستی منتقل شده و به درون سلول تراوش می‌کند تا به شکل کم خطر آمینواسید سلنیومی^۴ تبدیل گردد (بولسکا^۵ و همکاران، ۲۰۰۶).

توراکاین^۶ و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که بیش‌ترین میزان سلنیوم در غده‌های سیب‌زمینی در بخش پروتئینی وجود دارد. هم‌چنین آنان بیان داشتند که غده‌های غنی شده با سلنیوم در نسل بعدی هم‌گیاهانی با میزان سلنیوم بالا تولید می‌کنند. فری^۷ و همکاران (۲۰۰۷) توزیع سلنیوم در گیاه سیب‌زمینی را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که میزان سلنیوم در بخش پروتئینی سیب‌زمینی‌های غنی‌شده و شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. این در حالی است که سیب‌زمینی‌های غنی شده با سلنیوم به‌طور معنی‌داری میزان بیشتری از این عنصر را در قسمت‌های غیرپروتئینی (بخش نشاسته‌ای) خود نسبت به شاهد داشتند که بیانگر محل تجمع سلنیوم در سیب‌زمینی می‌باشد. کادرمن و همکاران (۲۰۰۸) به این نتیجه رسیدند که سلنات و سلنیوم متیونین (SeMet) عمده‌ترین گونه‌های سلنیوم محلول در غده‌های سیب‌زمینی هستند.

از آنجایی که سلنیوم در جدول تناوبی بعد از گوگرد قرار دارد، می‌تواند در ترکیبات متعدد جایگزین گوگرد شده و

8. Accumulator

9. Indicator

10. Non-accumulator

11. White

12. Hyperaccumulator

13. Brassicaceae

14. Brown and Shrift

15. Lyons

1. Kahakachchi

2. Vogrincic

3. Germ

4. Seleno Amino acid

5. Bulska

6. Turakainen

7. Ferri

میزان سelenium، به میزان ۲ تا ۳ برابر غلظت سelenium بیشتری در شاخ و برگ انباشت نمود و تحمل آن به سelenium نیز از گیاهان معمولی بیشتر بود. علاوه بر این نتایج نشان داد گونه‌های وحشی خردل که سelenat در اختیار داشتند بیشتر سelenat را انباشت کرده درحالی‌که گیاهان تراریخته با میزان بالای ATP سولفوریلاز سelenium را به فرم آلی ذخیره کردند (دسوزا و همکاران، 1998). مسیره‌های پیشنهادی آنزیمی و غیرآنزیمی آسیمیلایون سelenium در گیاهان عالی در شکل ۱ آمده است.

سelenat از طریق ناقلین سولفات جذب شده و توسط آنزیم‌های مسیر آسیمیلایون گوگرد و یا از طریق احیای غیرآنزیمی آسیمیلایون می‌شود. سelenat توسط آنزیم ATP سولفوریلاز فعال شده و به سelenite و سپس سelenid احیا می‌شود که ترکیب اخیر می‌تواند وارد سelenosystemin شده و بعداً به سelenomethionin نیز تبدیل شود. سelenomethionin متیله شده و متیل سelenomethionin را تولید می‌کند که به ماده فرار دی متیل سelenid تبدیل می‌شود. به‌طور کلی ترکیبات آلی سelenium در گیاهان می‌توانند به ترکیبات فرار مانند دی متیل سelenid^۹ و دی سelenid^{۱۰} تبدیل شوند (دسوزا و همکاران، 1998). لوئیس^{۱۱} و همکاران (1974) اثبات کردند که میزان تبخیر سelenium از برگ‌های کلم با کاهش دما کاهش می‌یابد. براساس این نتایج می‌توان گفت که کاهش دمای انبار می‌تواند از هدررفت سelenium از بخش‌های مختلف گیاه ممانعت کند. میزان تبخیر سelenium از طریق مواد فرار در گونه‌های مختلف گیاهی متفاوت است. چغندرقد، لوبیا و کاهو تبخیر سelenium کمی داشته درحالی‌که هویج، جو، یونجه، گوجه‌فرنگی و خیار تبخیر متعادلی دارند. برنج، بروکلی و کلم پیچ به مقدار زیادی سelenium را انباشت کرده و به همین دلیل میزان تبخیر سelenium زیادی هم دارند (زاید و همکاران، 1998). اشکال آلی و معدنی سelenium در خاک نیز می‌تواند توسط میکروارگانیسم‌ها تبخیر شده و وارد جو شوند (فرانکن برگر و کارلسون^{۱۲}، 1994).

توسط ریشه، سelenite نسبت به سelenat سریع‌تر تبدیل به سelenoaminosulfoxides می‌شود.

غلظت‌های بالای سelenium موجب تحریک واکنش‌های استرس اکسیداتیو نظیر افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها در گیاهان می‌گردد (هارتیکاین^۱ و همکاران، 2000). توانایی انباشت‌کنندگی و مقاومت به سطوح بالای سelenium به تفاوت در متابولیسم سelenium بین گونه‌های مختلف گیاهی مرتبط است. انباشت‌کننده‌های سelenium ورود سelenoaminosulfoxides به پروتئین را محدود می‌کنند. این مکانیسم از طریق تبدیل سelenium به سelenoaminosulfoxides غیرپروتئینی محلول مانند متیل سelenosystemin^۲، گلوتامیل متیل سelenosystemin^۳ و سelenosystemin^۴ انجام می‌شود (وانگر^۵، 2002). متیل سelenosystemin یک سelenoaminosulfoxide غالب در انباشت‌کننده‌های سelenium نظیر سیر، پیاز، بروکلی و تره‌فرنگی وحشی می‌باشد (وانگر، 2002).

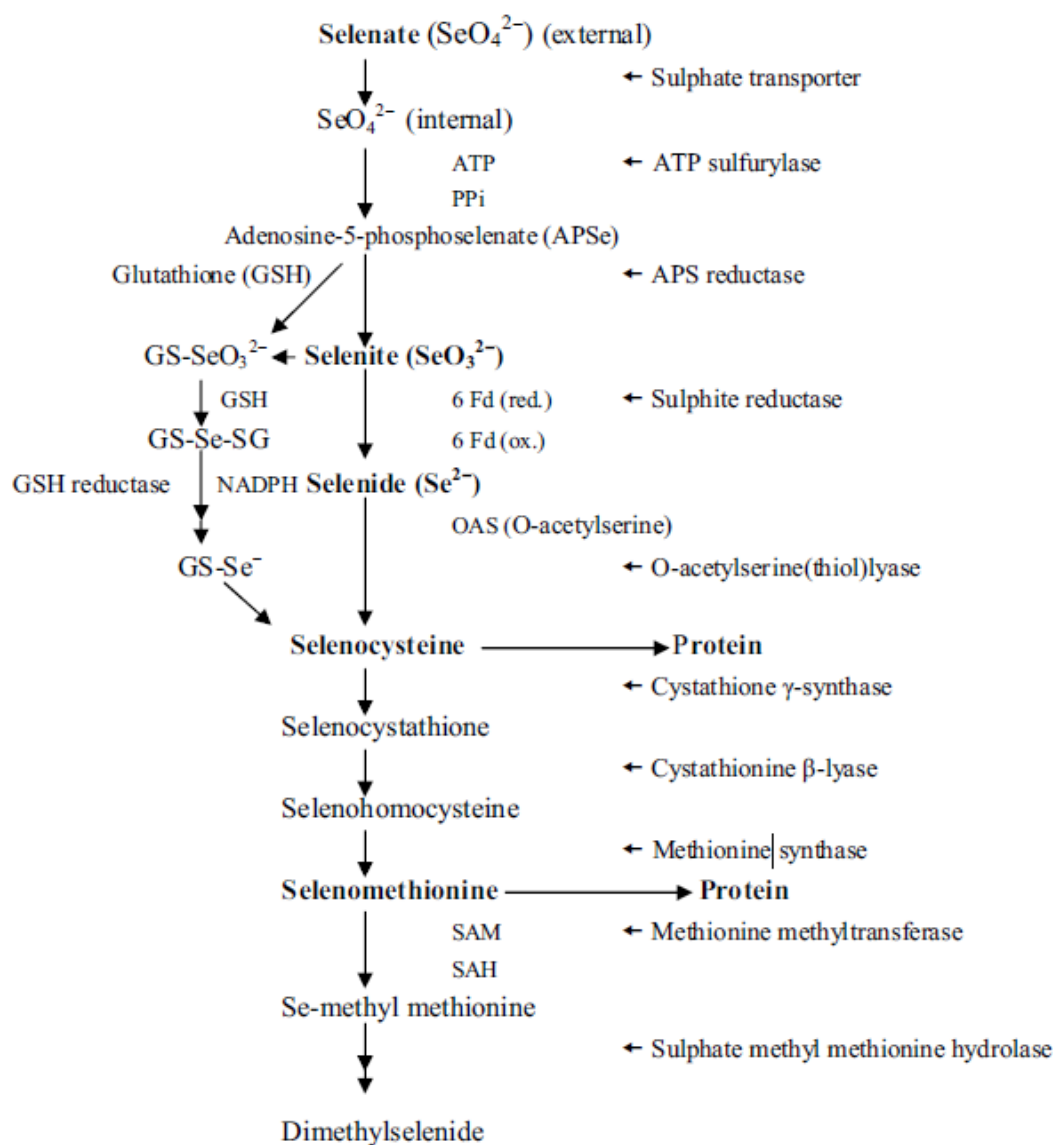
در یک پژوهش پنج ساله در کانادا روی غنی‌سازی سelenium در دانه جو، یونجه و لوئیچه چمنی نشان داد که محلول پاشی هوایی ۱۰ تا ۲۰ گرم سelenium در هکتار برای دانه جو و گیاهان علوفه‌ای کافی است که بتواند نیاز اکثر دام‌ها را به سelenium مرتفع نماید (گوپتا^۶ و همکاران، 1998).

آسیمیلایون سelenium در گیاهان

مشخص شده است که سelenium از طریق آنزیم‌های آسیمیلایون گوگرد متابولیزه شده و می‌تواند در جایگاه گوگرد در اسیدآمین‌های گوگردی قرار گیرد (تری و همکاران، 2000). تحقیقات بورنل^۷ (1981) در محیط درون شیشه نشان می‌دهد که ATP سولفوریلاز اولین آنزیمی است که موجب احیای سelenat و سولفات در گیاهان می‌شود. به نظر می‌رسد که احیای سelenat به سelenium آلی در کلروپلاست رخ دهد (پیلون/سمیتس^۸ و همکاران، 1999). در پژوهش پیلون/سمیتس (1999) زمانی‌که شاخساره گیاه حذف شد، ریشه‌ها نتوانستند احیای سelenat را انجام دهند. این نتایج بیانگر آن است که فرم آلی سelenium معمولاً از قسمت‌های هوایی و از طریق آوند آبکش به ریشه منتقل می‌شود. خردل هندی جهش‌یافته که بیان افزایشی در ژن ATP سولفوریلاز داشت، در زمان کافی بودن

1. Hartikainen
2. Se-methylselenocysteine
3. γ -glutamyl-Se methylselenocysteine
4. Selenocystathionine
5. Whanger
6. Gupta
7. Burnell
8. Pilon-Smits

9. Dimethylselenide
10. Dimethyldiselenide
11. Lewis
12. Frankenberger and Karlson



شکل ۱: مسیرهای پیشنهادی آسیمیلایسیون سلنیوم در گیاهان غیرانباشت‌گر (تری و همکاران، ۲۰۰۰)
 Fig. 1: Suggested assimilation pathways of selenium in non-accumulator plants (Terry *et al.*, 2000)

جدول ۲: حد مجاز مصرف سلنیوم روزانه در افراد مختلف (سلمانی ندوشن و همکاران، ۱۳۹۲)

Table 2: Limit daily intake of selenium in various people groups (Salmani Nodoushan *et al.*, 2013)

بالاترین سطح قابل تحمل (میکروگرم در روز) The highest tolerable level ($\mu\text{g/day}$)	حد مجاز توصیه شده (میکروگرم در روز) Recommended limit ($\mu\text{g/day}$)	گروه‌های سنی Ages groups
90	20	1-3
150	30	4-8
280	40	9-14
400	55	14<
400	60	زنان باردار Pregnant women
400	70	زنان شیرده Lactating women

سلنیوم (Se)، سلنیت (Se^{4+}) و سلنات (Se^{6+}) در ترکیبات مختلف و در طبیعت ظاهر می‌شود (سلمانی ندوشن و همکاران، ۱۳۹۲). هرچند سلنیوم عنصری ضروری برای گیاهان محسوب نمی‌شود ولی مدارکی دال بر ضروری بودن آن برای گیاهان سلنیوم دوست مانند گونه‌های جنس *Astragalus* وجود

اثرات فیزیولوژیکی سلنیوم بر گیاهان

سلنیوم خواص فیزیکی و شیمیایی حدواسط بین فلز و غیرفلز را دارد و مشابه گوگرد و تلوریم است که در گروه VI جدول تناوبی عناصر قرار دارند. سلنیوم مانند گوگرد در حالت‌های اکسیداسیونی ۲-، صفر، +۴ و +۶ به صورت سلنید (Se^{2-})،

و همکاران، 1989) و آسیمیلاسیون نیتروژن (آسلام^{۱۱} و همکاران، 1990) موثر باشد. کونز^{۱۲} و همکاران (1978) نشان داد که سلنومتیونین بیوسنتز اتیلن در گیاه را افزایش داد که نشان می‌دهد سلنومتیونین سوبسترای بهتری نسبت به متیونین برای تولید S-آدنوزیل متیونین می‌باشد (تری و همکاران، 2000).

جزک^{۱۳} و همکاران (2011) با بررسی آمینواسیدها در سیب‌زمینی‌های محلول‌پاشی شده با سلنیوم دریافتند که محتوای کل آمینواسیدهای ضروری و غیرضروری نسبت به گیاهان شاهد افزایش نشان داد. بیش‌ترین میزان افزایش مربوط به فنیل آلانین (Phe) بود که حدود ۴۸/۹ درصد افزایش داشت. همچنین آمینواسیدهایی نظیر اسید آسپارتیک (Asp)، اسید گلوتامیک (Glu)، ترئونین (Thr) و تیروزین (Tyr) نیز به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش مقدار داشتند. در این تحقیق غلظت‌های بالای سلنیوم به‌عنوان عامل تنش و دارای اثرات سمیت مطرح شد که منجر به تغییر محتوی آمینواسیدها گردید.

اثر سمیت شدید سلنیوم بر چاودار بعد از اضافه کردن میزان ۱۰ و ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، مشاهده شد این درحالی بود که میزان ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم موجب افزایش وزن تر گیاه گردید (هارتیکاین و همکاران، 2000). تیمار سلنیوم افزایش کارایی کوآنتومی^{۱۴} در فتوسیستم ۲ (PSII) در توت‌فرنگی را به همراه داشت درحالی‌که چنین تأثیری در گیاه جو دیده نشد (والکاما^{۱۵} و همکاران، 2003). براساس اظهارات سپانن^{۱۶} و همکاران (2003) بعد از تنش نوری طولانی مدت در سیب‌زمینی میزان کاهش در حداکثر عملکرد کوآنتومی فتوسیستم ۲ (Fv/Fm) در گیاهان تیمار شده با سلنیوم کمتر از شاهد بود. همچنین براساس این پژوهش فتوسنتز در گیاهان تیمار شده با سلنیوم مقاومت بیشتری نسبت با پاراکوات^{۱۷} داشته و یکپارچگی غشاء طی تنش اکسیداتیو حفظ گردید. محتوای کلروفیل گیاهان تحت تنش سیب‌زمینی که با سلنیوم تیمار شده بودند بیشتر از شاهد بود. جرم و همکاران (2005) اثر متقابل پرتو ماوراء بنفش B و سلنیوم را در کدو تنبل مورد بررسی قرار دادند. آنان گزارش کردند که حذف نور ماوراء بنفش B در گیاهان شاهد باعث دو برابر شدن محصول شد درحالی‌که در گیاهان تیمار شده با سلنیوم ۱/۶ برابر گردید. که

دارد (ترلیس و ترلیس^۱، 1938). همچنین مشخص شده است که سلنیوم برای رشد جلبک سبز مورد نیاز می‌باشد (فو^۲ و همکاران، 2002). در مقابل گیاهان غیرانباشت‌گر سلنیوم، شامل بیشتر گونه‌های زراعی، برای رشد به سلنیوم نیاز ندارند (تری و همکاران، 2000). ظاهراً اولین گزارش در مورد اثرات سودمند سلنیوم در گیاهان توسط سینگ^۳ و همکاران (1980) منتشر شد. آن‌ها در تحقیقات خود نشان دادند که کاربرد ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم به‌صورت منبع سلنیت رشد و میزان وزن خشک را در خردل هندی (*Brassica juncea* L.) افزایش می‌دهد. به تازگی مشخص شده است که سلنیوم به کار رفته در غلظت‌های پایین موجب افزایش رشد و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان تک و دو لپه می‌شود. به‌عنوان نمونه افزایش رشد ناشی از کاربرد سلنیوم خارجی در کشت خاکی کاهو (هارتیکاین و زو^۴، 1999) و سویا (دجاناگویرامان^۵ و همکاران، 2005) گزارش شده است.

موشی و همکاران (1990) دریافتند که یون سلنیت (SeO_3^{2-}) میزان پروتئین غده سیب‌زمینی را افزایش داده و از میزان آمینواسیدهای آزاد می‌کاهد. پنانن^۶ و همکاران (2002) بیان کردند که سلنیوم تجمع نشاسته در کلروپلاست برگ‌های جوان را تحریک می‌کند. مشخص شده است کاربرد سلنیوم تکمیلی (به فرم سلنیت) موجب کاهش غلظت گلیکوالکالوئید و نیترات غده‌های سیب‌زمینی می‌شود (موشی و موندی^۷، 1992). این درحالیست که میزان اسیدآمینو کل و پروتئینی افزایش می‌یابد (موشی و همکاران، 1990). کاروالهو^۸ و همکاران (2003) گزارش کردند که سطوح بالاتر از ۲۹ میلی‌گرم سلنیوم بر کیلوگرم خاک از جوانه‌زنی و رشد بذر گوجه‌فرنگی، کاهو و تربچه ممانعت کرد. در نقطه مقابل، گزارش شده است سلنیت می‌تواند جهت پرایمینگ بذر به‌منظور افزایش جوانه‌زنی بذور در دماهای نامناسب اثرگذر باشد (چن و سانگ^۹، 2001). این تأثیر مثبت بر جوانه‌زنی مرتبط با فعالیت آنتی‌اکسیدانی و افزایش فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز و سیکل آسکوربات گلوکاتایون می‌باشد.

نشانه‌هایی وجود دارد که سلنیوم ممکن است روی بیوسنتز گلیکوالکالوئیدها (موشی و موندی، 1992) کلروفیل (پادماجا^{۱۰}

1. Trelease and Trelease
2. Fu
3. Singh
4. Hartikainen and Xue
5. Djanaguiraman
6. Pennanen
7. Munshi and Mondy
8. Carvalho
9. Chen and Sung
10. Padmaja

11. Aslam
12. Konze
13. Jezek
14. Quantum Efficiency
15. Valkama
16. Seppanen
17. Paraquat

آن‌ها مشاهدات خود را این‌گونه تفسیر نمودند که محلول‌پاشی سلینیوم تنها یک‌بار و آن هم در زمانی که رشد رویشی گیاه کامل شده است (مرحله شش و هفت برگی) اثر منفی روی جذب گوگرد نخواهد داشت چون جذب گوگرد به اندازه کافی قبل از محلول‌پاشی صورت می‌گیرد. به هر حال سلینیوم هم مانند هر عنصر دیگری در مقادیر زیاد می‌تواند برای گیاه مضر، تنش‌زا و محدودکننده باشد (سپالهور و هوفمن، 2002).

پیشنهاد شده است که در گونه‌های گیاهی انباشت‌کننده سلینیوم، میزان بالای تجمع سلینیوم مکانیزم حفاظت تکاملی در مقابل حشرات را تقویت می‌کند. هانسون^۶ و همکاران (2004) نشان دادند که سلینیوم گیاه خردل هندی را در مقابل شته سبز هلو (*Myzus persicae* Sulzer) حفاظت کرد. علاوه بر این سلینیوم موجب حفاظت خردل هندی در مقابل برگ‌خوار سفید کلم (*Pieris rapae* L.) می‌شود (هانسون و همکاران، 2003). هم‌چنین خردل هندی غنی شده از سلینیوم مقاومت بیشتری نسبت به یک پاتوژن قارچی ساقه و ریشه (*Fusarium* sp.) و برگگی (*Alternaria brassicicola*) پیدا می‌کند (هانسون و همکاران، 2003).

سلینیوم و سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه

هرچند سمیت سلینیوم در غلظت‌های بالا برای گیاهان کاملاً محرز بوده و نوعی تنش محسوب می‌گردد ولی اثرات سودمند غلظت‌های پایین سلینیوم در حفاظت گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی، گونه‌های فعال اکسیژن و فعال‌سازی مکانیسم‌های کاهنده تنش‌های اکسیداتیو در پژوهش‌های متفاوتی گزارش شده است (سپانن و همکاران، 2003؛ هارتیکاینن و زو، 1999). سلینیوم عنصری مهم است که با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان، حیوانات و انسان مرتبط می‌باشد (رایمن^۷، 2002).

یکی از راه‌های بهبود مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آنهاست (فویر^۸ و همکاران، 1994). میزان بهینه سلینیوم می‌تواند موجب افزایش مقاومت گیاهان نسبت به تنش پرتو ماوراء بنفش شده و هم‌چنین موجب تأخیر پیری در گیاهان گردد. خواص ضدپیری سلینیوم به کاهش پراکسیداسیون چربی‌ها و افزایش فعالیت گلوکاتایون پراکسیداز مرتبط دانسته شده است (زو^۹ و همکاران، 2001). هر چند هنوز سلینیوم در ساختار آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز گیاهی یافت نشده ولی اعتقاد بر این است که سلینیوم موجب افزایش فعالیت این آنزیم می‌شود. در بعضی موارد کاهش میزان

می‌توان نتیجه گرفت که سلینیوم در حضور پرتو ماوراء بنفش بهتر می‌تواند محصول را افزایش دهد. طبق این تحقیق محلول‌پاشی سلینیوم تأثیر معنی‌داری بر فعالیت سیستم انتقال الکترون^۱ در گیاه کدو تنبل نداشت. فعالیت سیستم انتقال الکترون برای اندازه‌گیری پتانسیل متابولیکی موجودات استفاده می‌شود. فعالیت سیستم انتقال الکترون در برگ‌های جوان دارای سلینیوم زیاد بالاترین میزان را دارد که این فعالیت زیاد سیستم انتقال الکترون (که بیانگر پتانسیل تنفس است) احتمالاً ناشی از افزایش فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز در میتوکندری می‌باشد (سمرکولج^۲ و همکاران، 2006). جرم و همکاران (2007) با محلول‌پاشی سلنات به غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر هیچ‌گونه علائم ظاهری سمیت روی شیکوره مشاهده نکردند. در این تحقیق مشخص شد که سلینیوم میزان تنفس را در شیکوره‌های جوان افزایش داد ولی در شیکوره‌های زمان برداشت چنین تاثیری نداشت.

تورا کاینن و همکاران (2004) گزارش کردند که سیب‌زمینی‌های تیمار شده با سلینیوم عملکرد بیشتری نسبت به شاهد داشتند که این افزایش عملکرد مربوط به بزرگی غده‌ها می‌شد نه تعداد آن‌ها. پولدما^۳ و همکاران (2011) بیان کردند که محلول‌پاشی گیاه سیر با سلینیوم موجب کاهش غلظت گوگرد گیاه می‌شود. کاهش میزان گوگرد سیر در تیمارهای سلینیوم نشان می‌دهد که عنصر سلینیوم می‌تواند جایگزین گوگرد در متابولیسم گیاه شود.

جایگزینی آمینواسیدهای سولفوری توسط آمینواسیدهای سلینیومی مانند: سلنومتیونین و سلنوسیتئین می‌تواند واکنش‌های شیمیایی را مختل کند (سپالهور و هوفمن^۴، 2002). گیاهانی که مقاومت بالایی نسبت به تجمع سلینیوم دارند می‌توانند سلینیوم را در ترکیب آمینواسیدهای غیرپروتئینی وارد کنند (وهانگر، 2002). طبق اظهار هلوسک^۵ و همکاران (2002) سیر بالاترین نیاز به گوگرد را در بین گیاهان پیازی دارد. با توجه به این نکته می‌توان نتیجه گرفت که کاهش میزان گوگرد گیاه بر اثر افزایش سلینیوم می‌تواند اثر منفی بر رشد گیاه داشته باشد. هرچند به نظر می‌رسد این اثر منفی در غلظت‌های بیش از اندازه سلینیوم و به دلیل اختلال در کار آمینواسیدهای گوگرددار (سیستئین و متیونین) حاصل گردد. با این وجود پولدما و همکاران (2011) هیچ اثر منفی در اندازه سیرهای محلول‌پاشی شده با سلینیوم گزارش نکردند.

1. Electron Transport System (ETS)
2. Smrkolj
3. Poldma
4. Spallholz and Hoffman
5. Hlusek

6. Hanson
7. Rayman
8. Foyer
9. Xue

و موجب بهبود رشد سبب‌زمینی‌های در معرض تنش سرما و نور (سپانن و همکاران، 2003) شود.

هو⁴ و همکاران (2003) اعلام کردند که میزان کل اسیدهای آمینه و ویتامین C چای، با محلول‌پاشی سلنیوم افزایش یافت این در حالی بود که محتوای پلی‌فنل به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد. کک و فینلی⁵ (2006) ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در کلم بروکلی تغذیه شده با سلنیوم را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که سلنیوم می‌تواند باعث کاهش تنش اکسیداتیو شود. پولدما و همکاران (2011) همبستگی مثبتی بین میزان سلنیوم محلول‌پاشی شده و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در سیر را گزارش کردند. طبق این تحقیق تیمار ۵۰ میکروگرم سلنیوم در میلی‌لیتر، محتوای آنتی‌اکسیدان کل را در گیاه سیر افزایش داد. این درحالی است که میزان اسید آسکوربیک و محتوای فنلی کاهش یافته بود.

غنی‌سازی محصولات کشاورزی با سلنیوم

از آنجاکه سطح پایین سلنیوم در بدن انسان می‌تواند خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی، سرطان و سایر بیماری‌های مرتبط با رادیکال‌های آزاد را افزایش دهد، غنی‌سازی محصولات کشاورزی با سلنیوم برای سلامت جامعه حائز اهمیت است (پولدما و همکاران، 2013). سبزی‌های تولیدی در بسیاری از مناطق جهان از نظر میزان سلنیوم فقیر هستند و همین مسئله ضرورت غنی‌سازی محصولات کشاورزی برای تولید مواد غذایی غنی از سلنیوم را به خوبی اثبات می‌کند. به واقع کشت گیاهان غنی‌شده با سلنیوم می‌تواند یک راه مناسب برای تولید محصولات سرشار از سلنیوم بوده و موجب بهبود سلامت جامعه شود (لیونز و همکاران، 2005b).

غلظت سلنیوم در محصولات گیاهی بستگی به میزان آن در خاک دارد ولی معمولاً اندک ($<0.1 \text{ mg Se kg}^{-1}$) می‌باشد که می‌توان با تکنیک‌های مختلف نسبت به غنی‌سازی محصولات اقدام نمود. مهم‌ترین این روش‌ها افزودن سلنیوم به خاک، غوطه‌ور کردن بذرها در محلول سلنیوم قبل از کاشت، محلول غذایی حاوی سلنیوم در محیط هیدروپونیک یا ایروپونیک و محلول‌پاشی سلنیوم می‌باشد (ووگرینکیس و همکاران، 2009). امروزه استفاده از تیمار سلنیوم به‌صورت محلول‌پاشی و کوددهی پایه به‌منظور افزایش میزان سلنیوم محصولات خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد (فنگ و همکاران، 2013). بسیاری از گونه‌های گیاهی کشت شده تجمع‌دهنده سلنیوم نیستند. در شرایط استاندارد این گیاهان دارای حدود ۰/۰۱ تا

سوپراکسید دیسموتاز در گیاهان تیمار شده با سلنیوم گزارش شده است که می‌تواند به علت افزایش فعالیت گلوکاتایون پراکسیداز باشد. بدین معنی که با افزایش فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز نیاز به سایر آنزیم‌ها و مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی برای حذف رادیکال‌های آزاد کم می‌شود (زو و همکاران، 2001). سپانن و همکاران (2003) گزارش کردند که سلنیوم میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و در بعضی موارد میزان توکوفرول را کاهش می‌دهد. البته نتایج متفاوتی نیز در این زمینه وجود دارد، به‌عنوان نمونه براساس اظهارات سپانن و همکاران (2003) عنصر سلنیوم موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سبب‌زمینی گردید. نوواک¹ و همکاران (2004) اثر افزایشی کاربرد سلنیوم روی آنزیم‌های اکسیدوردوکتاز² در گندم را بیان نمودند. استفاده از غلظت کم سلنیوم (۰/۰۵ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) اثر مثبت روی دفاع آنتی‌اکسیدانی گندم داشت ولی غلظت‌های بالا خود موجب ایجاد تنش در گیاه شد. زیائوکین³ و همکاران (2009) دریافتند که تغذیه با سلنیوم توانست در گیاه گندم تحت تنش خشکی موجب افزایش محتوای پرولین، فعالیت ریشه و فعالیت پراکسیداز (POD) و کاتالاز (CAT) شود. مدارک زیادی وجود دارد که بیانگر نقش حفاظتی غلظت‌های پایین سلنیوم علیه تنش‌های اکسیداتیو در گیاهان عالی است (هارتیکاین و زو، 1999؛ پنانن و همکاران، 2002؛ زو و هارتیکاین، 2000؛ زو و همکاران، 2001).

تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که سلنیوم نقش حفاظتی در برابر تنش‌های اکسیداتیو در گیاهان عالی از طریق افزایش فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز (GSH-Px) و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها را دارد (هارتیکاین و همکاران، 2000؛ کارتس و همکاران، 2005). هم‌چنین مشخص شده است که سلنیت نسبت به سلنات کارآیی بیشتری در افزایش فعالیت آنزیم گلوکاتایون پراکسیداز دارد (کارتس و همکاران، 2005). به علاوه سلنیوم می‌تواند روی فعالیت آنزیم‌های دیگری مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و گلوکاتایون ترانسفراز نیز موثر باشد (زو و هارتیکاین، 2000).

افزودن غلظت کم سلنیوم، استرس اکسیداتیو ناشی از اشعه ماوراء بنفش را در کاهو و چچم (هارتیکاین و همکاران، 2000) و توت‌فرنگی (ولکاما و همکاران، 2003) کاهش داد. به‌علاوه میزان بهینه سلنیوم می‌تواند موجب تأخیر در پیری کاهو (زو و همکاران، 2001) و سویا (دجاناگویرامن و همکاران، 2005) شده

1. Nowak
2. Oxidoreductase enzymes
3. Xiaojin

4. Hu
5. Keck and Finley

جلوگیری از سرطان به ترکیب SeMSC مربوط می‌شود چرا که می‌تواند سریعاً به متیل سلنول^۸ (ماده ضد سرطان مشهور) تبدیل شود (ایپ^۹ و همکاران، ۲۰۰۰).

نکته بسیار مهمی که در غنی‌سازی سلنیوم باید به آن توجه داشت این است که مرز بین سمیت و کمبود سلنیوم بسیار باریک بوده و بستگی زیادی به شکل شیمیایی سلنیوم دارد (اوررو /یزرت^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۴). مصرف ناکافی سلنیوم (کمتر از ۱۱ میکروگرم در روز) منجر به مشکلات کمبود این عنصر می‌گردد و هم‌چنین مصرف زیاد از حد (۳۲۰ تا ۵۰۰ میکروگرم در روز) می‌تواند واکنش‌های سمیت را موجب شود (رید^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۴). حد مجاز مصرف سلنیوم روزانه در افراد مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به خطرات سمیت سلنیوم برای انسان، قبل از هرگونه برنامه‌ای جهت غنی‌سازی محصولات می‌بایست میزان مصرف سلنیوم توسط افراد و هم‌چنین مقادیر این عنصر در خاک‌های مناطق مختلف کشور مورد ارزیابی قرار گرفته و در نهایت نسبت به غنی‌سازی این عنصر تصمیم‌گیری شود.

۱/۰ میلی‌گرم سلنیوم در کیلوگرم ماده خشک هستند (جزک و همکاران، ۲۰۱۱). این درحالی است که گیاهانی مانند سیر خوراکی و کلم بروکلی انباشت‌گر و یا بیش‌اندوز^۱ مناسبی برای سلنیوم محسوب می‌شوند (فینلی^۲، ۲۰۰۵). گزارش شده است که در خاک‌های غنی از سلنیوم^۳ در چین، گیاهان سیر توانستند تا ۷/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم را جذب و ذخیره نمایند (آگر^۴ و همکاران، ۲۰۰۴). در مطالعه دیگری میزان تجمع سلنیوم در گیاه سیر و در شرایط هیدروپونیک حداکثر به میزان ۱۱/۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک رسید (مونتس بایون^۵ و همکاران، ۲۰۰۶). این مقدار تجمع بالای سلنیوم در شرایط هیدروپونیک بیانگر کارایی بسیار بالای جذب در این شرایط نسبت به جذب خاکی و حتی محلول‌پاشی است. مطالعات متعدد اثر سیرهای دارای سلنیوم بالا روی کاهش تومور در حیوانات آزمایشگاهی را به اثبات رسانده‌اند (فینلی، ۲۰۰۵). سیرهای غنی شده با سلنیوم این عنصر را بیشتر به‌صورت ترکیب SeMSC^۶ ذخیره می‌کنند تا ترکیبات دیگر مانند SeMet^۷. فرض بر این است که اثر سلنیوم در

منابع

- سلمانی ندوشن م. ح.، عابدی م. و وکیلی م. ۱۳۹۲. سلنیوم و سلامتی انسان. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، ۲۱ (۱): ۱۰۱-۱۱۲.
- Agarwal, A., Prabakaran, S. A. and Said, T. M. 2005. Prevention of oxidative stress injury to sperm. *Journal of Andrology*, 26: 654-660.
- Arvy, M. P. 1993. Selenate and selenite uptake and translocation in bean plants (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Experimental Botany*, 44: 1083-1087.
- 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.
- Auger, J., Yang, W., Arnault, I., Pannier, F. and Potin-Gautier, M. 2004. High-performance liquid chromatographic inductively coupled plasma mass spectrometric evidence for Se-“alliins” in garlic and onion grown in Se-rich soil. *Journal of Chromatography A*, 1032: 103-107.
- Brown, T. A. and Shrift, A. 1982. Selenium: Toxicity and tolerance in higher plants. *Biological Review*, 57: 59-84.
- Bulska, E., Wysocka, I. A., Wierzbicka, M. H., Proost, K., Janssens, K. and Falkenberg, G. 2006. *In vivo* investigation of the distribution and the local speciation of selenium in *Allium cepa* by means of microscopic X-ray absorption near-edge structure spectroscopy and confocal microscopic X-ray fluorescence analysis. *Analytical Chemistry*, 78: 7616-7624.
- Burk, R. F. and Hill, K. E. 2009. Selenoprotein P-expression, functions and role in mammal. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1790: 1441-1447.
- Burnell, J. N. 1981. Selenium metabolism in *Neptunia amplexicaulis*. *Plant Physiology*, 67: 317-324.
- Cartes, P., Gianfreda, L. and Mora, M. L. 2005. Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. *Plant and Soil*, 276: 359-367.
- Carvalho, K. M., Gallardo-Williams, M. T., Benson, R. F. and Martin, D. F. 2003. Effects of selenium supplementation on four agricultural crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 704-709.

1. Accumulator
2. Finley
3. Seleniferous soils
4. Auger
5. Montes-Bayon
6. Se-methyl selenocysteine
7. Selenomethionine

8. Methyl selenol
9. Ip
10. Orero-Iserte
11. Reid

- Cavallo, F., Gerber, M., Marubini, E., Richardson, S., Barbieri, A., Costa, A., DeCarli, A. and Pujol, H. 1991. Zinc and copper in breast cancer. A joint study in northern Italy and southern France. *Cancer*, 67: 738-45.
- Chen, C. C. and Sung, J. M. 2001. Priming bitter melon seeds with selenium solution enhanced germinability and antioxidative responses under sub-optimal temperature. *Physiologia Plantarum*, 111: 9-16.
- Cuderman, P., Kreft, I., Germ, M., Kovacevic, M. and Stibilj, V. 2008. Selenium species in selenium-enriched and drought-exposed potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 9114-9120.
- De Souza, M. P., Pilon-Smits, E. A. H., Lytle, C. M., Hwang, S. Tai, J., Honma, T. S. U., Yeh, L. and Terry, N. 1998. Rate-limiting steps in selenium assimilation and volatilization by Indian mustard. *Plant Physiology*, 117: 1487-1494.
- Dhillon, K. S. and Dhillon, S. K. 2003. Distribution and management of seleniferous soils. In *Advances in Agronomy*, Volume 79. Sparks, D. L. (ed.). Academic Press, San Diego, USA. Pp. 119-185.
- Djanaguiraman, M., Devi, D. D., Shanker, A. K., Sheeba, A. and Bangarusamy, U. 2005. Selenium -an antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant and Soil*, 272: 77-86.
- Duffield-Lillico, A. J., Dalkin, B. L., Reid, M. E., Turnbull, B. W., Slate, E. H., Jacobs, E. T., Marshall, J. R. and Clark, L. C. 2003. Selenium supplementation, baseline plasma selenium status and incidence of prostate cancer: an analysis of the complete treatment period of the nutritional prevention of cancer trial. *British Journal of Urology International*, 91: 608-612.
- Feng, R., Wei, C. and Tu, S. 2013. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany*, 87: 58-68.
- Ferri, T., Favero, G. and Frascioni, M. 2007. Selenium speciation in foods: preliminary results on potatoes. *Microchemical Journal*, 85: 222-227.
- Finley, J. W. 2005. Selenium accumulation in plant foods. *Nutrition Reviews*, 63: 196-202.
- Foyer, C. H., Descourvieres, P. and Kunert, K. J. 1994. Protection against oxygen radicals: an important defense mechanism studied in transgenic plants. *Plant, Cell and Environment*, 17: 507-523.
- Frankenberger, W. T. Jr. and Karlson, U. 1994. Microbiological volatilization of selenium from soils and sediments. In *Frankenberger, W. T. Jr. and Benson, S. (eds). Selenium in the Environment*. Marcel Dekker, New York. Pp. 369-387.
- Fu, L. H., Wang, X. F., Eyal, Y., She, Y. M., Donald, L. J., Standing, K. G. and Ben-Hayyim, G. 2002. A selenoprotein in the plant kingdom. Mass spectrometry confirms that an opal codon (UGA) encodes selenocysteine in *Chlamydomonas reinhardtii* glutathione peroxidase. *Journal of Biological Chemistry*, 277: 25983-25991.
- Garlston, C. L., Adrano, D. C. and Dixon, P. M. 1991. Effects of soil-applied selenium on the growth of selenium content of a forage species. *Journal of Environmental Quality*, 20: 363-268.
- Germ, M., Kreft, I. and Osvald, J. 2005. Influence of UV-B exclusion and selenium treatment on photochemical efficiency of photosystem II, yield and respiratory potential in pumpkins (*Cucurbita pepo*). *Plant Physiology and Biochemistry*, 43: 445-448.
- Germ, M., Stibilj, V., Osvald, J. and Kreft, I. 2007. Effect of selenium foliar application on chicory (*Cichorium intybus*). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 55: 795-798.
- Germ, M., Stibilj, V., Kreft, S., Gaberščik, A., Pajk, F. and Kreft, I. 2009. Selenium concentration in St. John's wort (*Hypericum perforatum*) herb after foliar spraying of young plants under different UV-B radiation levels. *Food Chemistry*, 117: 204-206.
- Gissel-Nielsen, G. 2002. Selenium. In *encyclopedia of soil science*. (Ed) Lal, R. Pp. 1476. M. Dekker Inc. School of Natural Resources. The Ohio State University Columbus, Ohio, USA.
- Ghosh, J. 2004. Rapid induction of apoptosis in prostate cancer cells by selenium: Reversal by metabolites of arachidonate 5-lipoxygenase. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 315: 624-35.
- Gupta, U. C., McRae, K. B. and Winter, K. A. 1988. Selenium enrichment of crops through foliar applications. *Canadian Journal of Soil Science*, 68: 519-526.
- Hang, Y., Shen, J. and Lin, T. 1999. Association between oxidative stress and changes of trace elements in patients with breast cancer. *Clinical Biochemistry*, 32: 131-6.
- Hanson, B., Garifullina, G. F., Lindholm, S. D., Wangeline, A., Ackley, A., Kramer, K., Norton, A. P., Lawrence, C. B. and Pilon-Smits, E. A. H. 2003. Selenium accumulation protects *Brassica juncea* from invertebrate herbivore and fungal infection. *New Phytologist*, 159: 416-469.
- Hanson, B., Lindholm, S. D., Loeffler, M. L. and Pilon-Smits, E. A. H. 2004. Selenium protects plants from phloem-feeding aphids due to both deterrence and toxicity. *New Phytologist*, 162: 655-662.
- Hartikainen, H. and Xue, I. 1999. The promotive effect of selenium on plant growth as triggered by ultraviolet radiation. *Journal of Environmental Quality*, 28: 1372-1375.
- Hartikainen, H., Xue, T. and Piironen, V. 2000. Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. *Plant and Soil*, 225: 193-200.
- Hawkes, W. C. and Hornbostel, L. 1996. Effect of dietary selenium on mood in health men living in an metabolic research unit. *Biological Psychiatry*, 39: 121-28.
- Helzlsouer, K. J., Huang, H. Y., Alberg, A. J., Hoffman, S., Burke, A., Norkus, E. P., Morris, J. S. and Comstock, G. W. 2000. Association between alphatocopherol, gamma-tocopherol, selenium and subsequent prostate cancer. *Journal of the National Cancer Institute*, 92: 2018-2023.
- Hlusek, J., Richter, R. and Rigerova, L. 2002. Sulphur in the nutrition and fertilization of vegetables. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, 11: 1383-1390.

- Hopper, J. L. and Parker, D. R. 1999. Plant availability of selenite and selenite as influenced by the competing ions phosphate and sulfate. *Plant and Soil*, 210: 199-207.
- Hu, Q., Xu, J. and Pang, G. 2003. Effect of selenium on the yield and quality of green tea leaves harvested in early spring. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51: 3379-81.
- Ip, C., Birringer, M., Block, E., Kotrebai, M., Tyson, J. F., Uden, P. C. and Lisk, D. J. 2000. Chemical speciation influences comparative activity of selenium- enriched garlic and yeast in mammary cancer prevention. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48: 2062-2070.
- Jezek, P., Hlusek, J., Losak, T., Juzl, M., Elzner, P., Kracmar, S., Bunka, F. and Martensson, A. 2011. Effect of foliar application of selenium on the content of Se-lected amino acids in potato tubers (*Solanum tuberosum*). *Plant, Soil Environment*, 57: 315-320.
- Kahakachchi, C., Boakye, H. T., Uden, P. C. and Tyson, J. F. 2004. Chromatographic speciation of anionic and neutral selenium compounds in Se-accumulating *Brassica juncea* (Indian mustard) and in selenized yeast. *Journal of Chromatography A*, 1054: 303-312.
- Keck, A. S. and Finley, J. W. 2006. Aqueous extracts of selenium-fertilized broccoli increase selenoprotein activity and inhibit DNA single-strand breaks, but decrease the activity of quinone reductase in Hepa 1c1c7 cells. *Food Chemistry Toxicology*, 44: 695-703.
- Konze, J. R., Schilling, N. and Kende, H. 1978. Enhancement of ethylene formation by selenoamino acids. *Plant Physiology*, 62: 397-401.
- Letavayova, L., Vlckova, V. and Brozmanova, J. 2006. Selenium: from cancer prevention to DNA damage. *Toxicology*, 227: 1-14.
- Lewis, B. G., Johnson, C. M. and Broyer, T. C. 1974. Volatile selenium in higher plants. The production of dimethyl selenide in cabbage leaves by enzymatic cleavage of Se-methyl selenomethionine selenium salt. *Plant and Soil*, 40: 107-118.
- Lyons, G. H., Stangoulis, J. C. R. and Graham, R. D. 2005a. Tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) to high soil and solution selenium levels. *Plant and Soil*, 270: 179-188.
- Lyons, G., Ortiz-Monasterio, I., Stangoulis, J. and Graham, R. 2005b. Selenium concentration in wheat grain: Is there sufficient genotypic variation to use in breeding? *Plant and Soil*, 269: 369-380.
- Mark, S. D., Qiao, Y. L., Dawsey, S. M., Wu, Y. P., Katki, H., Gunter, E. W., Fraumeni, J. F., Blot, W. J., Dong, Z. W. and Taylor, P. R. 2000. Prospective study of serum selenium levels and incident esophageal and gastric cancers. *Journal of the National Cancer Institute*, 92: 1753-1763.
- Medina, D., Thompson, H., Ganther, H. and IP, C. 2001. Se-methylseleno cysteine: A new compound for chemoprevention of breast cancer. *Nutrition and Cancer*, 40: 12-17.
- Mikkelsen, R. L., Haghnia, G. H. and Page, A. L. 1989. Factors affecting selenium accumulation by crop plants. In *Selenium in Agriculture and the Environment*. Jacobs, L. W. (ed). Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI. Pp. 65-93.
- Montes-Bayon, M., Molet, M. J. D., Gonz-alez, E. B. and Sanz-Medel, A. 2006. Evaluation of different sample extraction strategies for selenium determination in selenium-enriched plants (*Allium sativum* and *Brassica juncea*) and Se speciation by HPLC ICP-MS. *Talanta*, 68: 1287-1293.
- Munshi, C. B., Combs, G. F. Jr. and Mondy, N.I. 1990. Effect of selenium on the nitrogenous constituents of the potato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38: 2000-2002.
- Munshi, C. B. and Mondy, N. I. 1992. Glycoalkaloid and nitrate content of potatoes as affected by method of selenium application. *Biological Trace Elemental Research*, 33: 121-127.
- Nowak, J., Kaklewski, K. and Ligocki, M. 2004. Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 36: 1553-1558.
- Orero-Iserte, L., Roig-Navarro, A. F. and Hernandez, F. 2004. Simultaneous determination of arsenic and selenium species in phosphoric acid extracts of sediment samples by HPLC-ICP-MS. *Analytica Chimica Acta*, 527: 97-104.
- Olson, G. E., Winfrey, V. P., Hill, K. E. and Burk, R. F. 2004. Sequential development of flagellar defects in spermatids and epididymal spermatozoa of selenium-deficient rats. *Reproduction*, 127: 335-342.
- Padmaja, K., Prasad, D. K. K. and Prasad, A. R. K. 1989. Effect of selenium on chlorophyll biosynthesis in mung bean seedling. *Phytochemistry*, 28: 3321-3324.
- Patrick, L. 2004. Selenium biochemistry and cancer: a review of the literature. *Alternative Medicine Review*, 9: 239-258.
- 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: 66-76.
- Pilon-Smits, E. A. H., Hwang, S. B., Lytle, C. M., Zhu, Y. L., Tai, J. C., Bravo, R. C., Chen, Y. C., Leustek, T. and Terry, N. 1999. Overexpression of ATP sulfurylase in Indian mustard leads to increased selenate uptake, reduction, and tolerance. *Plant Physiology*, 119: 123-132.
- Poldma, P., Tonutare, T., Viitak, A., Luik, A. and Moor, U. 2011. Effect of selenium treatment on mineral nutrition, bulb size and antioxidant properties of garlic (*Allium sativum*). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 59: 5498-5503.
- Poldma, P., Moor, U., Tõnutare, T., Herodes, K. and Rebane, R. 2013. Selenium treatment under field conditions affects mineral nutrition, yield and antioxidant properties of bulb onion (*Allium cepa*). *Acta Scientiarum Polonorum*, 12: 167-181.
- Rayman, M. P. 2002. The argument for increasing selenium intake. *Proceedings of the Nutrition Society*, 61: 203-215.

- Reid, M. E., Stratton, M. S., Lillico, A. J., Fakih, M., Natarajan, R., Clark, L. C. and Marshal, J. R. 2004. A report of high-dose selenium supplementation: response and toxicities. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18: 69-74.
- Rotuck, J. T., Pope, A. L., Ganther, H. E., Swanson, A. B., Hafeman, D. G. and Hoekstra, W. G. 1973. Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science*, 179: 588-590.
- Scott, R., Macpherson, A., Yates, R. W., Hussain, B. and Dixon, J. 1998. The effect of oral selenium supplementation on human sperm motility. *British Journal of Urology*, 82: 76-80.
- Seppanen, M., Turakainen, M. and Hartikainen, H. 2003. Selenium effects on oxidative stress in potato. *Plant Science*, 165: 311-319.
- Singh, M., Singh, H. and Bhandari, D. K. 1980. Interaction of selenium and sulphur on the growth and chemical composition of raya. *Soil Science*, 129: 238-244.
- Smrkolj, P., Germ, M., Kreft, I. and Stibilj, V. 2006. Respiratory potential and Se compounds in pea (*Pisum sativum*) plants grown from Se-enriched seeds. *Journal of Experimental Botany*, 57: 3595-3600.
- Spallholz, J. E. and Hoffman, D. J. 2002. Selenium toxicity: cause and effects in aquatic birds. *Aquatic Toxicology*, 57: 27-37.
- Terry, N., Zayed, A. M., de Souza, M. P. and Tarun, A. S. 2000. Selenium in higher plants. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology*, 51: 401-432.
- Trelease, S. F. and Trelease, F. M. 1938. Selenium as a stimulating and possibly essential element for indicator plants. *American Journal of Botany*, 25: 372-380.
- Turakainen, M., Hartikainen, H. and Seppanen, M. M. 2004. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum*) growth and concentrations of soluble sugars and starch *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52: 5378-5382.
- Turakainen, M., Hartikainen, H., Ekholm, P. and Seppanen, M. M. 2006. Distribution of selenium in different biochemical fractions and raw darkening degree of potato (*Solanum tuberosum*) tubers supplemented with selenate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 8617-8622.
- Turakainen, M. 2007. Selenium and its effects on growth, yield and tuber quality in potato. Academic dissertation, University of Helsinki, Finland, 50pp.
- Valkama, E., Kivimäenpää, M., Hartikainen, H. and Wulff, A. 2003. The combined effects of enhanced UV-B radiation and selenium on growth, chlorophyll fluorescence and ultrastructure in strawberry (*Fragaria ananassa*) and barley (*Hordeum vulgare*) treated in the field. *Agricultural and Forest Meteorology*, 120: 267-278.
- Vogrincic, M., Cuderman, P., Kreft, I. and Stibilj, V. 2009. Selenium and its species distribution in above-ground plant parts of selenium enriched Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Analytical Sciences*, 25: 1357-1363.
- Wei, W. Q., Abnet, C. C., Qiao, Y. L., Dawsey, S. M., Dong, Z. W., Sun, X. D., Fan, J. H., Gunter, E. W., Taylor, P. R. and Mark, S. D. 2004. Prospective study of serum selenium concentrations and esophageal and gastric cardia cancer, heart disease, stroke, and total death. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79: 80-85.
- Whanger, P. D. 2002. Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. *Journal of the American Collage and Nutrition*, 21: 223-232.
- White, P. J., Bowen, H. C., Parmaguru, P., Fritz, M., Spracklen, W. P., Spidy, R. E., Meachamn, 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 *Astragalus thaliana*. *Journal of Experimental Botany*, 55: 1927-1937.
- Xiaoqin, Y., Jianzhou, C. and Guangyin, W. 2009. Effects of drought stress and selenium supply on growth and physiological characteristics of wheat seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31: 1031-1036.
- Xue, T. and Hartikainen, H. 2000. Association of antioxidative enzymes with the synergic effect of selenium and UV irradiation in enhancing plant growth. *Agriculture and Food Science*, 9: 177-186.
- Xue, T., Hartikainen, H. and Piironen, V. 2001. Antioxidative and growth promoting effect of selenium in senescing lettuce. *Plant Soil*, 237: 55-61.
- Ylaranta, T. 1983. Effect of added selenite and selenate on the selenium content of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) in different soils. *Annales Agriculturae Fenniae*, 22: 139-151.
- Ylaranta, T. 1985. Increasing the selenium content of cereals and grass crops in Finland. Academic dissertation, Agricultural Research Centre, Institute of Soil Science, Jokioinen. Yliopistopaino, Helsinki. 72 pp.
- Zayed, A. M., Lytle, C. M. and Terry, N. 1998. Accumulation and volatilization of different chemical species of selenium by plants. *Planta*, 206: 284-292.

Selenium Enrichment of Crops and Its Effect on Plant Physiology

Ghasemi*, K.

Abstract

The importance of selenium to human health is generally known. Based on the World Health Organization (WHO), an adult need about 50 μg Se per day. Unfortunately, most crops are poor with Se content that shed light on necessity of selenium enrichment of crops. Among vegetable crops, garlic and broccoli are considered as an excellent Se accumulator. Substitution of sulfuric amino acids by selenium amino acids (like: selenomethionine and selenocysteine) can disrupt biochemical reactions. High Se resistant plants can enter Se to non-protein amino acid compounds. Although the toxicity of Se in extra concentration for plants is clear, positive effects of low Se concentration on plant protection against abiotic stress, reactive oxygen species and activation of oxidative stress ameliorating systems have been reported. In human, the line between Se deficiency and toxicity is thin related to chemical form of Se. As a result of Se toxicity risk for human, before any crop enrichment plan, the average Se intake by individuals and Se content of soil must be carefully premeditated in different regions of the country.

Keywords: Selenat, Selenit, Antioxidant activity, Sulfuric amino acids, Selenium amino acids

*: Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari
Email: kamranghasemi63@gmail.com