



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



## راهکارهای افزایش انتقال سلیوم از خاک به گیاه جهت افزایش غنی‌سازی آن

محبوبه جلالی

گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

jalali.mah@lu.ac.ir

### چکیده

سلیوم یک عنصر ضروری است که نقش مهمی در تقویت سیستم ایمنی، حفاظت از سلولها در برابر آسیب‌های اکسیداتیو و تولید هورمون‌های تیروئیدی دارد. همپنین، سلیوم به سلامت قلب و کاهش خطر ابتلا به برخی بیماریها کمک می‌کند. منبع اصلی دریافت سلیوم برای انسان، گیاهان هستند و تأمین این عنصر برای گیاه نیز وابسته به موجودی و شکل‌های شیمیایی آن در خاک است. غنی‌سازی زیستی به عنوان رویکردی پایدار برای افزایش محتوای سلیوم در محصولات کشاورزی شناخته می‌شود و مهم‌ترین روش ارتقای وضعیت تغذیه‌ای انسان از طریق خاک و گیاه است. با این حال، سلیوم در خاک اغلب به شکل‌های معدنی یا آلی با زیست‌دسترس پذیری کم وجود دارد که توسط گیاهان به سختی جذب می‌شوند. بنابراین، افزایش انتقال سلیوم از خاک به گیاهان برای استفاده بهینه از سلیوم بسیار مهم است. در این مقاله، تجزیه و تحلیل جامعی از اشکال سلیوم در خاک ارائه داده شد. سپس مهم‌ترین راهکارهای افزایش جذب و انتقال سلیوم از خاک به گیاهان بررسی و جمع‌بندی شده است. این راهکارها شامل تنظیم پتانسیل ردوکس، مدیریت رطوبت خاک، تعدیل مقدار pH خاک، بهبود مواد آلی، بهینه‌سازی رقابت یونی، افزایش میکروارگانیسم‌های مفید و در نظر گرفتن هم‌افزایی بین ریزوسفر گیاه و خاک است.

**واژگان کلیدی:** اشکال سلیوم، غنی‌سازی زیستی، محصولات غنی‌شده با سلیوم، زیست‌دسترس‌پذیری سلیوم

### مقدمه

سلیوم یکی از عناصر غذایی ضروری برای انسان است که نقش مهمی در پیشگیری از بیماری‌ها و تقویت سیستم ایمنی دارد. هنگامی که مصرف سلیوم انسان مناسب باشد (۲۶-۳۴ میکروگرم در روز مطابق با توصیه غذایی برخی کشورها و حد ۵۵ میکروگرم در روز طبق استانداردهای ایران) می‌تواند ایمنی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و مقاومت در برابر آسیب‌های پراکسیداتیو را بهبود دهد (Mojadadi et al., 2021). با شناسایی خاک‌های غنی از سلیوم، استفاده از این خاک‌ها برای تولید محصولات کشاورزی غنی‌شده با سلیوم به یکی از محورهای مهم پژوهش و تغذیه تبدیل شد. امروزه شکل‌های شیمیایی سلیوم در خاک، میزان زیست‌دسترس‌پذیری آن و راهکارهای افزایش انتقال سلیوم از خاک به گیاه به مسائل کلیدی در مدیریت تغذیه‌ای و زیست‌محیطی تبدیل شده‌اند. بر اساس شواهد علمی، غنی‌سازی زیستی که از طریق مسیر خاک، گیاه و حیوان انجام می‌شود، ایمن‌ترین و پایدارترین روش برای تأمین سلیوم مورد نیاز انسان به شمار می‌آید. هدف این مقاله بررسی اشکال مختلف سلیوم در خاک و مرور مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی و زیستی برای افزایش انتقال آن از خاک به گیاهان با رویکرد غنی‌سازی زیستی است.

### الف- اشکال سلیوم در خاک

سلیوم موجود در خاک معمولاً به دو شکل طبقه‌بندی می‌شود که شامل ظرفیت اکسایش-کاهش آن و بر اساس اشکال استخراج می‌باشد. بر اساس ظرفیت شیمیایی، سلیوم را می‌توان به چهار شکل سلیید ((Se(-II))، سلیوم عنصری ((Se(0))، سلیت ((Se(IV))



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



و سلنات (Se(VI)) تقسیم کرد که در بین آنها سلنید و سلنیوم عنصری برای ریشه‌های گیاه چالش برانگیز هستند. با این حال، گیاهان می‌توانند هر دو شکل سلنیت و سلنات را جذب کنند. در خاک‌های اسیدی و خنثی، سلنیت شکل غالب سلنیوم است، در حالی که سلنات معمولاً در خاک‌های اکسید شده و قلیایی یافت می‌شود. در شرایط مناسب، سلنیوم می‌تواند بین اشکال ظرفیت مختلف تبدیل شود. بنابراین، تغییر در هر شرایطی ممکن است باعث تغییر در حالت ظرفیت سلنیوم شود و در نتیجه بر قابلیت دسترسی آن تأثیر بگذارد.

اشکال استخراج معمولاً شامل عصاره‌گیرهای شیمیایی مختلفی هستند، از این رو طبقه‌بندی‌های متعددی از اشکال سلنیوم پدیدار شده است. کاتر اشکال سلنیوم خاک را به چهار شکل طبقه‌بندی کرد که شامل سلنیوم جذب‌شده، سلنیوم متصل به اکسید آهن-منگنز، سلنیوم متصل به ماده آلی و سلنیوم متصل به کربنات می‌باشد (Cutter, 1985). کو و همکاران (۱۹۵۷) بر اساس تحقیقات گسترده، پیشنهاد کردند که سلنیوم خاک به پنج شکل محلول در آب، متصل به کربنات قابل تبادل، متصل به سولفید آلی، متصل به اکسید آهن-منگنز و سلنیوم باقیمانده عنصری قابل تقسیم است (Qu et al., 1997). با این حال، روش‌های استخراج شیمیایی ممکن است شکل ذاتی سلنیوم خاک را تغییر دهند، به این معنی که نتایج ممکن است واقعاً منعکس کننده وضعیت واقعی آنها نباشند.

ب- تبدیل اشکال سلنیوم در خاک

ظرفیت و شکل سلنیوم به دلیل جذب، تشکیل کمپلکس و معدنی شدن با مواد معدنی خاک، مواد آلی و میکروارگانیسم‌ها مستعد تغییر است. در میان اشکال سلنیوم خاک که بر اساس ظرفیت شیمیایی طبقه‌بندی می‌شوند، سلنیت‌ها که معمولاً در اغلب خاک‌ها ۴۰٪ از کل سلنیوم موجود را تشکیل می‌دهند، شکلی هستند که به راحتی توسط گیاهان جذب می‌شوند. با این حال، به دلیل خواص اکسیداتیو قوی و حلالیت آنها، سلنیت‌ها نیز می‌توانند به سرعت جذب و در خاک تثبیت شوند. سلنات‌ها، بیش‌ترین حالت ظرفیت سلنیوم که حدود ۱۰٪ از کل سلنیوم خاک را تشکیل می‌دهند، محلول در آب هستند و همچنین به راحتی توسط گیاهان جذب و استفاده می‌شوند. سلنیت‌ها معمولاً در خاک‌های اسیدی و خنثی و سلنات‌ها در خاک‌های قلیایی و شرایط اکسیداتیو غالب‌اند. سلنیوم عنصری و سلنیدها حدود ۲۵٪ از کل سلنیوم موجود در خاک را تشکیل می‌دهند که هر دو در آب نامحلول هستند و نمی‌توانند مستقیماً توسط گیاهان جذب شوند و سلنیوم آلی نیز ۲۵٪ را تشکیل می‌دهد (شکل ۱ الف).





**مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب**  
**Holistic and Smart Soil and Water Management**

**دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران**  
**College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran**



در شرایط کاهشی، سلیوم عمدتاً به صورت سلیت‌ها وجود دارد که با وجود تحرک کمتر در خاک، زیست‌فراهمی بیش‌تری دارند. بنابراین، سلیت‌ها توسط میکروارگانیسم‌ها و گیاهان به راحتی به اشکال آلی سلیوم تبدیل می‌شوند و در نتیجه تجمع بیولوژیکی سلیوم افزایش می‌یابد. در خاک‌هایی با شرایط کاهندگی شدید، سلیوم اغلب به فرم پایدار و نامحلول عنصری کاهش یافته یا به شدت در ذرات خاک تثبیت می‌شود و در نتیجه زیست‌فراهمی آن به طور چشمگیری محدود می‌گردد. پتانسیل اکسایش-کاهش خاک ممکن است توسط فرآیندهای طبیعی (مانند تغییرات فصلی در رطوبت و وقایع سیل) یا توسط اقدامات مدیریتی انسان (مانند آبیاری، زهکشی و افزودن مواد آلی) تغییر کند. این تغییرات مستقیماً بر شکل‌های شیمیایی سلیوم در خاک و میزان زیست‌فراهمی آن اثرگذار است.

**۲- مدیریت رطوبت خاک**

رطوبت خاک نقش مهمی در قابلیت دسترسی و پویایی سلیوم دارد و هم بر تحرک آن در خاک و هم بر جذب آن توسط گیاهان اثر می‌گذارد. مطالعات نشان داده است که سلیوم با افزایش سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی و بهبود رشد و عملکرد گیاه در شرایط کمبود آب خاک، از گیاهان برنج در برابر تنش کمبود آب محافظت می‌کند. علاوه بر این، هنگام انتقال خاک از شرایط خشک به مرطوب، میزان تبخیر سلیوم به شکل دی‌متیل سلید افزایش می‌یابد. محتوای رطوبت خاک مستقیماً بر انتشار دی‌متیل سلید به هوا تأثیر می‌گذارد (Feudis et al., 2019).

**۳- تعدیل مقدار pH**

سطح pH یکی از عوامل مهم مؤثر بر اشکال و تحرک سلیوم به شمار می‌رود. رفتار جذب و واجذب سلیوم به شدت تحت تأثیر pH خاک است؛ به گونه‌ای که در خاک‌های اسیدی، سلیوم بیشتری جذب و تثبیت می‌شود، در حالی که در خاک‌های قلیایی قابلیت جذب آن کاهش می‌یابد. این رابطه بین pH خاک و دینامیک جذب-واجذب سلیوم، اهمیت اسیدیته خاک را در تنظیم فراهمی زیستی سلیوم برای گیاهان برجسته می‌کند. در خاک‌هایی با pH بین ۳ تا ۷، سلیت‌ها هم به راحتی توسط گیاهان جذب می‌شوند و هم توسط کلئوئیدهای خاک تثبیت می‌شوند، بنابراین تنظیم pH در این محدوده می‌تواند فراهمی زیستی سلیوم را بهبود بخشد. در خاک‌هایی با pH بین ۸ تا ۱۲، سلیت‌ها شکل غالب هستند؛ با این حال، این ترکیبات به سرعت در خاک تثبیت شده و دسترسی گیاه به آن‌ها محدود می‌شود (Zhou et al., 2015).

**۴- بهبود مواد آلی**

مواد آلی خاک تأثیر دوگانه‌ای بر سلیوم دارند، در واقع از یک سو، سلیوم متصل به مواد آلی طی فرآیند معدنی شدن آزاد می‌شود و فراهمی زیستی آن را در خاک افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، مواد آلی می‌توانند سلیوم معدنی را به خود جذب کرده و پیوندهای آلی-سلیومی ایجاد کنند که قابلیت دسترسی آن برای گیاهان را کاهش می‌دهد که برتری هر یک از این اثرات به ترکیب مواد آلی موجود در خاک وابسته است. فراهمی زیستی سلیوم زمانی بیشتر است که سهم اسید فولویک در مواد آلی بر اسید هیومیک غلبه داشته باشد و برعکس، افزایش سهم اسید هیومیک موجب کاهش فراهمی زیستی سلیوم می‌شود. این یافته نشان می‌دهد که ترکیب مواد آلی خاک نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش یا کاهش جذب سلیوم توسط گیاهان دارد. افزون بر این، افزودن اصلاح‌کننده‌های آلی غنی از سلیوم، مانند بقایای کاه گندم، می‌تواند به طور معنی‌داری بر تبدیل گونه‌های سلیوم در خاک اثر بگذارد. معدنی شدن مواد آلی در خاک می‌تواند منجر به افزایش بخش‌های مختلف سلیوم شود، که نشان می‌دهد اصلاح‌کننده‌های آلی می‌توانند قابلیت دسترسی سلیوم در خاک را افزایش دهند و به جذب آن توسط گیاه کمک کنند (Wang et al., 2018).



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



۵- بهینه‌سازی رقابت یون‌ها

رقابت بین یون‌ها در خاک می‌تواند به طور قابل توجهی بر میزان دسترسی گیاهان به سلیوم تأثیر بگذارد. این امر عمدتاً به دلیل رقابت برای مکان‌های اتصال در ماتریس خاک است که بر جذب و تحرک سلیوم تأثیر می‌گذارد. وجود فسفر در خاک می‌تواند جذب هر دو فرم سلیت و سلنات را کاهش دهد، به ویژه سلیت که بیشترین تأثیرپذیری را دارد. این کاهش بیانگر آن است که فسفر با سلیوم بر سر مکان‌های جذب در خاک رقابت کرده و در نتیجه، دسترسی گیاهان به سلیوم محدود می‌شود. افزون بر فسفر، حضور آنیون‌هایی مانند سولفات و نیترات نیز می‌تواند جذب سلیوم توسط گیاهان را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. این آنیون‌ها با سلیوم برای مکان‌های جذب رقابت می‌کنند و منجر به کاهش جذب سلیوم می‌شوند. به طور خلاصه، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک از جمله پتانسیل اکسایش-کاهش، رطوبت خاک، مقدار pH، ماده آلی و یون‌ها، به طور قابل توجهی بر میزان دسترسی به سلیوم در خاک تأثیر می‌گذارند و جذب آن توسط گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به طور کلی، برهم‌کنش بین سلیوم و عوامل فیزیکوشیمیایی خاک شامل مکانیسم‌های پیچیده‌ای است که می‌تواند به تثبیت یا آزادسازی سلیوم منجر شود. این امر اهمیت مدیریت صحیح شرایط خاک برای بهینه‌سازی فراهمی زیستی سلیوم را نشان می‌دهد (Hu et al., 2023).

۶- افزایش میکروارگانیسم‌های مفید

فعالیت‌های میکروبی نقش کلیدی در دسترسی و تبدیل اشکال مختلف سلیوم در خاک دارند و این فرآیندها نه تنها بر جذب سلیوم توسط گیاه، بلکه بر ساختار و ترکیب جامعه میکروبی خاک نیز اثرگذارند. نقش میکروارگانیسم‌ها در این زمینه ممکن است به گونه و یا گونه‌های سلیوم و فراهمی زیستی بستگی داشته باشد. بر اساس گزارش‌ها، گونه‌های باکتریایی مانند باسیلوس، انتروباکتر، پنی‌باسیلوس و سودوموناس توانایی تبدیل سلیوم را از طریق فرآیندهای متیلاسیون و نیز واکنش‌های اکسیداسیون-کاهش دارند (McNeal et al., 2015).

۷- بررسی هم‌افزایی بین ریزوسفر گیاه و خاک

ریشه و ریزوسفر گیاهان نقشی حیاتی در فعال‌سازی و افزایش فراهمی زیستی سلیوم در خاک ایفا می‌کنند. گیاهان از طریق جذب، تبدیل، تأثیر بر شیمی خاک و تعامل با جوامع میکروبی خاک، به طور قابل توجهی بر فعال‌سازی و فراهمی زیستی سلیوم در خاک تأثیر می‌گذارند. گیاهان سلیوم را از خاک جذب کرده و ضمن کاهش غلظت آن در محیط خاک، آن را به اشکال مختلف شیمیایی نیز تبدیل می‌کنند. پس از جذب، سلیوم اغلب به اشکال آلی در گیاه تبدیل می‌شود و بر فراهمی زیستی آن در اکوسیستم تأثیر می‌گذارد. به عنوان مثال، برخی از گیاهان می‌توانند سلیوم را تجمع داده و حتی آن را به اشکال با سمیت کمتر تبدیل کنند و بر چرخه سلیوم در سیستم خاک-گیاه تأثیر بگذارند. ترشحات ریشه گیاهان قادر است ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند pH را تغییر دهد و در نتیجه، بر حلالیت و تحرک سلیوم اثر بگذارد. تغییرات در شیمی خاک می‌تواند فراهمی سلیوم را برای گیاهان و سایر موجودات خاک افزایش یا کاهش دهد. گیاهان از طریق سیستم ریشه و مواد آلی که به خاک اضافه می‌کنند، بر جوامع میکروبی خاک تأثیر می‌گذارند. این جوامع نقش مهمی در چرخه بیوژئوشیمیایی سلیوم، از جمله فرآیندهای کاهش، اکسیداسیون و متیلاسیون آن دارند که می‌تواند شکل و فراهمی زیستی سلیوم را تغییر دهد. برخی گیاهان توانایی تجمع سطوح زیاد سلیوم را دارند، ویژگی‌ای که می‌تواند برای غنی‌سازی زیستی به منظور افزایش محتوای سلیوم در زنجیره غذایی یا برای گیاه‌پالایی به منظور پاکسازی خاک‌های آلوده به سلیوم مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، انتخاب گونه‌ها و ارقام گیاهی با توان زیاد در تجمع سلیوم



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress  
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران  
۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



می‌تواند رویکردی راهبردی برای مدیریت سطوح این عنصر در سامانه‌های کشاورزی و زیست‌محیطی باشد (Wells and Stolz, 2020).

### نتیجه‌گیری

چندین استراتژی برای بهبود جذب سلنیوم توسط گیاهان، از جمله بهینه‌سازی پتانسیل اکسایش-کاهش خاک، مدیریت رطوبت خاک، تنظیم سطح pH، افزایش مواد آلی و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید وجود دارد. همچنین، نقش رقابت یون‌ها در جذب سلنیوم به عنوان عاملی مؤثر بر افزایش غلظت این عنصر در محصولات کشاورزی مورد توجه قرار گرفت. پیچیدگی و تعامل این عوامل، نیاز به شیوه‌های کشاورزی یکپارچه متناسب با شرایط خاص خاک و محیط زیست را برجسته می‌کند. تحقیقات آینده باید بر توسعه رویکردهای جامعی که اثرات هم‌افزایی این استراتژی‌ها را در نظر می‌گیرند، بررسی کاربردهای میکروبی جدید و ادغام فناوری‌های پیشرفته برای درک بهتر پویایی سلنیوم در سیستم‌های خاک-گیاه تمرکز کند. با بهبود انتقال سلنیوم از خاک به گیاهان، می‌توان محصولات غنی از سلنیوم تولید کرد که به تغذیه و سلامت بهتر انسان کمک می‌کنند.

### فهرست منابع

- 1-Cutter, G.A. (1985). Determination of selenium speciation in biogenic particles and sediments. *Analytical Chemistry*, 57(14): 2951–2955.
- 2-Hu, C., Nie, Z., Shi, H., Peng, H., Li, G., Liu, H., Li, C., Liu, H. (2023). Selenium uptake, translocation, subcellular distribution and speciation in winter wheat in response to phosphorus application combined with three types of selenium fertilizer. *BMC Plant Biology*, 23(1), 224.
- 3- De Feudis, M., D'Amato, R., Businelli, D., & Guiducci, M. (2019). Fate of selenium in soil: A case study in a maize (*Zea mays* L.) field under two irrigation regimes and fertilized with sodium selenite. *Science of the Total Environment*, 659, 131-139.
- 4- McNeal, J.M., Balistrieri, L.S., Jacobs, L.W. (2015). *Geochemistry and Occurrence of Selenium: An Overview*. *Selenium Agric. Environ*, 23, 1–13.
- 5-Mojadadi, A., Au, A., Salah, W., Witting, P., Ahmad, G. (2021). Role for selenium in metabolic homeostasis and human reproduction. *Nutrients*, 13(9), 3256.
- 6-Qu, J.G., Xu, B.X., Gong, S.C. (1997). Sequential extraction techniques for determination of selenium speciation in soils and sediments. *Environmental chemistry*, 16(3), 277,283.
- 7-Wang, D., Dinh, Q., Thu, T., Zhou, F., Yang, W., Wang, M., Song, W., Liang, D. (2018). Effect of selenium-enriched organic material amendment on selenium fraction transformation and bioavailability in soil. *Chemosphere*, 199:417–26.
- 8- Wells, M., & Stolz, J. F. (2020). Microbial selenium metabolism: a brief history, biogeochemistry and ecophysiology. *FEMS Microbiology Ecology*, 96(12), fiae209.
- 9- Yadav, S., Sharma, S., Sharma, K. D., Dhansu, P., Devi, S., Preet, K., ... & Kumar, A. (2023). Selenium mediated alterations in physiology of wheat under different soil moisture levels. *Sustainability*, 15(3), 1771.
- 10- Zhou XinBin, Z. X., Yu ShuHui, Y. S., & Xie DeTi, X. D. (2015). Effects of pH and three kinds of anions on selenium absorption and desorption in purple soil.



19<sup>th</sup> Iranian Soil Science Congress  
02-04 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران  
۱۱ تا ۱۳ آذر ۱۴۰۴



مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



## Strategies to Enhance Selenium Transfer from Soil to Plants for Improved Biofortification

Mahboobeh Jalali

Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Email: jalali.mah@lu.ac.ir

### Abstract

Selenium (Se) is one of the essential trace elements for humans. Plants are the major source of Se for humans, whereas selenium in soils is the primary source for plants. Biofortification, referring to the transfer of Se from soil to plants and subsequently into the food chain, is currently recognized as the safest and most effective strategy for human Se supplementation. However, Se in soils predominantly exists in forms that are not readily available to plants; therefore, enhancing its transfer from soils to plants is crucial for improving Se utilization. In this paper, we provide a comprehensive analysis of the forms of Se in soils. We also summarize strategies aimed at enhancing Se transfer from soils to plants. These strategies include adjusting redox potential, managing soil moisture, modulating soil pH, improving organic matter, optimizing ion competition, promoting beneficial microbes, and considering the synergistic interactions between the plant rhizosphere and soil environment. Furthermore, we review Se speciation and metabolism within plants after uptake to provide a better understanding of its role in human health.

**Keywords:** Biofortification, Selenium-enriched products, Selenium forms, Selenium bioavailability, Rhizosphere interactions

چکیده انگلیسی و کلیدواژه ها، باید دقیقاً منطبق با چکیده فارسی باشند، بنابراین:

### Abstract

Selenium (Se) is one of the essential nutrients for humans. Plants are the main source of Se for humans, while soil Se is the primary source of Se for plants. Biofortification, which involves the transfer of Se from soil to plants and animals, is currently recognized as the safest and most effective method for increasing human Se intake. However, Se in soils mainly exists in forms that plants cannot easily utilize. Therefore, enhancing the transfer of Se from soil to plants is very important for its optimal use. In this paper, a comprehensive analysis of the forms of Se in soils is presented. Then, the strategies to enhance Se transfer from soil to plants are summarized. These strategies include adjusting redox potential, managing soil moisture, modulating soil pH, improving organic matter, optimizing ion competition, increasing beneficial microorganisms, and considering the synergistic interactions between the plant rhizosphere and the soil.

**Keywords:** Selenium forms, Biofortification, Selenium-enriched product, Selenium