اثر بکارگیری سلنیوم بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاه سویا(*Glycine max* L.)

نرگس اوراقی اردبیلی[1*] (نویسنده مسئول) naardebili@gmail.com، **سارا سعادتمند**[1]، **وحید نیکنام**[2]، **رمضانعلی خاوری نژاد**[1]

۱- گروه زیست شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. ۲- گروه زیست شناسی، دانشگاه تهران

چکیده

بر خلاف اکثر موجودات زنده، سلنیوم به عنوان عنصر ضروری در گیاهان شناخته نشده است. هدف از این تحقیق بررسی اثرات غلظت های مختلف سلنیوم بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاه سویا *Glycine max* L.) است. سلنیوم در ۳ سطح (0 , 25, 50mgl^{-1}) به صورت اسپری (۳ بار اسپری با فاصله ۷ روز) بکار برده شد. نتایج نشان داد که بکارگیری سلنیوم اثرات تحریکی معنی داری بر میزان فعالیت انزیم های انتی اکسیدان مانند کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در اندام های برگی داشته است. میزان پروتئین برگ و ریشه در غلظت های mgl^{-1} ۲۵و ۵۰ سلنیوم نسبت به شاهد به طور معنی داری افزایش یافت. میزان کلروفیل کل با افزایش میزان سلنیوم نسبت به شاهد افزایش یافت ولی این افزایش درغلظت $۲۵mgl^{-1}$ سلنیوم معنی دار نبود.همچنین بکارگیری سلنیوم در هر دو غلظت موجب افزایش معنی دار میزان قندهای احیا کننده در برگ شد. نتایج این تحقیق دلالت بر ان دارد که سلنیوم در غلظت های ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر می تواند موجب افزایش میزان پروتئین و کلروفیل و نیز القا فعالیت انزیم های انتی اکسیدان شده و از این طریق موجب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش های مختلف محیطی شود.

کلمات کلیدی: سلنیوم، سویا، آنزیم های آنتی اکسیدان، کلروفیل.

The effects of selenium utilization on metabolism of soybean plants (*Glycine max* L.)

***Narges Oraghi Ardebili*[1*], *Sara Saadatmand*[1], *Vahid Niknam*[2], *Ramezanali Khavari Nejad*[1]**

1. Department of Biology, Islamic Azad University, Science and Research branch, Tehran, Iran.
2. School of Biology, Center of Excellence in Phylogeny of Living Organisms, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Selenium has not been classified as an essential element for plants, in contrast to many other organisms. With the aim of evaluating the effects of different levels of selenium on metabolism in soybean plants (*Glycine max* L.), the present research was conducted. Selenium was foliarly applied in three levels (0, 25, 50mgl^{-1}), three times with week intervals. The results showed that the application of Se had significant enhancing impacts on antioxidant enzymes (ascorbate peroxidase and catalase) as well as protein in both root and leaf tissues, especially in the later one. The application of selenium resulted in the increased total chlorophyll contents with the highest amounts observed in Se50-treated plants. Similarly, the improved contents of reducing sugars were resulted from the foliar supplemented selenium. the obtained results from the current study indicated that the utilization of se at these levels had inducing effects on the activities of antioxidant enzymes, protein content and chlorophyll amounts, thereby improving the plant resistance against various abiotic stress conditions.

Keywords: Soybean, selenium, antioxidant enzymes, chlorophyll

مقدمه

سلنیوم مدت‌های طولانی به عنوان عنصر سمی شناخته می‌شد تا اینکه در سال ۱۹۵۷ بـه عنـوان عنصـر ضـروری برای انسان شناخته شـد (۲۲). سـلنیوم بـه عنـوان عنصـر ضروری برای گیاهان دسـته بنـدی نشـده اسـت، اگرچـه اثرات آن در برخی غلظت ها در تعدادی از گیاهـان مفیـد گزارش شده اسـت. گـزارش شـده اسـت کـه سـلنیوم در غلظت های کم به عنوان آنتی اکسـیدان و ممانعـت کننـده پراکسیداسیون لیپید عمل مـی کنـد (۱۱). تحقیـق دربـاره اثرات زیستی سـلنیوم روی محـیط و زنجیـره غـذایی بـه خاطر اینکه سلنیوم یک عنصر ضروری برای تعداد زیـادی از موجودات مثل انسان است، بیشتر شده اسـت (۲٦). در بعضی مناطق دنیا مثل چین، مصر و تایلنـد میـزان سـلنیوم خاک اندک است که باعث کمبود سلنیوم در رژیم غـذایی انسان می‌شود(۲٤). تکنولـوژی اخیـر بـا اسـتفاده از کـود سلنیوم به صورت اسپری برگی یا استعمال به خاک بـرای افـزایش محتـوی سـلنیوم در محصـولات کشـاورزی و همچنین برای کـاهش آسـیب‌هـای ایجـاد شـده از طریـق تـنش‌هـای مختلـف محیطـی اسـتفاده مـی‌شـود(٤و۲۲) . Pezzarossa و همکـاران (۲۰۱۲) مشـاهده کردنـد کـه $1mgl^{-1}$ سلنیوم که به صورت برگی یا میوه‌ای اسپری شد به طور معنـی داری سـطوح سـلنیوم را در هلـو و گلابـی افزایش داد(۲۱). سطوح مختلـف سـلنیوم اثـرات مفیـدی روی بعضـی گیاهـان داشـته اسـت (۷و۱٤). میـزان بهینـه سلنیوم سطح انواع اکسیژن فعال (ROS) را یا به صـورت مستقیم یا غیر مستقیم از طریق تنظیم آنتـی اکسـیدانت‌هـا کاهش می‌دهد، سلنیوم می‌تواند تولید و خاموشـی ROS راکنترل کند و تنظیم سطوح ROS بوسـیله سـلنیوم مـی-تواند مکانیسم کلیدی برای مقابله با تنش‌های محیطـی در گیاهان باشد (٦و۲۸و۲۹و۳۰و۱٦و۱۲). بکـارگیری سـلنیوم موجب افزایش فعالیت انزیم های انتـی اکسـیدان در گیـاه *Petris Vittatal* شد(۷). در برخی از گیاهـان گـزارش شده است که سلنیوم می تواند با القا تغییرات متابولیسـمی خاصی موجب افزایش مقاومت بـه برخـی از تـنش هـای فیزیکوشـیمیایی مثـل تـنش هـای خشـکی ،شـوری و UVشود(۹). لذا مطالعـه اثـرات سـلنیوم بـر گیاهـان از ۲ جنبه مختلف ۱- تغییر غلظت سلنیوم در گیـاه بـه منظـور تولید گیاهان غنـی شـده بـا سـلنیوم و ۲- اثـر بکـارگیری سلنیوم بر رشد، نمو، کمیت و کیفیت محصـول و افـزایش مقاومت به تنش ها اهمیت دارد.

سویا یکی از مهمترین محصولات کشـاورزی اسـت. سویا تامین کننده جهانی پروتئین و روغن است. بنـابراین بااضافه کردن سلنیوم می تـوان نیـاز انسـان بـه سـلنیوم را تامین کرد(۱۵). **هدف از این تحقیق بررسی اثرات احتمـالی بکـارگیری غلظـت هـای مختلـف سـلنیوم بـر پارامترهـای فیزیولوژیک گیاه سویا است.**

مواد و روش ها

کاشت بذرها و نحوه اعمال تیمارها و زمان برداشت:

بذرهای سویا (*Glycine max* L.) رقم L17 از موسسه اصلاح بذر و نهال کرج تهیه شد. بذرها با محلول هیپوکلریت سدیم ۱٪ به مدت ۱۵ دقیقه ضد عفونی شدند. به منظور کشت از خاک مزرعه استفاده شد و مورد انالیز قرار گرفت (جدول ۱). باکتری ریزوبیوم از موسسه خاک و اب کرج تهیه شد. دانه ها با باکتری ریزوبیوم آغشته شدند و سپس به خاک منتقل شدند. پس از ۱ ماه که گیاهان به مرحله دو برگی رسیدند، تیمارها اعمال شد. تیمارها شامل : ۱) تیمار شاهد (C)، ۲) تیمار سلنیوم g $(Se2)$ ۵۰g l^{-1} ($(Se1)$ ۳) تیمار سلنیوم l^{-1} ۲۵ .محلول سلنیوم به برگ ها اسپری (۳ بار اسپری با فواصل ۷ روز) انجام شد. بعد از ۳۰ روز گیاهان برداشت شدند.

تهیه عصاره آنزیمی

یک گرم بافت تازه در ازت مایع پودر شد و با ۴cc-۱ بافر استخراج در هاون روی یخ سائیده شد و سپس عمل سـانتریفوژ در دمـای ۴ درجـه بـه مـدت ۲۰ دقیقـه در ۱۳۰۰۰rpm صورت گرفت. محلول رویی جمع آوری و به عنوان عصاره انزیمی استفاده شد. بـرای سـنجش پـروتئین از روش **برادفورد استفاده شد (۲).**

سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۱۷)

بررسی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز بر اساس میزان اکسیداسیون آسکوربات در ۲۹۰ نانومتر انجام شد. مخلوط واکنش به شرح زیر است: بافر فسفات پتاسیم ۵۰ mM (pH 7.0) + ۰.۵ mM آسکوربیک اسید + H_2O_2 ۱ mM + Na_2EDTA ۰.۱ mM . واکنش با افزودن عصاره آنزیمی آغاز شد. کاهش میزان جذب در ۲۹۰ نانومتر دردقیقه ثبت شده و در نهایت فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز برحسب تغییرات جذب نمونه ها در دقیقه به ازای هر گرم وزن تر گزارش شد.

سنجش فعالیت کاتالاز

به منظور سنجش فعالیت کاتالاز از روش Perreira (۲۰) استفاده شد. بررسی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با مطالعه کاهش مقدار H_2O_2 در ۲٤۰ nm به مدت یک دقیقه انجام می شود. مخلوط واکنش شامل بافر فسفات و ۲٤۰ mM H_2O_2 می باشد . فرایند با افزودن ۰/۱ میلی لیتر عصاره آنزیمی در حجم نهایی ۳ cc آغاز می گردد. میزان فعالیت آنزیم به صورت تغییرات جذب در دقیقه به ازای وزن تر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر سنجیده شد.

بررسی رنگدانه های فتوسنتزی

برای سنجش محتوای کلروفیل برگ ها از روش Arnon (۱) استفاده شد. استخراج از بافت های تازه با استفاده از استون ۸۰٪ انجام شد. برای محاسبه میزان کلروفیل جذب محلول ها در طول موج های ٦٤٥ ، ٦٦٣ نانومتر با استفاده از شاهد استون ۸۰٪ خوانده و از فرمول زیر محاسبه گردید.

$$Total\ Chl\ (\frac{\mu g}{ml}) = 20.2A645 + 8.02A663$$

تعیین میزان قندهای احیا کننده (۲۳)

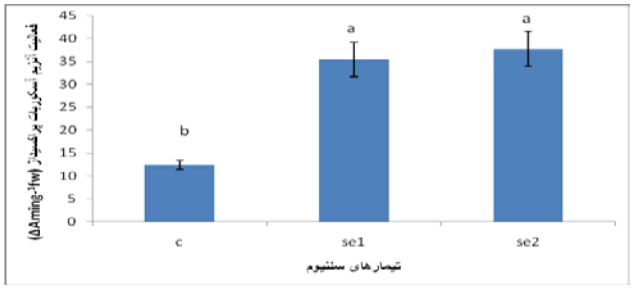
۰.۰۱ گرم وزن خشک گیاه را با ۱۵ میلی لیتر آب مقطر حرارت داده و پس از جوشیدن صاف شد. معرف سولفات مس و محلول فسفومولیبدیک تهیه شد. به ۲ میلی لیتر از هر یک از عصاره های تهیه شده، ۲ میلی لیتر محلول سولفات مس افزوده شد. سپس به مدت ۸ دقیقه در بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته شد. پس از سرد شدن، ۲ میلی لیتر محلول اسید فسفومولیبدیک ریخته شد و لوله ها به شدت تکان داده شد تا آبی رنگ شود. با استفاده از اسپکتروفتومتر شدت جذب در طول موج ٦۰۰ نانومتر تعیین گردید و با استفاده از منحنی استاندارد غلظت قندهای احیاء کننده محاسبه گردید.

آنالیز آماری

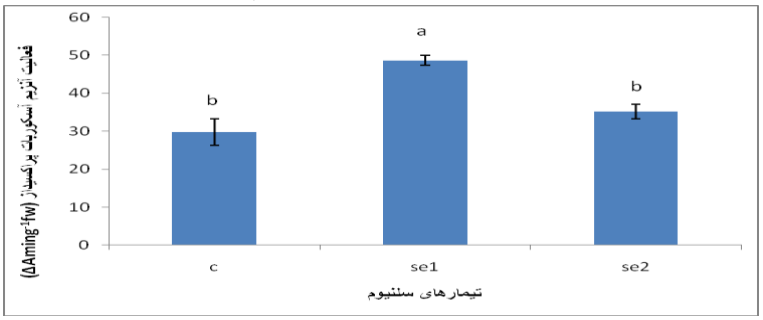
آنالیز اماری اطلاعات به صورت انالیز واریانس یک عاملی توسط نرم افزار SPSS انجام شد.

نتایج

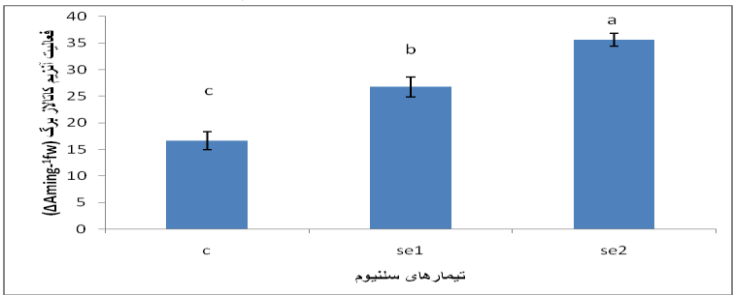
نتایج حاصل از سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز برگ نشان داد که فعالیت این آنزیم در نمونه های گروه های Se1(۳۵.٤۰ ±۳.۷۷) و Se2 (۳۷.۷۲ ±۳.۸۰) به مقدار معنی داری ($P>0.05$) بیشتر از نمونه های گروهشاهد(۱۲.۳۹ ±۰.۹۷) بود (شکل ۱). در صورتیکه در بررسی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز ریشه نشان داد که فعالیت آسکوربات پراکسیدازدر گروه Se1 (٤۸.٦٥ ±۱.۲٦) به طور معنی داری از دیگر گروه ها بالاتر بود (شکل ۲). نتایج نشان داد که میزان فعالیت آنزیم کاتالاز برگ با افزایش مقدار سلنیوم افزایش یافت (شکل ۳) در حالیکه فعالیت آنزیم کاتالازریشه با اضافه کردن سلنیوم نسبت به شاهد بدون تغییر باقی ماند(شکل ٤). میزان پروتئین برگ و ریشه در غلظت های ۲۵و ۵۰ mgl^{-1} سلنیوم نسبت به شاهد به طور معنی داری افزایش یافت(شکل ۵و٦). میزان کلروفیل کل با افزایش میزان سلنیوم نسبت به شاهد افزایش یافت ولی این افزایش درغلظت ۲۵ mgl^{-1} سلنیوم معنی دار نبود(شکل۷). همچنین میزان قندهای احیاکننده برگ در نمونه های گروه های Se1 و Se2 به مقدار معنی داری بیشتر از نمونه های گروه C بود (شکل ۸).



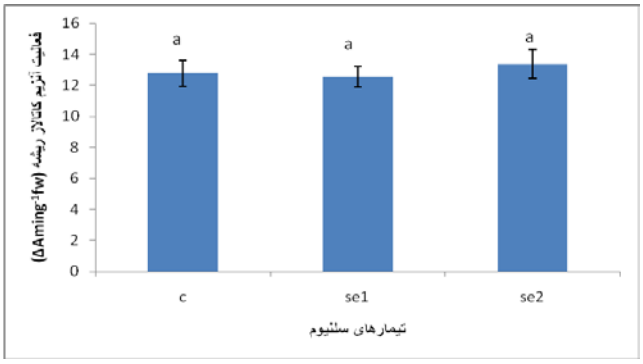
شکل ۱- اثر بکارگیری برگی غلظت های مختلف سلنیوم بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (X± SE) برگ.



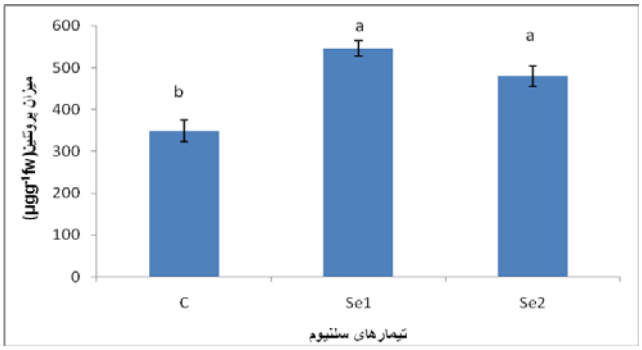
شکل ۲- اثر بکارگیری برگی غلظت های مختلف سلنیوم بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (X± SE) ریشه.



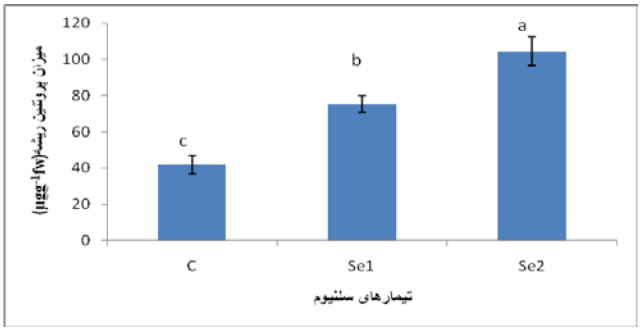
شکل ۳- اثر بکارگیری برگی غلظت های مختلف سلنیوم بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز(X± SE) برگ.



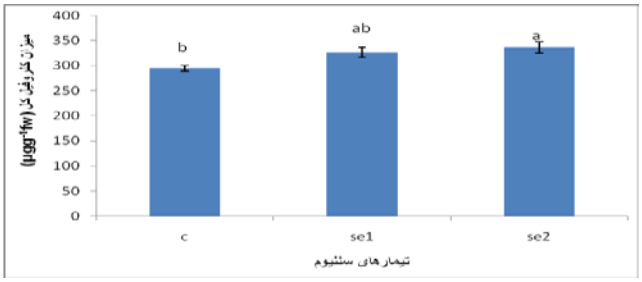
شکل ٤- اثر بکارگیری برگی غلظت های مختلف سلنیوم بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز(X± SE) ریشه.



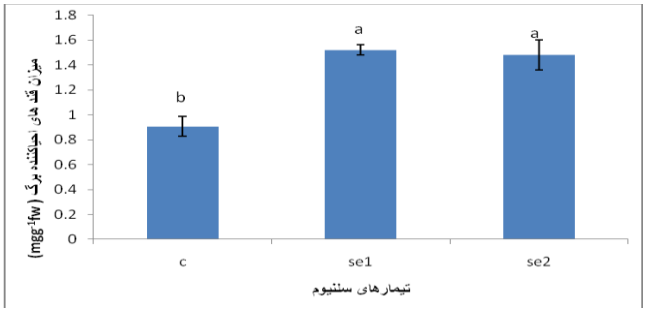
شکل٥- اثر بکارگیری برگی غلظت های مختلف سلنیوم بر محتوای پروتئین(X± SE) برگ.



شکل ٦- اثر بکارگیری برگی غلظت های مختلف سلنیوم بر محتوای پروتئین(X± SE) ریشه.



شکل ۷- اثر بکارگیری برگی غلظت های مختلف سلنیوم بر محتوای کلروفیل کل(X± SE).



شکل ۸- اثر بکارگیری برگی غلظت های مختلف سلنیوم بر میزان قندهای احیاکننده برگ (X± SE) ریشه.

بحث

نتایج حاصل از سنجش میزان پروتئین و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز برگ و ریشه و کاتالاز برگ نشان داد که فعالیت این آنزیم ها در نمونه های گروه های Se1 وSe2 نسبت به شاهد افزایش یافت. مشخص شده است که سلنیوم هنگامی که در غلظت های کم مورد استفاده قرار می گیرد، رشد و ظرفیت آنتی اکسیدانی هر دو گیاهان تک لپه و دو لپه را ترغیب می کند که نتایج ما موافق با نتایج دیگر تحقیقات در این زمینه است . (۱۰و۵). تحقیقات جدید نشان داده است که سلنیوم نه فقط قادر به رشد و نمو گیاه می باشد بلکه باعث افزایش مقاومت و ظرفیت آنتی اکسیدان های گیاهی در معرض تنش های مختلف می شود (۵و۱۹و۱۰). همچنین گیاهان تیمار شده با سلنات افزایش بیشتری در آنزیم های سم زدایی H_2O_2 به خصوص اسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون پراکسیداز را نشان می دهند (۵و۱۹و۱۰). Nowakو همکاران ((2004تغییر در فعالیت آنزیم های اکسیدوردوکتاز را در پاسخ به اضافه کردن سلنیوم در گیاهان گندم مشاهده کردند (۱۸). همچنین آزمایشات گلخانه ای افزایش در فعالیت هر دو کاتالاز و پراکسیداز را در گیاهان گندم تیمار شده با سلنیوم رانشان دادند (۱۰).

نتایج این تحقیق نشان داد که میزان کلروفیل کل و قندهای احیاکننده برگ در نمونه های گروه های Se1 وSe2 به مقدار معنی داری بیشتر از نمونه های گروه شاهد بود. البته این افزایش قندهای احیاکننده برگ می تواند ناشی از اثر افزایشی سلنیوم بر میزان رنگیزه های فتوسنتزی و نیز افزایش راندمان فتوسنتز باشد. Wang و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که در دانه رست‌های برنج *Oryza sativa* L.، مقادیر پایین سلنیوم فتوسنتز را

افزایش داد(۲۸). به علاوه در جو دوسر، کاربرد سلنیوم به طور معنی‌داری شدت فتوسنتز هدایت روزنه‌ای و شدت تنفس را افزایش داد (٦). تیمار سلنیوم شدت رشد را در گیاهان تحت تیمار شوری اصلاح کرده و موجب افزایش رنگیزه های فتوسنتزی و محتوای پرولین در برگ های گیاه خیار تحت تنش شوری شده است(۸و۱۳و٤و ۳۰و۲۷و١٦).که نتایج این تحقیق مبنی بر افزایش کلروفیل موافق با سایر نتایج در این زمینه است.همچنین تنظیم جذب و انتشار بعضی عناصر ضروری بوسیله سلنیوم مکانیسم اصلی برای باز فعال‌سازی آنتی اکسیدان‌های همراه، کاهش سطوح (ROS) و اصلاح مقاومت گیاهان به تنش می‌باشد (۲۵).در آزمایش مزرعه‌ای با $75mgm^{-2}$ سلنیوم (سطوح نسبتاً بالای سلنیوم)، جذب Fe بوسیله کاهو افزایش یافت (۲۵). بنابراین سلنیوم با اصلاح جذب مواد باعث افزایش آنتی اکسیدان ها و همچنین با افزایش جذب آهن باعث آفزایش محتوای کلروفیل می شود.

نتایج این تحقیق دلالت بر ان دارد که سلنیوم د ر غلظت های ۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر می تواند موجب تحریک فعالیت انزیم های انتی اکسیدان شده و از این طریق موجب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش های مختلف محیطی شود.

References

1. Arnon, D., 1949. Plant Physiology 24, 1-15.
2. Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein–dye binding. Anal Biochem. 72, 248-254.
3. Broadley, M.R., Alcock, J., Alford, J., Cartwright, P., Foot, I., Fairweather-Tait, S.J., Hart, D.J., Hurst, R., Knott, P., McGrath, S.P., Meacham, M.C., Norman, K., Mowat, H., Scott, P., Stroud, J.L., Tovey, M., Tucker, M., White, P.J., Young, S.D., Zhao, F.J., 2010. Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) byliquid or granular Se fertilisation. Plant and Soil. 332, 5–18.
4. Chu, J.Z., Yao, X.Q., Zhang, Z.N., 2010. Responses of wheat seedlings to exogenous selenium supply under cold stress. Biological Trace Element Research. 136 , 355–363.
5. Djanaguiraman, M., Devi, D.D., Shanker, A.K., Sheeba, J.A., Bangarusamy, U., 2005. Selenium – an antioxidative protectant in soybean during senescence. Plant and Soil. 272, 77–86.
6. Djanaguiraman, M., Prasad, P.V.V., Seppanen, M., 2010. Selenium protects sorghum leaves from oxidative damage under high temperature stress by enhancing antioxidant defense system. Plant Physiology and Biochemistry 48, 999–1007.
7. Feng, R.W., Wei, C.Y., 2012. Antioxidative mechanisms on selenium accumulation in *Pteris vittata* L., a potential selenium phytoremediation plant. Plant, Soil and Environment 58 , 105–110.
8. Filek, M., Zembala, M., Hartikainen, H., Miszalski, Z., Korna´s, A., Wietecka-Posłuszny, R., Walas, P., 2009. Changes in wheat plastid membrane properties induced by cadmium and selenium in presence/absence of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 96, 19–28.
9. Germ M, Stibilj V, Kreft I., 2007. Metabolic importance of selenium for plants. The European Journal of Plant Science and Biotechnology 1, 91-97.
10. Hartikainen, H., Xue, T., 1999. The promotive effect of selenium on plant growth as triggered by ultraviolet irradiation. Journal of Environmental Quality 28: 1372-1375.
11. Hartikainen, H., Xue, T., Piironen, V., 2000 Selenium as an antioxidant and prooxidant in ryegrass. Plant and Soil 225, 193-200.
12. Hasanuzzaman, M., Hossain, M.A., Fujita, M., 2011. Selenium-induced up-regulation of the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system reduces salinity-induced damage in rapeseed seedlings. Biological Trace Element Research 143, 1704–1721.
13. Hawrylak-Nowak, B., 2009. Beneficial effects of exogenous selenium in cucumber seedlings subjected to salt stress. Biological Trace Element Research 132, 259–269.
14. Kumar, M., Bijo, A.J., Baghel, R.S., Reddy, C.R.K., Jha, B., 2012. Selenium and Spermine alleviates cadmium induced toxicity in the red seaweed Gracilaria dura

by regulating antioxidant system and DNA methylation. Plant Physiology and Biochemistry 51, 129–138.

15. Luo, Q., Yu, B., Liu, Y., 2005. Differential sensitivity to chloride and sodium ions in seedlings of *Glycine max* and G. soja under NaCl stress. J Plant Physiol, 162,1003-1012.
16. Malik, J.A., Goel, S., Kaur, N., Sharma, S., Singh, I., Nayyar, H., 2012. Selenium antagonizes the toxic effects of arsenic on mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) plants by restricting its uptake and enhancing the antioxidative and detoxification mechanisms. Environmental and Experimental Botany 77, 242–248.
17. Nakano, Y., Asada, K., 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology. 22, 867–880.
18. Nowak, J., Kaklewski, K., Ligocki, M., 2004. Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and in plants. Soil Biol. Biochem., 36, 1553-1558.
19. Peng, X.L ., Liu, Y.Y. and Luo, S., 2002. Effects of selenium on lipid peroxidation and oxidizing ability of rice roots under ferrous stress. J. Northeast Agric. Univ 19, 9-15.
20. Pereira, G.J.G., Molina, S.M.G., Lea, P.J., Azevedo, R.A., 2002. Activity of antioxidant enzymes in response to cadmium in Crotalaria juncea.. Plant Soil, 239, 123-132.
21. Pezzarossa, B., Remorini, D., Gentile, M.L., Massai, R., 2012. Effects of foliar and fruit addition of sodium selenate on selenium accumulation and fruit quality. Journal of the Science of Food and Agriculture 92, 781–786.
22. Schwarz, K., Foltz, C.M., 1957. Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. Journal of the American Chemical Society 70, 3292–3293.
23. Somogyi, N.J., 1957, Notes on sugar determination. J Biol Chem. 195, 19-23.
24. Tapiero, H., Townsend, D.M., Tew, K.D., 2003. The antioxidant role of selenium and seleno-compounds. Biomedicine and Pharmacotherapy 57 , 134–144.
25. Terry, N., Abadia, J., 1986. Function of iron in chloroplasts. Journal of Plant Nutrition 9, 609–646.
26. Terry, N., Zayed, A.M., de Souza, M.P., Tarun, A.S., 2000. Selenium in higher plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 51,401–432.
27. Wang, Z.J., Gao, Y.X., 2001 Biogeochemical cycling of selenium in Chinese environments. Appl. Geochem. 16, 1345–1351.
28. Yao, X.Q., Chu, J.Z., Wang, G.Y., 2009a. Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress. Biological Trace Element Research 130, 283–290.
29. Yao, X.Q., Chu, J.Z., Wang, G.Y., 2009b. Effects of drought stress and selenium supply on growth and physiological characteristics of wheat seedlings. Acta Physiologiae Plantarum 31, 1031–1036.
30. Yao, X., Chu, J., He, X., Ba, C., 2011. Protective role of selenium in wheat seedlings subjected to enhanced UV-B radiation. Russian Journal of Plant Physiology 58, 283–289.