



Original Article

The Effect of Nano Selenium and Sodium Selenate on Growth and Photosynthesis Parameters of Spinach (*Spinacia oleracea L.*) Virofly Variety

Mohammad Qasemi¹ , Mansoore Shamili^{*2} and Abdolmajid Mirzaalian Dastjerdi²

1 and 2 Msc Graduated and Associate Professor, respectively, Department of Horticultural Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

Extended Abstract

Introduction: Selenium is an essential element for humans and animals. Seleno-proteins contribute in antioxidant regulation, so the deficit leads to dysfunction of immune system. Plants, the main source of this element for mammals, absorb selenium from the soil. Nanotechnology, as a promising area of biology, has introduced stable particles as fertilizers. Foliar application of nano-selenium in plants has been involved in alternation of photosynthetic pathway and generation of secondary metabolites. Since selenium is one of the useful elements in plants (including spinach) and due to toxic effects of this element under high concentrations, in this study, the effects of bulk or nano forms of selenium were compared on spinach plants. The research aimed to compare foliar spraying of sodium selenate (5, 10 and 20 mg/L) with nano-selenium (5, 10 and 20 mg/L) on growth parameters, photosynthetic indices and selenium content in spinach.

Materials and Methods: The current study was carried out under greenhouse conditions in horticulture department, Hormozgan university, 2022. The experiment was designed as a completely randomized design. The spinach virofly variety was used. The treatments were included foliar spraying of drip irrigation with distilled water (control plants), sodium selenate (5, 10 and 20 mg/L) nano selenium (5, 10 and 20 mg/L). Growth parameters (including leaf number, leaf and root dry matter, plant and root length), photosynthetic indices (including intercellular CO₂, stomatal conductance, photosynthetic rate, transpiration rate, chlorophyll (a,b, total) and carotenoid contents) and selenium content were evaluated. The normality of the data was checked by the Shapiro-Wilk test. Tukey's test was used for mean comparisons ($P < 0.01, 0.05$). The data statistical analysis was performed by SAS Ver.9.4. Also, the figures were drawn using EXCEL 2016.

Results and Discussion: Based on the results of analysis of variance, the effect of treatment (nano selenium and sodium selenate) was significant on leaf dry matter, root dry matter, shoot length, root length and leaf number ($P < 0.05$). The effect of treatments was significant on carotenoids ($P < 0.01$), chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll ($P < 0.05$), leaf stomatal conductance, photosynthesis ($P < 0.01$), intracellular CO₂ concentration and transpiration ($P < 0.05$). Based on findings, root dry matter, shoot length, leaf number, total and chlorophyll a content, carotenoid, photosynthesis rate, intercellular carbon dioxide, stomatal conductance and leaf Se content improved 25.69, 54.78, 14.99, 23.11 and 8.86, 31.01, 222.39, 40.49, 132.25 and 26.31 %, respectively via enhancing the levels of both treatments, compared to the control. Despite recording the highest amount of leaf dry matter (25.69%), leaf number (30.67), intercellular CO₂ (476.46

Received: Sep. 21, 2024; Revised: Feb. 01, 2025; Accepted: Feb. 02, 2025; Published Online: Jun. 16, 2025.

* Corresponding Author: shamili@ut.ac.ir



$\mu\text{mol CO}_2/\text{mol}$) and stomatal conductance (0.072 mol water/m²/s) under 20 mg/L of sodium selenate, the maximum shoot length (21.67 cm), chlorophyll a and total (respectively, 18.11 and 23.95 mg/g FW), carotenoid (6.97 mg/g FW), photosynthesis rate (8.35 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) and Se content (0.25 mg/L) were observed under the 20 mg/L of nano-Se. In addition, leaf dry matter also indicated a similar trend. However, the highest leaf dry matter was observed at 10 ppm nano-Se. Finally, despite considering 20 mg/L Se (bulk or nano) as the most effective level in enhancing traits, this level did not show a significant difference with 10 mg/L level. Selenium improves plant growth and development by increasing photosynthesis rate, stomatal conductance, increasing electron transport chain activity, and decreasing transpiration rate. Selenium improves cell division in root tip meristem, but high levels lead to reduced cell division. Nanoparticles move to the roots via apoplast and symplast pathways and are ultimately transported to the leaves and stems via phloem and xylem. Nano selenium promotes plant growth by improving water status and increasing leaf strength. Low concentrations of selenium increase plant growth, possibly by increasing starch content in chloroplasts.

Conclusion: The selenium content of plants can be increased by soil fertilization, foliar application, hydroponic cultivation, aeroponic cultivation, and seed priming in a selenium-containing solution. Data obtained from the effect of selenium compounds on spinach Virofly variety, revealed that high concentrations of selenium in nano form had an ascending impact on shoot and root length, and in the form of sodium selenate on root dry matter and leaf number. The difference in the effect of different levels of treatments on the studied traits shows that each trait appears optimally under certain levels of treatments. The 10 mg/L of nano selenium treatment can be noted as the optimal level for boosting photosynthetic and growth traits of spinach. Nevertheless, the treatment type and optimal dosage require extensive experiments in different studies with diverse plant species.

Keywords: Chlorophyll a, chlorophyll b, Photosynthetic rate, Root dry matter, Selenium, Transpiration rate

How to Cite: Qasemi M., Shamili M., Mirzaalian Dastjerdi A. The Effect of Nano Selenium and Sodium Selenate on Growth and Photosynthesis Parameters of Spinach (*Spinacia oleracea* L.) Virofly Variety. *J. Crop Prod. Process.* 2025, 15(2), 1-18 (In Persian). DOI: [10.47176/jcpp.15.2.38342](https://doi.org/10.47176/jcpp.15.2.38342).





مقاله پژوهشی

اثر نانو سلینیوم و سلنات سدیم بر ویژگی‌های رشدی و فتوستزی گیاه اسفناج رقم ویروفلای (*Spinacia oleracea L.*)

محمد قاسمی^{۱*}، منصوره شمیلی^۲ و عبدالمحیمد میرزا علیان دستجردی^۲

چکیده - گیاهان به عنوان بهترین منبع سلینیوم برای انسان‌ها و حیوانات، این عنصر را از خاک جذب و وارد زنجیره‌ی غذایی می‌کنند. نانوذرات سلینیوم، به عنوان نانوذرات پایدار، جهت استفاده به عنوان کودگیاهی معرفی شده‌اند. در تحقیق حاضر اثرات سلینیوم (به شکل بالک و نانو) بر ویژگی‌های رشدی و فتوستزی اسفناج در شرایط گلخانه مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا و تیمارها شامل محلول پاشی با نانو سلینیوم (۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر)، سلنات سدیم (۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) و آب مقطر (گیاهان کنترل) بود. بر اساس یافته‌ها ماده‌خشک ریشه، طول اندام هوایی، تعداد برگ، محتوی کلروفیل آ و کل، کاروتونوئید، نرخ فتوستز، دی‌اکسیدکربن بین‌سلولی، هدایت روزنامه‌ای و محتوی سلینیوم برگ توسط افزایش سطوح هر دو تیمار نسبت به تیمار شاهد (به ترتیب ۷/۲۵، ۷/۵۴، ۹/۱۴، ۷/۲۲، ۱۰/۳۱، ۸/۸۶ و ۵/۴۰، ۳۲/۱۳ و ۳/۲۶ درصد) افزایش نشان دادند. علی‌رغم ثبت بیشترین میزان ماده‌خشک برگ (۷/۲۵ درصد)، تعداد برگ (۷/۲۵) و مول آب در مترب معیار (۷/۰۰ مول آب در مترب معیار در ثانیه) و سلینیوم (۷/۰۰ میلی‌گرم در لیتر) تحت تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سدیم سلنات، حداقل طول مول، هدایت روزنامه‌ای (۷/۰۰ مول آب در مترب معیار در ثانیه) و سلینیوم (۷/۰۰ میلی‌گرم در لیتر) تحت تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سدیم سلنات، حداقل طول اندام هوایی (۷/۰۰ سانتی‌متر)، کلروفیل آ و کل (به ترتیب ۱/۱۸ و ۹۵/۲۳ میلی‌گرم در گرم وزن تازه)، کاروتونوئید (۹۷/۶ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) و نرخ فتوستز (۳۵/۸ میکرومول دی‌اکسیدکربن در مترب معیار در ثانیه) تحت تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانو سلینیوم مشاهده شد. علاوه بر این، ماده‌خشک برگ نیز روند مشابه نشان داد. با این حال، حداقل ماده‌خشک برگ تحت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانو سلینیوم (۶/۹۱ درصد) مشاهده شد. در نهایت، علی‌رغم مشاهده سطح ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سلینیوم (بالک یا نانو) به عنوان موثرترین سطح در بهبود صفات، این سطح با غالظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر سلینیوم تفاوت معنی‌داری نشان نداد. لذا می‌توان سطح ۱۰ میلی‌گرم در لیتر این تیمار را به عنوان سطح بهینه جهت بهبود صفات فتوستزی و رشدی گیاه اسفناج عنوان نمود. با این وجود، نوع تیمار و دوز مصرفی بهینه در پژوهش‌های مختلف با گونه‌های گیاهی متنوع، نیاز به آزمایشات گسترش دارد.

واژه‌های کلیدی: سلینیوم، کلروفیل آ، کلروفیل ب، ماده‌خشک ریشه، نرخ تعرق، نرخ فتوستز.

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱، بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳، پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۴، اولین انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۲۶

۱ و ۲. به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم باگبانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

*: نویسنده مسئول، رایانame: shamili@ut.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. © ۱۴۰۳

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس

زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



مقدمه

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، افزایش سطح کلروفیل، تعادل مواد معدنی و بهبود مقاومت گیاه به تنش‌ها است (۳۸). همچنین این عنصر در حفظ ساختار و عملکرد سلول، القای رشد (ریشه و شاخساره)، بهبود وضعیت آب در گیاه و آسیمیلاسیون نیتروژن نقش دارد (۴۹). سلنیوم در غلظت‌های پائین رشد گیاه را تحریک و در غلظت‌های بالا به عنوان یک اکسیدان عمل کرده و عملکرد گیاه را کاهش می‌دهد (۴۸). تحقیقات نشان داده برشبدر سفید غلظت‌های بالا ۲۰ گرم در هکتار (۱۷)، در گاهان میزان ۴ میلی‌گرم در لیتر (۵۰) و در پیاز غلظت‌های بالای ۲ میلی‌گرم در لیتر از سلنات‌سدیم (۶) با بروز علائم سمت در گیاه و کاهش در رشد گیاه همراه بوده است. در تحقیق بر تباکو نانوسلنیوم (۵۰-۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر بازیابی ریشه تاثیرگذار بود. در حالی که در همین سلنات‌سدیم در همین غلظت تاثیری بازدارنده بر رشد ریشه داشت (۱۹). در مقایسه نانوسلنیوم و سلنات‌سدیم در گیاه جو نیز نانوسلنیوم بر رشد گیاهچه‌های برخواسته از بذر، اثربخشی بیشتری داشت (۳۰). در بیشتر مزارع کشاورزی مقادیر ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم (۴) یا مقادیر کمتر (۱۰-۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) توصیه شده است (۵). صرف نظر از اثرات مفید سلنیوم بر گیاهان، استفاده از این عنصر به عنوان کود می‌تواند منجر به ورود آن به زنجیره‌غذایی انسان و پستانداران شود (۶۸). کمبود سلنیوم منجر به اختلالات متابولیک مرتبط با اکسیداتیو مانند سرطان و دیابت می‌شود (۶۵). اگرچه سلنیوم یک ریزمغذی مهم برای انسان و سایر پستانداران است، اما در غلظت‌های بالا به دلیل ایجاد پیوند به جای گوگرد با اسیدهای آمینه، تغییر ساختار پروتئین‌ها و متعاقباً فعالیت آنزیم‌ها، سمیت ایجا می‌کند (۸). فرم نانوسلنیوم، به علت اندازه کوچک، تخلخل ذرات، مساحت سطح، واکنش‌پذیری و حرکت درون گیاه، مورد توجه قرار گرفته است (۱۰). لذا به علت فراهمی زیستی بالا و آلوگکی زیست محیطی کم، نانو سلنیوم به یک ماده محبوب در تحقیقات تغذیه گیاهان تبدیل شده است (۶۷).

فتوصیت تغییر کننده اصلی رشد و عملکرد گیاهان است و

فناوری نانو، کاربردهای نوپدیدی را در زمینه‌های مختلف علوم، از جمله کشاورزی بوجود آورده است (۳۵). از جمله کاربردهای وسیع این فناوری در بخش کشاورزی، افزایش تولید محصول، کاهش میزان مصرف کودها و سموم و افزایش مدت زمان نگهداری محصولات تولیدی هستند. نانو تکنولوژی این قابلیت را دارد که با استفاده از ابزارهای جدیدتر، توانمندی گیاهان را برای جذب عناصر و مواد غذایی افزایش دهد (۵۴).

سلنیوم یکی از ریزمغذی‌های فعال در ارگانیسم‌های زنده است که در خاک‌های قلیایی موجود است (۲۲). مقدار سلنیوم در خاک-ها، بسته به منطقه و نوع خاک، اغلب ۰/۱ تا ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است (۴۱). اهمیت بیولوژیکی سلنیوم به دلیل پیوند قوی آن با فلزات، اتصال کووالانسی با غیر فلزات و پایداری ساختار آن در حالات مختلف اکسیداسیون-احیا است (۲۵). به صورت سلناید (Sodium selenide)، سلنیوم عنصری، سلنایت (Sodium selenite)، سلنات (Sodium selenate)، دی‌میتل سلناید (Dimethyl selenite)، سلنوآمینواسید (AAAs) و سلنوپروتئین‌ها (Seleno protein) یافت شود (۵۸).

سلنیوم عمدها به شکل سلنات‌سدیم یا سلنیت‌سدیم از خاک توسط گیاهان جذب می‌شود که این دو شکل از لحاظ جذب و تحرک در گیاهان متفاوت هستند. سلنیت بیشتر جذب کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن موجود در خاک می‌شود، با این حال، زمانی که سلنیت جذب گیاه می‌شود به سرعت به ترکیبات کم‌تحرک در گیاه تبدیل می‌شود. نمک‌های سلنات، اما، بسیار محلول بوده و به آسانی جذب گیاه می‌شوند. به علاوه به دلیل تجمع سلنیت در ریشه و انتقال بیشتر سلنات به شاخه‌ها و همچنین جذب سریع‌تر سلنات نسبت به سلنیت، فرم سلنات در برنامه‌های کودی بیشتر توصیه می‌شود (۱۲).

نقش سلنیوم در پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاهان شامل فعال‌سازی

(۲۹). در آزمایشی میدانی در طول دو سال، کارایی سلنیت‌سدیم، سلنات‌سدیم، نانوذرات اکسیدروی و ترکیب آن‌ها بر برنج ارزیابی شد. همه ترکیبات سلنیوم از نظر سطح کلروفیل، فنول و پروتئین گیاه بهتر از شاهد عمل کردند. همچنین تیمارهای سلنیوم شاخص سطح برگ، سرعت رشد و عملکرد را افزایش داد (۲).

اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) با نام علمی (*Spinacia oleracea*) متعلق به خانواده Amaranthaceae می‌باشد (۴۲). این گیاه یکساله و روز بلند، جزء سبزی‌های برگی مهم فصل سرد (۴۲) بومی آسیای مرکزی و احتمالاً ایران بوده است (۳۷). اسفنای سرشار از ویتامین‌ها (گروه ب، آ و ث)، فولیک اسید، موادمعدنی و فیبرهای خوراکی است. در اسفنای آنزیم‌های جنتیوبیاز (*Gentibiose*), سلوبیاز (*Cellobiase*) و ماده‌ای به نام اسپیناسین (*Spinacine*) یافت می‌شود که ترشحات مربوط به هاضمه را تحریک می‌کند (۳). با توجه به جدید بودن کاربرد نانوکوودها در کشاورزی در کنار نیاز به مطالعه آثار سمیت قبل از مصرف و با توجه به نقش مفید سلنیوم در گیاهان و اثرات سمی و تنفسی آن در غاظت‌های بالا، در تحقیق حاضر بررسی اثرات سلنیوم (به دو شکل بالک و نانو) بر خصوصیات رشدی و فتوستزی گیاه اسفنای مورد توجه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در سال ۱۴۰۱ در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه هرمزگان به اجرا درآمد. بذر اسفنای هلنندی ویروفلای از شرکت فردین کشت تهیه گردید. سلنات‌سدیم (Na_2SeO_3) از شرکت مرک (Merck) تهیه شد. نانوکوود سلنیوم (SeNPs) مورد استفاده در این آزمایش از شرکت نانوسانی (NanoSany)، مشهد، ایران، خریداری شد. محدوده اندازه ذرات (Average size) ۴۵-۱۰ نانومتر، چگالی (Density) $3/89$ گرم بر سانتیمتر مکعب، شکل تقریباً کروی (Spherical)، پتانسیل زتا (Zeta potential)، میانگین

توانایی گیاه جهت حفظ و بهبود عملکرد فتوستز، برای متاپولسیم مناسب ضروری است. بدین‌منظور، گیاهان مکانیسم‌های فیزیولوژیک را برای حفظ فشار تورژسانس بافت‌ها و گشودگی روزنها برای حصول حداکثر کارایی فتوستزی اتخاذ می‌کنند (۶۰). بروز تنش از دو مسیر فتوستز را در برگ‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ اول، از طریق بستن روزنها و کاهش در غاظت دی‌اکسیدکربن در دسترنس سلول، دوم: از طریق تأثیر بر اجزای دستگاه فتوستزی از جمله رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتونئید (۱۱). در زمان بروز تنش، میزان هدایت روزنها کم می‌شود. این کاهش منجر به کاهش غاظت دی‌اکسیدکربن درون سلولی و نهایتاً، به دلیل کاهش غاظت دی‌اکسیدکربن مورد نیاز جهت کربوکسیلاتیون ریبولوز، باعث کاهش فتوستز خالص می‌شود. گیاه در این شرایط، با بستن روزنها و محدود کردن تعرق، کارایی مصرف آب و نرخ فتوستز را بهبود می‌بخشد (۲۱). لذا مطالعه پارامترهای مرتبط با تبادلات گازی (هدایت روزنها، سرعت تعرق، سرعت فتوستز و غاظت دی‌اکسیدکربن درون سلولی) و محتوای رنگدانه‌های فتوستزی می‌تواند شدت تنش وارد به گیاه و اکتشاف گیاه را ارزیابی کند.

طبق مطالعه فاروک و همکاران (۲۴)، کاربرد سلنیوم در ریشه برنج به‌طور قابل توجهی باعث افزایش سرعت فتوستز و تجمع زیست توده شد. سلنیوم همچنین میزان عناصر ضروری و اسیدهای آمینه را بهبود بخشید. در آزمایشی دیگر، ژنوتیپ‌های گلرنگ با تیمار سلنیوم بهبود قابل توجهی در ارتفاع بوته، تعداد بوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی داشتند و همچنین کیفیت روغن آن افزایش یافت. بیشترین مقدار با محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به دست آمد (۵۵). محلول‌پاشی با سلنیوم توانست به‌طور مؤثر وزن ۱۰۰ جوانه گیاه چای را افزایش داد. وزن ۱۰۰ جوانه به تدریج تا غاظت ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم افزایش و پس از آن کاهش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که با غاظت مناسب تیمار سلنیوم، عملکرد چای ممکن است تا حد زیادی افزایش یابد

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بستر خاکی مورد استفاده

هدایت الکتریکی دسی‌زیمنس بر متر	pH	مس میلی گرم بر کیلوگرم	آهن روی پتاسیم فسفر	منگنز درصد	کربن آلی درصد	نیتروژن کل ۰/۳۵		
۱/۲۱	۷/۸۶	۰/۹	۶/۱	۷/۹	۰/۸	۵۱۹	۶/۲۰	۰/۰۳

استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری و ثبت شد. تعداد برگ نیز شمارش شد.

به‌منظور سنجش کلروفیل (آ، ب، کل) و کاروتینوئید، نیم گرم برگ تازه در ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد و در تاریکی سائیده شد. سپس سانتریفیوژ (۱۰۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۵ دقیقه) و از مایع رویی برای قرائت کلروفیل و کاروتینوئید استفاده شد. جذب عصاره‌ها در سه طول موج ۶۶۳ (A₆₆₃)، ۶۴۵ (A₆₄₅) و ۴۷۰ (A₄₇₀) نانومتر توسط اسپکتروفوتومتر (CECIL- CE2501) قرائت شد. محتوای کلروفیل (آ، ب و کل) و کاروتینوئید از روابط یک تا چهار محاسبه شد (۹).

$$\text{Chl}_a (\text{mg g}^{-1}\text{FW}) = (12.25 \times A_{663}) - (2.79 \times A_{645}) \quad (1)$$

$$\text{Chl}_b (\text{mg g}^{-1}\text{FW}) = (21.21 \times A_{645}) - (5.1 \times A_{663}) \quad (2)$$

$$\text{Chl}_{\text{total}} (\text{mg g}^{-1}\text{FW}) = (20.21 \times A_{645}) + (8.02 \times A_{663}) \quad (3)$$

$$\text{Carotenoids } (\text{mg g}^{-1}\text{FW}) = ((1000 \times A_{470}) - (1.8 \times \text{Chl}_a) - (85.02 \times \text{Chl}_b)) / 198 \quad (4)$$

که در آنها chl_a، chl_b و chl_{total} به ترتیب معادل کلروفیل آ، کلروفیل ب، کلروفیل کل و کاروتینوئیدها بودند.

اندازه‌گیری شاخص‌های فتوسنتزی برگ (غلظت دی‌اکسیدکربن بین سلولی میکرومول دی‌اکسیدکربن در مول)، نرخ تعرق (میلی‌مول آب در مترمربع در ثانیه) هدایت روزنامه‌ای (مول آب در مترمربع در ثانیه) و نرخ فتوسنتز (میکرومول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه) در ۵ بوته که به‌طور تصادفی از هر کرت

زتا و شاخص پراکندگی (Polydispersity index) نانو ذره نیز به ترتیب ۴۱/۳۵، ۳۲/۸ و ۰/۵۶۵ mV بود.

بستر مورد استفاده برای کاشت بذور، ترکیب خاک با گچه، خاک برگ و ماسه (۱:۱:۱) بود (جدول ۱). گیاهان در دمای متوسط روزانه ۲ ± ۲۷ و دمای متوسط شباهه ۲ ± ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰ درصد کشت شدند. بذور در کرت‌هایی به ابعاد ۰/۰۸ × ۰/۰۸ مترمربع (فاصله کرت‌ها ۰/۵ متر) کشت شدند. در هر کرت سه ردیف، به عمق دو سانتی‌متر و با فاصله ۳۰ سانتی‌متر آماده شد که از حاشیه کرت، ۱۰ سانتی‌متر فاصله داشتند. پس از کاشت، آبیاری روزانه به روش قطره‌ای انجام گرفت. پس از سبز شدن بذرها آبیاری به‌طور متوسط هرسه روز یکبار تا مرحله چهار برگی انجام شد و پس از آن هر دو روز یکبار انجام شد. پس از ۳ هفت‌هه تنک انجام و در هر کرت ۱۸ بوته با فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر و بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر نگه داشته شد. گیاهچه‌های اسفناج کشت‌یافته در گلخانه در مرحله رشد رویشی مورد تیمار قرار گرفتند. تیمارها شامل محلول پاشی با نانو سلنیوم ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، سلنات سدیم ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) و آب مقطر (گیاهان کترل) بود. مرحله اول اعمال تیمارها، هشت هفته پس از سبز شدن بذور و مرحله دوم ۱۰ روز پس از مرحله اول بود. ده روز پس از محلول پاشی دوم، اندازه‌گیری صفات انجام شد (۵۹).

به‌منظور سنجش خشک برگ و ریشه، نمونه‌های برگ و ریشه توزین (ترازوی دیجیتالی ۰/۰۰۱ گرم) شدند. سپس در آون (۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۷۲ ساعت) خشک و سپس مجدداً توزین شده و صفت مذکور محاسبه شد. طول اندام هوایی و ریشه نیز با

جدول ۲. تجزیه واریانس تیمارهای اعمال شده بر مشخصه‌های رشدی در اسفناج رقم ویروفلاوی

میانگین مربعات							منابع تغیرات
تعداد برگ	طول ریشه	طول اندام هوایی	ماده خشک ریشه	ماده خشک برگ	درجه آزادی		
۳۴/۴*	۱۱/۰۲*	۱۲/۶*	۷/۵۲*	۴۰/۱*	۶	تیمار	
۳/۱۹	۵/۴۱	۴/۶۵	۲/۶۱	۱۰/۳	۱۴	خطا	
۲۳/۲	۲۱/۶	۲۱/۷	۱۳/۶	۲۳/۲		ضریب تغیرات	

*: معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد

فاکتورها شامل محلول پاشی با نانو سلنیوم (۵، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم در لیتر)، سلنات سدیم (۵، ۱۰ و ۲۰ میلی گرم در لیتر) و آب مقطر (گیاهان کتترل) بود. نرمال بودن داده‌ها با روش Shapiro-Wilk صورت گرفت. آزمون توکی برای مقایسه میانگین ($P < 0.01$, ۰.۰۵) انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها با نرم افزار SAS Ver.9.4 انجام شد. همچنین نمودارها با کمک برنامه EXCEL ۲۰۱۶ ترسیم شدند.

نتائج

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار (نانوسلنیوم و سلنات سدیم) بر ماده خشک برگ، ماده خشک ریشه، طول اندام هوایی، طول ریشه و تعداد برگ ($P < 0.05$) معنی دار شد (جدول ۲). اثر تیمارها بر کاروتینوئید ($P < 0.01$)، کلروفیل آ، کلروفیل ب، کلروفیل کل < 0.05 (P ، هدایت روزنها برگ، فتوستترز < 0.05)، غلظت CO_2 بین سلولی و تعرق ($P < 0.05$) معنی دار شد (جدول ۳).

ماده خشک برج و ریشه

سطوح پائین تیمارهای سلینیوم، با افزایش در ماده خشک برگ و سطوح بالاتر، با کاهش این صفت همراه بودند. گیاهان تیمار شده با نانوسلینیوم ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، نسبت به تیمار شاهد، ۵۶/۲ درصد افزایش در ماده خشک برگ را نشان دادند و بیشترین درصد ماده خشک برگ (۱۹/۶ درصد) متعلق به تیمار مذکور بود.

نتخاب شده بودند توسط دستگاه فتوستزتر مدل ADC (BioScientific Ltd, uk) در گلخانه انجام شد (۲۳).

سنجهش عنصر سلنیوم در برگ

نمونه‌های برگ شسته، برش‌های نازک زده و به مدت ۱ هفته در مجاورت هوا خشک شد. سپس، نمونه‌ها در آون (۴۵ درجه سانتی‌گراد، ۲ ساعت) خشک و پس از آن توسط آسیاب‌برقی پودر شدند. درادامه، به‌منظور هضم اسیدی، نیم گرم از هر نمونه به‌طور جداگانه توزین و به آن ۱۲/۵ میلی‌لیتر اسیدینتیریک غلیظ اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۲ ساعت در دمای آزمایشگاه انکوبه شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بر روی دستگاه گرمکن مجهز به همزن حرارت داده شد تا محلول شفافی حاصل شود. بعد از سرد شدن و عبور از کاغذ صافی و اتمن (۰/۶۵ میکرومتر)، محلول زیر صافی با آب دوبار تقطیر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سنجش عنصر سلنیوم توسط دستگاه طیف‌سنجدی نشری پلاسمای جفت‌شده القایی Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Agilent ۷۰۰ ساخت شرکت Spectrometry ICP-OES (آمریکا) انجام و مقدار آن بر حسب به ام‌گزارش شد (۱۶).

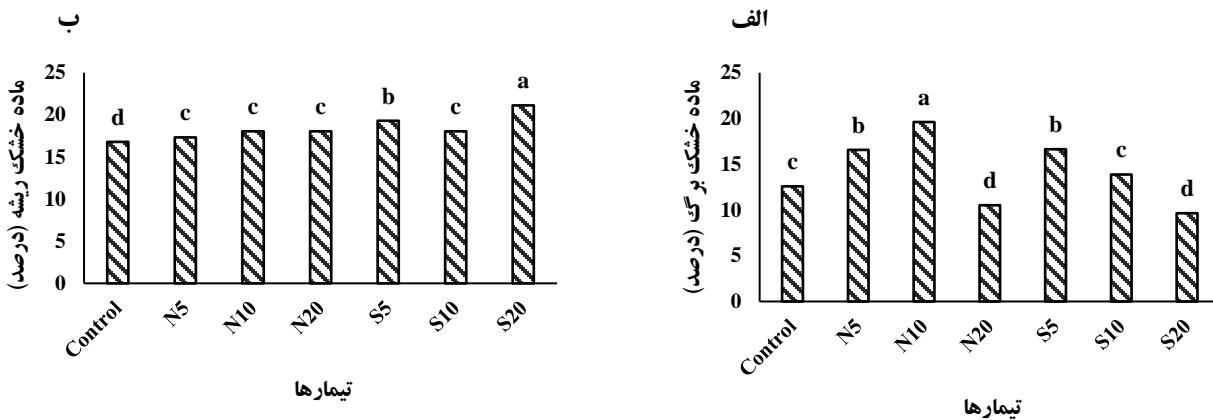
آماده‌ها، اکاوی

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد.

جدول ۳. تجزیه واریانس تیمارهای اعمال شده بر رنگدانه‌های فتوستزی و مشخصه‌های فتوستزی گیاه اسفناج رقم ویروفلای

میانگین مربوط										منابع	درجه آزادی	تغییرات
نرخ فوستز	هدایت روزنه ای	نرخ تعرق	CO ₂ درونی	غلاظت	کاروتینوئید	کلروفیل کل	کلروفیل ب	کلروفیل آ	تیمار	خطا	ضریب تغییرات	
۲۳/۹ **	۰/۰۰۰۵ **	۱/۰۰ *	۵۶۹۶۴ *	۲/۵ **	۲۰/۷ *	۸/۰ *	۱۰/۱ *	۶				
۰/۷	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۲	۲۲۹۰	۱/۸	۱۷/۱	۱/۶	۷/۹	۱۴				
۱۳/۲	۷/۶۱	۱۰/۶۴	۹/۵۱	۲۴/۱	۱۹/۷	۲۰/۰	۱۶/۷					

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد ***



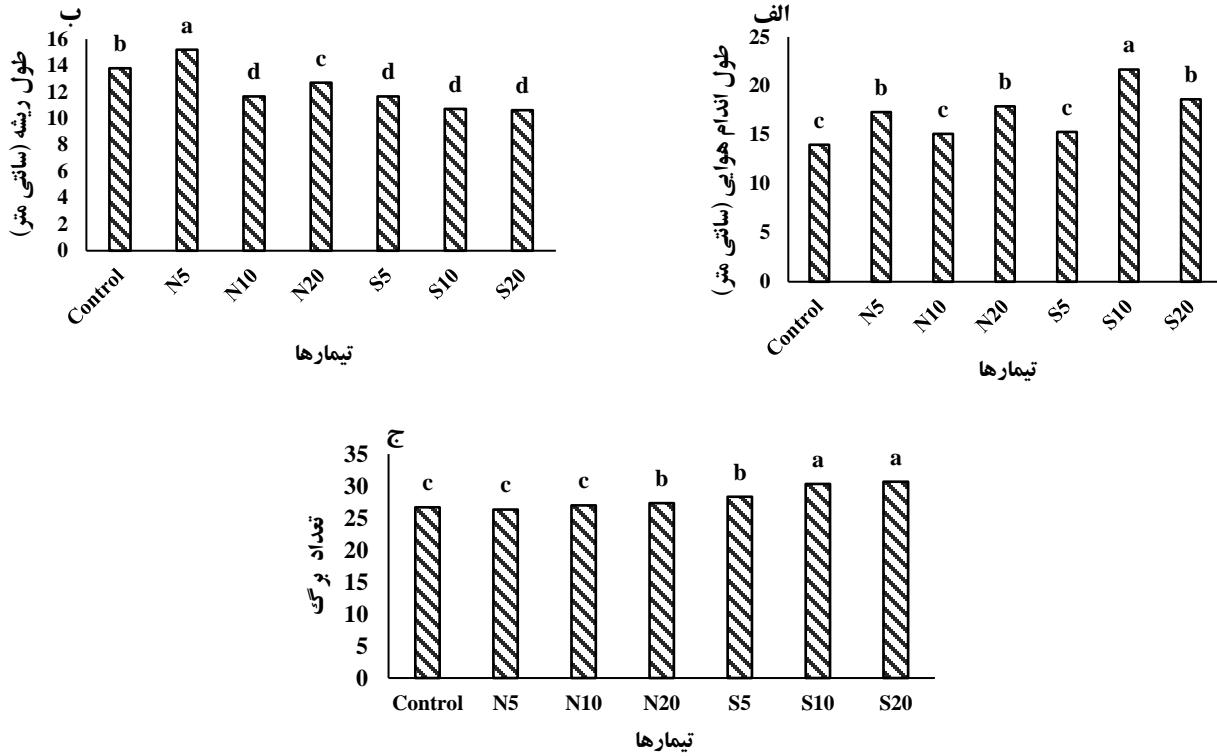
شکل ۱. اثر تیمارهای نانوسلنیوم و سلنات‌سدیم بر ماده خشک برگ (الف) و ریشه (ب) در اسفناج رقم ویروفلای.

Control، N5، N10، N20، S5، S10، S20 به ترتیب معرف تیمارهای کنترل، نانوسلنیوم ۵، ۱۰، ۲۰، سلنات‌سدیم ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر. مقادیر میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P < 0.05$) است.

بیشترین ماده خشک ریشه در تیمار سلنات‌سدیم (۲۰ میلی‌گرم در لیتر) با ۲۵/۷ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد، مشاهده شد. کمترین میزان نیز (۱۶/۸ درصد) به گیاهان تیمار شاهد تعلق داشت (شکل ۱ ب).

طول اندام هوایی، طول ریشه و تعداد برگ تیمار با هر دو ترکیب سلنیوم باعث افزایش طول اندام هوایی در گیاه اسفناج شد. بیشترین افزایش در بالاترین سطح نانوسلنیوم و

با این حال، اعمال تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسلنیوم، موجب کاهش ۱۶/۳ درصدی این صفت شد. همچنین سطوح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر سلنات‌سدیم به ترتیب موجب افزایش ۳۲/۵ و ۱۰/۵ درصدی در ماده خشک برگ شدند. در مقابل، کمترین میزان این صفت (۹/۶۴ درصد) در گیاهان تیمار شده با ۲۰ میلی‌گرم در لیتر از سلنات‌سدیم (با کاهش ۲۳/۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد) حاصل شد (شکل ۱ الف). نتایج حاکی از آن بود که ماده خشک ریشه اسفناج در تیمار با ترکیبات سلنیوم افزایش می‌یابد.

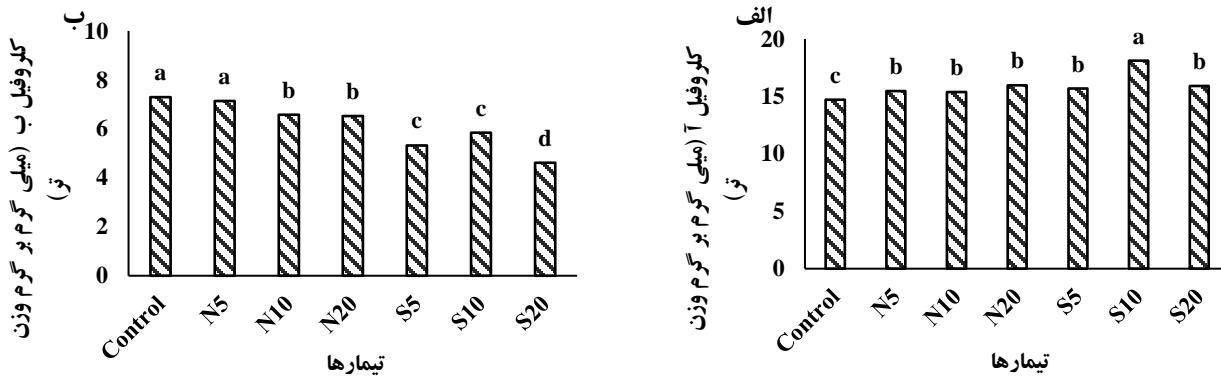


شکل ۲. اثر تیمار نانوسلنیوم و سلنات‌سدیم بر طول اندام هوایی (الف)، طول ریشه (ب) و تعداد برگ (ج) در اسفناج رقم ویروفلایی، Control، N5، N10، N20، S5، S10، S20 به ترتیب معرف تیمارهای کنترل، نانوسلنیوم ۵، ۱۰، ۲۰، سلنات‌سدیم ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P < 0.05$) است.

(۶) سانتی‌متر) در گیاهان تیمار شده با ۲۰ میلی‌گرم در لیتر از سلنات‌سدیم مشاهده شد (شکل ۲ ب). تیمارهای اعمال شده باعث روندی افزایشی در تعداد برگ اسفناج نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین تعداد برگ (۳۰/۷) در گیاهان تیمار شده با سلنات‌سدیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر (افزایش ۱۴/۹ درصدی نسبت به شاهد) مشاهده شد (شکل ۲ ج).

محتوای کلروفیل (آ، ب و کل) و کاروتینوئید با توجه به نتایج، محتوی کلروفیل آ در اسفناج در پاسخ به تیمارهای سلنیوم افزایش یافت. افزایش ۲۳/۱ و ۸/۰۲ درصدی در محتوی کلروفیل آ، به ترتیب در بالاترین سطوح نانوسلنیوم و سلنات‌سدیم

سلنات‌سدیم (به ترتیب ۵۴/۸ و ۳۳/۱ درصد افزایش نسبت به شاهد) به دست آمد. بیشترین و کمترین میزان طول اندام هوایی به ترتیب در گیاهان تیمار شده با ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسلنیوم (۲۱/۷ سانتی‌متر) و تیمار شاهد (۱۴ سانتی‌متر) مشاهده شد (شکل ۲ الف). بیشترین طول ریشه (۱۵/۲ سانتی‌متر) در تیمار گیاهان اسفناج با ۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسلنیوم (با افزایش ۱۰/۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد)، حاصل شد. در مقابل، افزایش سطوح نانوسلنیوم تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر موجب کاهش ۲۲/۲ درصدی طول ریشه، نسبت به تیمار شاهد، شد. علاوه بر این، افزایش غلظت‌های سلنات‌سدیم از ۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نیز موجب کاهش طول ریشه، نسبت به تیمار شاهد، شد. به طوریکه کمترین طول ریشه



شکل ۳. اثر تیمار نانوسلنیوم و سلنات‌سدیم بر کلروفیل آ (الف) و کلروفیل ب (ب) در اسفناج رقم ویروفلای

Control، N5، N10، N20، S5، S10 و S20 به ترتیب معرف تیمارهای کنترل، نانوسلنیوم ۵، ۱۰، ۲۰، سلنات‌سدیم ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر. مقادیر میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P < 0.05$) است.

با توجه به نتایج، کاروتینوئید برگ اسفناج در پاسخ به تیمارهای اعمال شده افزایش یافت و با رسیدن نانوسلنیوم و سلنات‌سدیم به بالاترین سطح خود، ۳۱/۰ و ۱۲/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد، افزایش یافت. بیشترین (۷/۹۷ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) و کمترین (۵/۳۲ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) محتوای کاروتینوئید برگ به ترتیب در گیاهان تیمار شده با ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسلنیوم و تیمار شاهد بدست آمد (شکل ۴ ب).

نرخ تعرق

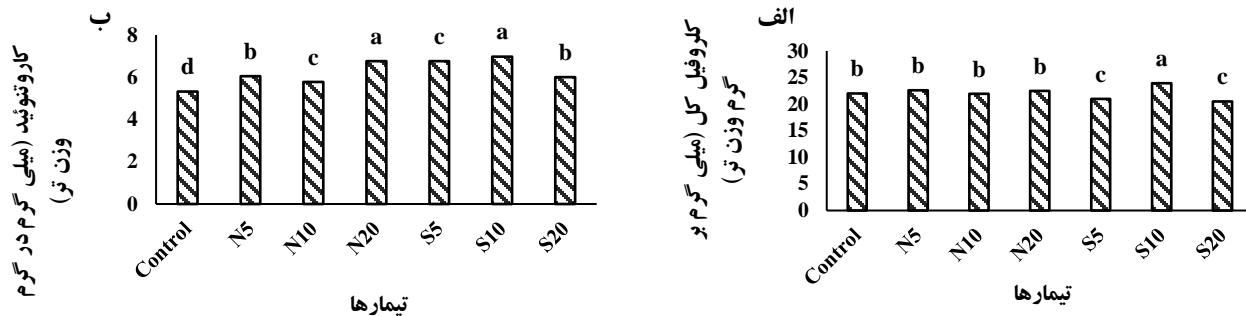
نتایج حاکی از کاهش نرخ تعرق در پاسخ به تیمارهای به کار رفته بود و کاهشی ۴۸/۷ و ۵۲/۵۸ درصدی (نسبت به تیمار شاهد) در نرخ تعرق در بالاترین سطح از نانوسلنیوم و سلنات‌سدیم مشاهده شد. کمترین نرخ تعرق (۱/۱۰ میلی‌مول آب در مترمربع در ثانیه) تحت تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سلنات‌سدیم و بیشترین مقدار (۲/۳۲ میلی‌مول آب در مترمربع در ثانیه) در تیمار شاهد ثبت شد (شکل ۵ الف).

نرخ فتوسترات

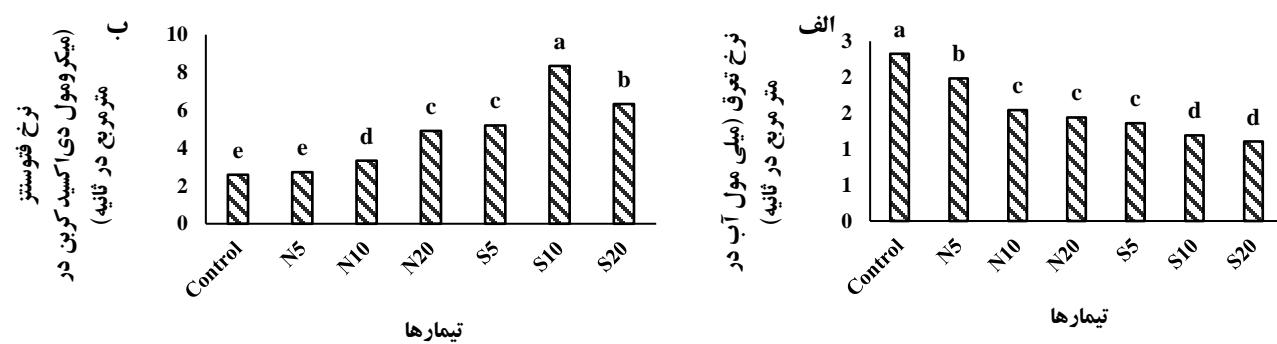
نتایج نشان داد که با افزایش سطوح هر دو تیمار نانوسلنیوم و

حاصل شد. کمترین محتوای کلروفیل آ به تیمار شاهد (۱۴/۷ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) و بیشترین مقدار آن به تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسلنیوم (۱۸/۱ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) تعلق داشت (شکل ۳ الف). با توجه به یافته‌ها، محتوای کلروفیل ب، اما، در پاسخ به تیمارهای به کار رفته کاهش یافت. کاهشی ۱۹/۹ و ۳۶/۶ درصدی (نسبت به تیمار شاهد) در محتوای کلروفیل ب در بالاترین سطح از تیمارهای نانوسلنیوم و سلنات‌سدیم یافت شد. تیمار شاهد حاوی بیشترین محتوای کلروفیل ب (۷/۳ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) و تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سلنات‌سدیم حاوی کمترین میزان این رنگدانه (۴/۶۲ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) بود (شکل ۳ ب).

محتوای کلروفیل کل روندی افزایشی نشان داد. با افزایش سطوح نانوسلنیوم تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، ۸/۸۶ درصد افزایش در محتوای این رنگدانه، نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین محتوای کلروفیل کل (۲۳/۹ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) متعلق به همین تیمار بود. در مقابل، با رسیدن میزان تیمار سلنات‌سدیم به ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، یک کاهش ۶/۷۷ درصدی در محتوای کلروفیل کل حاصل شد و کمترین میزان کلروفیل کل (۲۰/۵ میلی‌گرم در گرم وزن تازه) در این تیمار ثبت شد (شکل ۴ الف).



شکل ۴. اثر تیمار نانوسلنیوم و سلتات‌سدیم بر کلروفیل کل (الف) و کاروتینوئید (ب) در اسفناج رقم ویروفلای به ترتیب معرف تیمارهای کنترل، نانوسلنیوم ۵، ۱۰، ۲۰، سلتات‌سدیم ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر. مقادیر میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P < 0.05$) است.



شکل ۵. اثر تیمار نانوسلنیوم و سلتات‌سدیم بر نرخ تعرق (الف) و نرخ فتوستز (ب) در اسفناج رقم ویروفلای به ترتیب معرف تیمارهای کنترل، نانوسلنیوم ۵، ۱۰، ۲۰، سلتات‌سدیم ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر. مقادیر میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P < 0.05$) است.

با افزایش دی اکسید کربن بین سلولی همراه بود. در سطوح بالای نانوسلنیوم و سلتات‌سدیم، به ترتیب ۳۰/۱ و ۴۰/۵ درصد افزایش، در این مشخصه ثبت شد. به طوریکه بیشترین (۴۷۶) میکرومول دی اکسید کربن در مول و کمترین (۳۳۲) میکرومول دی اکسید کربن در مول) میزان صفت مذکور به ترتیب در تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سلتات‌سدیم و تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۶ الف).

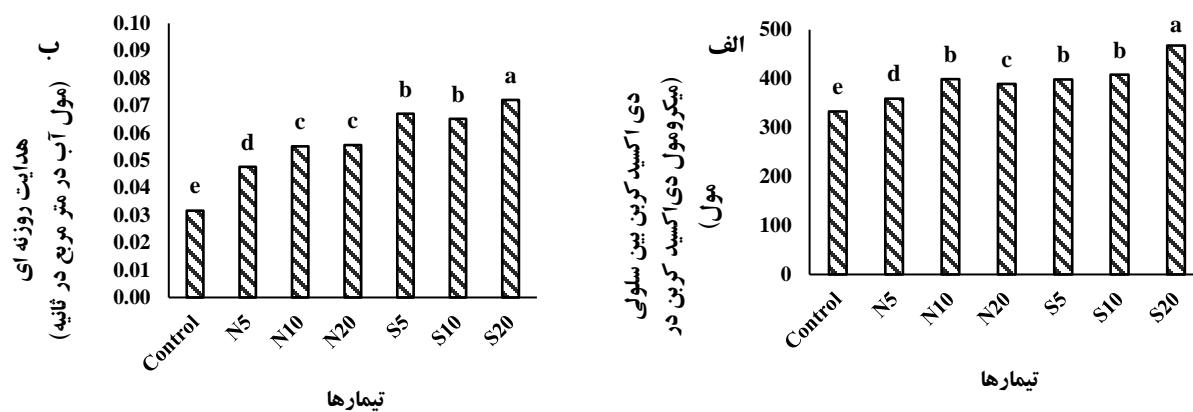
سلتات‌سدیم، نرخ فتوستز برگ افزایش می‌یابد که این افزایش به ترتیب ۲۲۲ و ۱۴۴ درصد بیشتر از تیمار شاهد، بود. کمترین نرخ فتوستز (۲/۵۹) میکرومول دی اکسید کربن در مترمربع در ثانیه تحت تیمار شاهد و بیشترین میزان (۸/۳۵) میکرومول دی اکسید کربن در مترمربع در ثانیه) تحت تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسلنیوم به دست آمد (شکل ۶ ب).

هدایت روزنه‌ای

نتایج مربوط به تغییرات هدایت روزنه‌ای برگ اسفناج، روندی

دی اکسید کربن بین سلولی

با توجه به یافته‌ها، تیمار گیاهان اسفناج با ترکیبات حاوی سلنیوم،



شکل ۶. اثر تیمار نانوسلنیوم و سلنات‌سدیم بر دی اکسید کربن بین سلولی (الف) و هدایت روزنه‌ای (ب) در اسفناج رقم ویروفلای به ترتیب معرف تیمارهای کنترل، نانوسلنیوم ۵، ۱۰، ۲۰، سلنات‌سدیم ۱۰، ۵ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P < 0.05$) است.

آمد (شکل ۷).

بحث

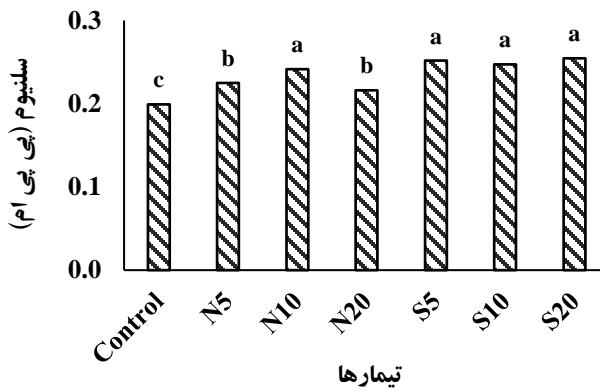
محتوای سلنیوم گیاهان می‌تواند توسط کوددهی خاکی، کاربرد برگی، کشت هیدروروپونیک، کشت آئروپونیک و پرایمینگ بذر در یک محلول حاوی سلنیوم افزایش یابد (۱۴). جذب سلنیوم توسط گیاهان و کارایی بیولوژیکی آن به طور نزدیکی با روش کاربرد خارجی سلنیوم، وضعیت کود حاوی سلنیوم، خصوصیات خاک و گونه گیاه مرتبط است (۶۴). کاربرد برگی سلنیوم موجب افزایش قابل توجه محتوای سلنیوم در شاهی (۳۹) و اسفناج (۴۵) شده است که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد.

سلنیوم رشد و نمو گیاه را از طریق افزایش در نرخ فتوسترنز، هدایت روزنه‌ای، افزایش فعلیت زنجیره انتقال الکترون و کاهش در نرخ تعرق بهبود می‌بخشد (۳۴). سلنیوم، تقسیم سلولی را در سلول‌های مریستمی نوک ریشه بهبود می‌بخشد، اما سطوح بالای آن منجر به کاهش تقسیم سلولی در این سلول‌ها می‌شود (۴۰). نانوذرات از طریق مسیرهای آپوپلاستی و سیمپلاستی به سمت ریشه حرکت و در نهایت از طریق آوند آبکش و چوب به برگ‌ها و

افزایشی در پاسخ به تیمارهای اعمال شده نشان داد. هدایت روزنه‌ای در بالاترین سطح نانوسلنیوم و سلنات‌سدیم، به ترتیب ۱۰۹ و ۱۳۲ درصد نسبت به تیمار شاهد، افزایش ایجاد کردند. به طوری که تیمار شاهد کمترین (۰/۰۳ مول آب در مترمربع در ثانیه) و تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سلنات‌سدیم بیشترین (۰/۰۷ مول آب در مترمربع در ثانیه) میزان هدایت روزنه‌ای را به خود اختصاص دادند (شکل ۶ ب).

محتوای سلنیوم

نتایج مربوط به محتوای سلنیوم برگ، حاکی از افزایش ۲۶/۳ درصدی این صفت نسبت به تیمار شاهد، در تیمار نانوسلنیوم ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بود. با اینکه کاربرد ۲۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسلنیوم نیز موجب افزایش سلنیوم برگ نسبت به تیمار شاهد شد، اما این افزایش، ۱۵/۸ درصد از سطح ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسلنیوم کمتر بود. تحت سطوح مختلف سلنات‌سدیم نیز افزایش میزان سلنیوم مشاهده شد. بیشترین محتوای سلنیوم (۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر) در گیاهان تیمار شده با ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سلنات‌سدیم و کمترین مقدار آن (۰/۱۹ میلی‌گرم در لیتر) در گیاهان تیمار شاهد به دست



شکل ۷. اثر تیمار نانوسلنیوم و سلنات‌سدیم بر محتوای سلنیوم برگ اسفناج رقم وبروفلای

به ترتیب معرف تیمارهای کنترل، نانوسلنیوم ۵، ۱۰، ۲۰، سلنات‌سدیم ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار با آزمون توکی ($P < 0.05$) است.

رنگدانه‌های مجموعه کلروفیل-پروتئین جذب می‌شوند و سپس به مرکز واکنش فتوسیستم II منتقل و تبدیل کوانتومی فرآیندهای فتوستزی رخ می‌دهد. افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز و تجزیه مولکول‌های کلروفیل، از جمله مهمترین عامل کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنفس هستند. کاروتوئیدها نقش اساسی در کمک به گیاهان برای ایجاد مقاومت در برابر شرایط تنفس را دارند. هنگامی که گیاه با شرایط تنفس مواجه می‌شود، تعادل بین دو مرحله زنجیره انتقال الکترونی و آسمیلاسیون دی‌اکسیدکربن به هم می‌خورد؛ درنتیجه انرژی مازاد باعث ایجاد گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود گیاه برای مقابله با این گونه‌های فعال، مجهر دو سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی است. کاروتوئیدها، از اجزای غیرآنزیمی سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه، می‌توانند کلروفیل‌ها و سایر اجزای ساختار فتوستزی را در برابر تنفس اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن حفظ کنند (۱۳). براساس نتایج این پژوهش، کاربرد سلنیوم، موجب افزایش کلروفیل‌آ، کلروفیل‌کل و کاروتوئید شد. کاربرد برگی سلنیوم (عنصری و نانو) موجب افزایش رنگدانه‌های فتوستزی در یونجه (۵۷) و کلزا (۵۱) شده که همسو با یافته‌های این تحقیق است. سلنیوم می‌تواند بیوسنتر کلروفیل را با کنترل بیوسنتر پورفیرین، تنظیم برهم‌کنش بین ۵-آمینو‌لولینیک اسید

ساقه‌ها منتقل می‌شوند (۶۳). نانوسلنیوم رشد گیاهان را توسط بهبود وضعیت آبی و افزایش استحکام برگ ارتقا می‌بخشد (۳۲). سلنات‌سدیم موجب افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه در گیاه نعنا فلسفی شده است (۳۱). محلول پاشی برگی با نانوذرات سلنیوم تعداد برگ و وزن تر ساقه را در گیاه نخود افزایش داده است (۲۰). مقایسه تغییرات گوجه فرنگی گلخانه‌ای تیمار شده با سلنیوم عنصری و نانوسلنیوم آشکار ساخت که سلنیوم عنصری بیشتر بر صفات رویشی، و نانوسلنیوم بیشتر بر تغییرات فتوستزی و آنتی‌اکسیدانی این گیاه تاثیرگذار بود (۱). بر اساس یافته‌های این تحقیق، تیمار با ترکیبات حاوی سلنیوم باعث افزایش ماده خشک برگ در اسفناج شد. غلظت‌های پایین سلنیوم، احتمالاً از راه افزایش میزان نشاسته در کلروفیل‌پلاست‌ها، رشد گیاه را افزایش می‌دهد (۲۸). البته یافته‌ها در گیاه اسفناج (۳۶) نشان داد که غلظت‌های بالای سلنیوم باعث کاهش ماده خشک برگ می‌شود که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. این کاهش زیست‌توده گیاه می‌تواند به دلیل اختلال در تنفس و جذب آب توسط گیاه باشد (۳۴).

کلروفیل از اجزای اصلی کلروفیل‌پلاست در فرآیند فتوستز است، لذا میزان نسبی کلروفیل، همبستگی مثبتی با نرخ سرعت فتوستز دارد. پرتوهای فعال فتوستزی در گیاه، توسط کلروفیل و سایر

پژوهش، سلنیوم موجب افزایش غلظت CO_2 بین سلولی، هدایت روزنه‌ای برگ و فتوستتر و کاهش تعرق شد. اثربخشی سلنیوم در بهبود عملکرد فتوستتر در تریچه (۷) مشهود بوده است. سلنیوم در غلظت‌های بهینه، رشد و نمو گیاه را از طریق افزایش تجمع قندها و نشاسته، تغییر در ویژگی‌های آناتومیک برگ و درنهایت افزایش کارایی فتوستتر افزایش می‌دهد (۵۳ و ۵۶). احتمالاً سلنیوم با افزایش اندازه فضای بین سلولی در مزووفیل، منجر به افزایش ضخامت برگ و زیست توده خشک می‌شود. درنتیجه سلنیوم با افزایش CO_2 بین سلولی، فتوستتر خالص را بهبود می‌بخشد (۶۱). علاوه بر این، سلنیوم می‌تواند هدایت روزنه‌ای را افزایش داده و ورود اکسیژن را تسهیل بخشد و این فرایند را تسريع کند (۳۳). کاربرد برگی سلنیوم از طریق حفظ تورژسانس و افزایش ویژگی‌های تبادل گاز و کارایی دستگاه آنتی‌اکسیدانی با کاهش در نرخ تعرق همراه بوده است (۴۷). البته غلظت‌های بالای سلنیوم موجب اختلال در عملکرد سیستم‌های فتوستتری می‌شود (۲۷). محلول‌پاشی با سلنیوم در گندم هدایت روزنه‌ای، شاخص پایداری غشاء و محتوا نسبی آب برگ را افزایش داده است (۱۸). افزایش در کارایی مصرف آب در کلزا (۴۴) تحت تیمار سلنیوم مشاهده شده است. تیمار با سلنیوم، CO_2 بین سلولی برگ را در گل صد- تومانی (۶۲) را افزایش داده است. کاهش تعرق در گیاهان اسفناج کشت شده احتمالاً به دلیل بالا بودن رطوبت نسبی گلخانه رخ داده است. از آنجا که در گلخانه‌ای با رطوبت نسبی بالا، گیاهان نیاز کمتری به از دست دادن آب از طریق تعرق دارند، بنابراین، گیاهان می‌توانند با باز نگه داشتن روزنه‌ها، بدون اینکه کمبود آب را تجربه کنند، به جذب دی‌اکسید کربن ادامه دهند (۱۵ و ۴۳).

نتیجه گیری کلی

اطلاعات حاصل از این پژوهش حاکی از اثرات مثبت سطوح بالای نانو سلنیوم بر صفات طول اندام هوایی، کلروفیل آ و کل، کاروتونوئید،

دھیدراتاز (5-aminolevulinic acid dehydratase) حاوی سولفیدریل و پورفوبلینوژن دامیناز (Porphobilinogen deaminase)، جلوگیری از تجزیه کلروفیل، جاروب کردن رادیکال‌های آزاد و در نهایت حفاظت کلروفیل از آسیب اکسیداتیو افزایش دهد (۶۵ و ۶۹). افزایش در محتوای کاروتونوئید تحت غلظت‌های بالای نانوذرات سلنیوم نشان‌دهنده این است که کاروتونوئید آنتی-اکسیدانی کارآمد است که رادیکال‌های پراؤکسیل و گونه‌های فعال اکسیژن را جاروب نموده و اجزای فتوستتری را در برابر اکسیداسیون نوری محافظت می‌کند (۶۲). همچنین همسو با تحقیقات ما، سلنات‌سدیم در غلظت‌های بالا منجر به کاهش محتوای کلروفیل ب در تباکو شده (۷۰) که ناشی از تاثیر سلنیوم بر ستز پورفوبلینوژن مورد نیاز برای بیوسنتر کلروفیل ب است (۵۲). اولین پاسخ اغلب گیاهان در هنگام وقوع تنفس، بستن روزنه‌ها برای کاهش تعرق است. این امر منجر به کاهش سرعت فتوستتر و غلظت دی‌اکسید کربن درون سلولی می‌شود. کاهش دسترسی به دی‌اکسید کربن در کلروپلاست، کاهش ظرفیت فتوستتری را به همراه دارد. این کاهش، به دلیل محدودیت‌های روزنه‌ای (ناشی از افت هدایت روزنه‌ای بر اثر بسته شدن روزنه‌ها) و محدودیت‌های غیر روزنه‌ای (مجموعه فرآیندهای درونی برگ که در تثیت دی‌اکسید کربن نقش دارند مانند محتوای کلروفیل برگ، فعالیت آنزیم رایسکو و سایر آنزیم‌های فتوستتری و پروسه‌های بیوشیمیابی مرتبه با غشای کلروپلاست که با عنوان هدایت مزووفیلی در نظر گرفته می‌شوند) رخ می‌دهد (۶۶). تنفس با کاهش نفوذ روزنه‌ای، هم هدایت روزنه‌ای و هم هدایت مزووفیلی را کاهش می‌دهد سلول‌های نگهبان روزنه در اپیدرم برگ گیاه، قادر به ایجاد تعادل بین ورود دی‌اکسید کربن فتوستتری و خروج آب از طریق فرآیند تعرق هستند. تنفس‌ها، معمولاً با افزایش تولید آب‌سیزیک اسید، باعث رها شدن آنیون‌ها و پتانسیم از کانال‌های یونی غشای پلاسمایی سلول‌های نگهبان، کاهش فشار تورژسانس سلول‌ها و در نهایت بسته شدن روزنه‌های گیاه می‌شوند (۴۶). براساس یافته‌های این

در لیتر این تیمار را به عنوان سطح بهینه جهت بهبود صفات فتوستزی و رشدی گیاه اسفناج عنوان نمود. با این وجود، نوع تیمار و دوز مصرفی بهینه در پژوهش‌های مختلف با گونه‌های گیاهی متنوع، نیاز به آزمایشات گسترده دارد.

تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه هرمزگان (حمایت مالی) و آزمایشگاه مرکزی دانشگاه هرمزگان (فرامم آوردن امکانات) سپاسگزاری می‌شود.

نرخ فتوستز و سلنتات‌سدیم بر تعداد برگ، ماده خشک ریشه، دی‌اکسیدکربن بین سلولی، هدایت روزنها و محتوای سلنیوم برگ بود. در مقابل، طول ریشه، ماده خشک برگ و محتوی کلروفیل ب تنها تحت تاثیر مثبت سطوح پایین نانوسلنیوم قرار گرفتند. در مقابل سطوح بالای نانوسلنیوم اثر منفی بر روند نرخ تعرق داشت. به طور کلی صفات مورد بررسی تحت غلاظت‌های مختلف ترکیبات سلنیوم، روندهای متفاوتی نشان دادند. در نهایت، علی‌رغم مشاهده سطح ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم (بالک یا نانو) به عنوان موثرترین سطح در بهبود صفات، این سطح با غلاظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم تفاوت معنی‌داری نشان نداد. لذا می‌توان سطح ۱۰ میلی‌گرم

منابع

1. Abulghasemi, R. and M. Haghghi. 2018. Study of changes in greenhouse tomatoes treated with beneficial elements in the form of metal metal and nanometals. *Plant Process and Function* 6(19): 153-162.
2. Adhikary, S., B. Biswas, D. Chakraborty, J. Timsina, S. Pal, J. Chandra Tarafdar, S. Banerjee, A. Hossain and S. Roy. 2022. Seed priming with selenium and zinc nanoparticles modifies germination, growth, and yield of direct-seeded rice (*Oryza sativa L.*). *Scientific Reports* 12: 7103.
3. Aisha, H. A., M. M. Hafez, R. M. Asmaa and M. R. Shafeek. 2013. Effect of Bio and chemical fertilizers on growth, yield and chemical properties of spinach plant (*Spinacia oleracea L.*). *Middle East Journal of Agriculture Research* 2(1): 16-20.
4. Alfthan, G., P. Aspila, P. Ekholm, M. Eurola, H. Hartikainen, H. Hero, V. Hietaniemi, T. Root, P. Salminen, E. R. Vena'la'inen and A. Aro. 2011. Nationwide supplementation of sodium selenate to commercial fertilizers: history and 25-year results from the Finnish selenium monitoring program. pp. 312-337, In: B. Thompson, L. Amoroso (eds.), Combating micronutrient deficiencies: Food-based approaches. FAO/CAB International 2010, Rome, 312-337.
5. Alfthan, G., M. Eurola, P. Ekholm, E. R. Venalainen, T. Root, K. Korkalainen, H. Hartikainen, P. Salminen, V. Hietaniemi, P. Aspila and A. Pro. 2015. Effects of nationwide addition of selenium to fertilizers on foods, and animal and human health in Finland: from deficiency to optimal selenium status of the population. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 31: 142-147.
6. Ameriyan, M., F. Dashti and M. Delshad. 2015. Effect of different sources and levels of selenium on growth and some physiological characteristics of onion (*Allium cepa L.*). *Plant Production Technology* 6(2): 163-179.
7. Amirabad, S. A., F. Behtash and Y. Vafaee. 2020. Selenium mitigates cadmium toxicity by preventing oxidative stress and enhancing photosynthesis and micronutrient availability on radish (*Raphanus sativus L.*) cv. Cherry Belle. *Environmental Science and Pollution Research* 27: 12476-12490.
8. Amweg, E. L., D. L. Stuart and D. P. Weston. 2003. Comparative bioavailability of selenium to aquatic organisms after biological treatment of agricultural drainage water. *Aquatic Toxicology* 63: 13-25.
9. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase *Beta Vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1-15.
10. Bisht, N., P. Phalswal and P. K. Khanna. 2022. Selenium nanoparticles: A review on synthesis and biomedical applications. *Mater Advance* 3:1415-1431.
11. Cai, S., G. Chen, Y. Wang, Y. Huang, D. B. Marchant, Y. Wang and P. J. Franks. 2017. Evolutionary conservation of ABA signaling for stomatal closure. *Plant Physiology* 174: 732-747.
12. Cartes, P., L. Gianferra and M. L. Mora. 2005. Uptake of selenium and its antioxidative activity in ryegrass when applied a selenate and selenite forms. *Plant and Soil* 276: 359-367.

13. Cazzonelli, C. I. 2011. Carotenoids in nature: insights from plants and beyond. *Functional Plant Biology* 38: 833-847.
14. Chauhan, R., S. Awasthi, A. P. Singh, S. Srivastava, V. Pande, R. D. Tripathi and A. Kumar. 2017. Heavy metal tolerance in crop plants: physiological and biochemical aspects. pp. 253-260. In: V. Shukla, S. Kumar, N. Kumar (eds), *Plant Adaptation Strategies in Changing Environment*. Springer, Singapore
15. Chia, S. and M. Lim. 2022. A critical review on the influence of humidity for plant growth forecasting. . In proceeding of IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Malaysia.
16. Dadar, M., M. Adel, H. Nasrollahzadeh Saravi and Y. Fakhri. 2017. Trace element concentration and its risk assessment in common kilka (*Clupeonella cultriventris* caspia Bordin, 1904) from southern basin of Caspian Sea. *Toxin Reviews* 36(3): 222-227.
17. De la Luz Mora, M., L. Pinilla, A. Rosas and P. Cartes. 2008. Selenium uptake and its influence on the antioxidative system of white clover as affected by lime and phosphorus fertilization. *Plant Soil* 303: 139-149.
18. Desoky, E. S., A. R. Merwad, M. F. Abo El-Maati, E. Mansour, S. M. Arnaout, M. F. Awad, M. F. Ramadan and S. A. Ibrahim. 2021. Physiological and biochemical mechanisms of exogenously applied selenium for alleviating destructive impacts induced by salinity stress in bread wheat. *Agronomy* 11: 926.
19. El-Ramady, H., N. Abdalla, H. S. Taha, T. Alshaal, A. El-Henawy, S. Faizy, M. S. Shams, S. M. Youssef, T. Shalaby and Y. Bayoumi. 2016. Selenium and nano-selenium in plant nutrition. *Environmental Chemistry Letters* 14: 123-147.
20. El-Sawy, S. M., Z. F. Fawzy, A. M. El-Bassiony and S. M. Mahmoud, 2019. Effect of Nano bio-selenium and mineral selenium, ascorbic acid and salicylic acid on vegetative growth and fruit yield of pea plants grown under sandy soil conditions. *International Journal of Environment* 8(4): 210- 220.
21. Erice, G., S. Louahlia, J. J. Irigoyen, M. Sánchez-Díaz, I. T. Alami and J. C. Avice. 2011. Water use efficiency, transpiration and net CO₂ exchange of four alfalfa genotypes submitted to progressive drought and subsequent recovery. *Environmental and Experimental Botany* 72: 123-130.
22. Etteieb, S., S. Magdouli, S. P. Komtchou, M. Zolfaghari, R. Tanabene, K. K. Brar, L. L. Calugaru and S. K. Brar. 2021. Selenium speciation and bioavailability from mine discharge to the environment: a field study in Northern Quebec, Canada. *Environmental Science and Pollution Research* 28: 50799-50812.
23. Evans, J., S. Von Caemmerer and J. Vans. 1996. Carbon dioxide diffusion inside leaves. *Plant Physiology* 110: 339-346.
24. Farooq, M. U., I. Ishaaq, C. Barutcular, M. Skalicky, R. Maqbool, A. Rastogi, S. Hussain, S. I. Allakhverdiev and J. Zhu. 2022. Mitigation effects of selenium on accumulation of cadmium and morphophysiological properties in rice varieties. *Plant Physiology and Biochemistry* 170: 1-13.
25. Fernandes, J., X. Hu, M. R. Smith, Y. M. Go and D. P. Jones. 2018. Selenium at the redox interface of the genome, metabolome and exposome. *Free Radical Biology and Medicine* 127: 215-227.
26. Flexas, J., M. Ribas-Carbó, A. Diaz-Espejo, J. Galmes and H. Medrano. 2008. Mesophyll conductance to CO₂: current knowledge and future prospects. *Plant, Cell & Environment* 31: 602-621.
27. Gupta, M. and S. Gupta. 2017. An overview of selenium uptake, metabolism, and toxicity in plants. *Frontiers Plant Science* 7: 2074.
28. Han-Wens, S., H. Jing, L. Shu-Xuan and K. Wei. 2010. Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. *Plant Analysis* 41: 1195-1204.
29. Huang, S., Y. Kan and Y. Tang. 2020. Effect of bioorganic selenium on yield, quality and selenium content of green tea. *Journal Tea Communication* 47: 610-616.
30. Ikram, M., N. I. Raja, B. Javed, Z. U. R. Mashwani, M. Hussain, M. Ehsan, N. Rafique, K. Malik, T. A. Sultana and A. Akram. 2020. Foliar applications of bio-fabricated selenium nanoparticles to improve the growth of wheat plants under drought stress. *Green Processing and Synthesis* 9: 706-714.
31. Jafari, H. and M. Moghaddam. 2023. The Effect of different levels of sodium selenate and selenite on some growth and physiological characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science* 54(2): 269-284. (In Farsi).
32. Jia, H., Z. Song, F. Wu, M. Ma, Y. Li, D. Han, Y. Yang, S. Zhang and H. Cui. 2018. Low selenium increases the auxin concentration and enhances tolerance to low phosphorous stress in tobacco. *Environmental and Experimental Botany* 153: 127-134.
33. Jiang, C., C. Zu, J. Shen, F. Shao and T. Li. 2015. Effect of selenium on the growth and photosynthetic characteristics of flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 84: 71-7.

34. John, R., P. Ahmad, K. Gadgil and S. Sharma. 2009. Heavy metal toxicity: Effect plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by *Brassica juncea* L. *International Journal of Plant Production* 3: 65-75.
35. Joshi, H., R. Kumar, D. S. Pandey and C. H. Jariwala. 2020. Effect of plasma and nanotechnology on nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 9 (2): 137-141.
36. Kacjan Maršič, N., A. Golob, H. Šircelj, M. Mihori, A. Krofli, V. Stibilj and M. Germ. 2019. Effects of exogenous selenium in different concentrations and forms on selenium accumulation and growth of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology* 21: 1905-1917.
37. Kawazu, Y., M. Okimura, T. Ishii and S. Yui. 2003. Varietal and seasonal differences in oxalate content of spinach. *Scientia Horticulturae* 97(3-4): 203-210.
38. Khan, Z., T. Thounaojam and D. Chowdhury. 2023. The role of selenium and nano selenium on physiological responses in plant. *Plant Growth Regulation* 100: 409-433.
39. Khosravi, S., B. ValizadehKaji and A. Abbasifar. 2022. Foliar application of selenium affects nitrate accumulation and morpho-physiochemical responses of garden cress plants. *International Journal of Horticultural Science and Technology* 9(3): 329-338.
40. Li, R., J. He, H. Xie, W. Wang, S. K. Bose, Y. Y. Sun and H. Yin. 2019. Effects of chitosan nanoparticles on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Biological Macromolecules* 126: 91-100.
41. Li, Z., D. L. Liang, Q. Peng, Z. W. Cui, J. Huang and Z. Q. Lin. 2017. Interaction between selenium and soil organic matter and its impact on soil selenium bioavailability: A review. *Geoderma* 295: 69-79.
42. Mashayekhi, K. and A. Shomali. 2018. Botany, Physiology and Culture of Vegetable. Gorgan University Press, Gorgan.
43. Martínez-Goñi, X. S., J. Miranda-Apodaca and U. Pérez-López. 2024. Enhanced photosynthesis, transpiration regulation, water use-efficiency and growth in buckwheat outperforms wheat response to high CO₂, high temperature and drought. *Environmental and Experimental Botany* 222: 105756.
44. Mohtashami, R., M. M. Dehnavi, H. Balouchi and H. Faraji. 2020. Improving yield, oil content and water productivity of dryland canola by supplementary irrigation and selenium spraying. *Agricultural Water Management* 232: 106046.
45. Moteshare Zadeh, B., S. Ghorbani and H. A. Alikhani. 2020. Spinach (*Spinacia oleracea*) nutritional responses to selenium application. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 51(20): 2537-2550.
46. Nambara, E. and A. Marion-Poll. 2005. Abscisic acid biosynthesis and catabolism. *Annual Review of Plant Biology* 56: 165-185.
47. Nawaz, F., R. Ahmad, M. Y. Ashraf, E. A. Waraich and S. Z. Khan. 2015. Effect of selenium foliar spray on physiological and biochemical processes and chemical constituents of wheat under drought stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 113: 191-200.
48. Pennanen, A., T. Xue, H. Hartikainen and T. L. Xue. 2002. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress. *Journal Applied Botany* 76: 66-76.
49. Raina, M., A. Sharma, M. Nazir, P. Kumari, A. Rustagi, A. Hami, B. S. Bhau, S. M. Zargar and D. Kumar. 2021. Exploring the new dimensions of selenium research to understand the underlying mechanism of its uptake, translocation, and accumulation. *Physiologia Plantarum* 171: 882-895.
50. Ramos, S. J., V. Faquin, L. R. G. Guilherme, E. M. Castro, F. W. Ávila, G. S. Carvalho, C. E. A. Bastos and C. Oliveira. 2010. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant, Soil and Environment* 56(12): 584-588.
51. Rostamihir, M., P. sheikhzadeh, S. Khomari and N. Zare. 2023. Investigating the effect of nanoselenium in improving the physiological, biochemical and agronomic characteristics of spring rapeseed under water deficit stress at the end of the season. *Journal of Crop Production* 16(3): 69-90.
52. Saffar Yazdi, A., M. Lahouti and A. Ganjeali. 2012. The effects of different selenium concentrations on some morpho-physiological characteristics of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of Horticultural Science* 26(3): 292-300.
53. Sager, M. 2006. Selenium in agriculture, food, and nutrition. *Pure and Applied Chemistry* 78(1): 111-133.
54. Salama, D. M., M. E. Abd El-Aziz, F. A. Rizk and M. S. A. Abd Elwahed. 2020. Applications of nanotechnology on vegetable crops. *Chemosphere* 129026.
55. Sher, A., S. Ul-Allah, A. Sattar, M. Ijaz, W. Ahmad, Y. Bibi and A. Qayyum. 2022. The effect of selenium concentration on the quantitative and qualitative yield of four safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 25:1-7.

56. Siddiqui, M. H., M. H. Al-Whaibi, M. Faisal and A. A. Al Sahli. 2014. Nano-silicon dioxide mitigates the adverse effects of salt stress on *Cucurbita pepo* L. *Environmental Toxicology and Chemistry* 33(11): 2429-2437.
57. Sun, P., Z. Wang, N. Yuan, Q. Lu, L. Sun, Y. Li, J. Zhang, Y. Zhang, G. Ge and Y. Jia. 2023. Evaluation of nano-selenium biofortification characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Green Processing and Synthesis* 12(1): 20228121.
58. Surai, P. F., I. I. Kochish, V. I. Fisinin and O. A. Velichko. 2018. Selenium in poultry nutrition: from sodium selenite to organic selenium sources. *The Journal of Poultry science* 55: 79-93.
59. Tabatabaie Roodsati, S., A. Iranbakhsh, M. Shamili and Z. Oraghi Ardabili. 2022. The effect of nano selenium and sodium selenate on biochemical, physiological, and growth parameters of Bell pepper (*Capsicum annuum*). *Nova Biologica Reperta* 9(4): 296-306.
60. Viger, M., H. K. Smith, D. Cohen, J. Dewoody, H. Trewin, M. Steenackers and G. Taylor. 2016. Adaptive mechanisms and genomic plasticity for drought tolerance identified in European black poplar (*Populus nigra* L.). *Tree Physiology* 36: 909-928.
61. Wang, H., C. Zhang, M. Nie, D. Cheng, J. Chen, S. Wang, J. Lv and Y. Niu. 2021. Effects of foliar application of nano-se on photosynthetic characteristics and se accumulation in *Paeonia Ostii*. *Research Square* 10: 1016.
62. Wang, J., Z. Wang, H. Mao, H. Zhao and D. Huang. 2013. Increasing Se concentration in maize grain with soil- or foliar-applied selenite on the Loess Plateau in China. *Field Crops Research* 150: 83-90.
63. Wang, Y. D., X. Wang and Y. S. Wong. 2012. Proteomics analysis reveals multiple regulatory mechanisms in response to selenium in rice. *Journal of Proteomics* 75: 1849-1866.
64. Wu, M., X. Cong, M. Li, S. Rao, Y. Liu, J. Guo, S. Hu, S. H. Chen, F. Xu, S. H. Cheng, L. Liu and T. Yu. 2020. Effects of different exogenous selenium on Se accumulation, nutrition quality, elements uptake, and antioxidant response in the hyper accumulation plant *Cardamine violifolia*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 204: 111045.
65. Yang, H., X. Yang, Z. Ning, S. Y. Kwon, M. L. Li, F. M. Tack, E. E. Kwon, J. Rinklebe and R. Yin. 2022. The beneficial and hazardous effects of selenium on the health of the soil-plant-human system: an overview. *Journal of Hazardous Materials*, 422: 126876.
66. Xie, M., X. Sun, P. Li, X. Shen and Y. Fang. 2021. Selenium in cereals: Insight into species of the element from total amount. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety* 20(3): 2914-2940.
67. Zhang, J., X. Wang and T. Xu. 2008. Elemental selenium at nano size (Nano-Se) as a potential chemo preventive agent with reduced risk of selenium toxicity: Comparison with Se-Methyl seleno-cysteine in Mice. *Toxicological Sciences* 101(1): 22-31.
68. Zhao, F. J. and S. P. McGrath. 2009. Biofortification and phytoremediation. *Current Opinion Plant Biology* 12: 373-380.
69. Zhao, Y., W. Xu, L. Wang, S. Han, Y. Zhang, Q. Liu, B. Liu, X. Zhao. 2022. A maize necrotic leaf mutant caused by defect of coproporphyrinogen III oxidase in the porphyrin pathway. *Genes* 13: 272.
70. Zsiros, O., V. Nagy, A. Párducz, G. Nagy, R. Ünnep, H. El-Ramady, J. Prokisch, Z. Lisztes-Szabó, M. Fári, J. Csajbók, S. Z. Toth, G. Garab and E. D. Szabolcsy. 2019. Effects of selenate and red Se-nanoparticles on the photosynthetic apparatus of *Nicotiana tabacum*. *Photosynthesis Research* 139: 449-460.