Vol 28, No. 1, Spring 2026

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

The Effect of Pre-Harvest Selenium Foliar Spraying on the Qualitative Improvement of Pomegranate Fruit of the cv. 'Malase-Saveh'

Meysam Ashtari[1] | Mohammad Ali Askari Sarcheshmeh[2]✉ | Mesbah Babalar[3] | Orang Khademi[4]

1. Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: m.ashtari@ut.ac.ir
2. Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: skari@ut.ac.ir
3. Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mbabalar@ut.ac.ir
4. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran. E-mail: o.khademi@shahed.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 12 April 2025
Received in revised form
30 October 2025
Accepted 3 November 2025
Published online 13 April 2026

Keywords:
Pomegranate
Selenium
Antioxidant capacity
Nutrients
Total phenols

ABSTRACT

Objective: The aim of this study was to examine the effect of selenium foliar spraying at four concentrations (0, 2, 4, and 6 mg/L) on the qualitative and biochemical characteristics of Malase-Saveh pomegranate fruit. Selenium is an essential micronutrient known for its role in plant growth, stress resistance, and fruit quality enhancement. This research sought to determine the optimal selenium concentration for improving fruit quality and antioxidant properties and to assess its role in enhancing fruit resistance to environmental stresses.

Method: The experiment was conducted in a randomized complete block design (RCBD) with three replications in a garden located in Saveh. Selenium treatments were applied at three stages: fruit formation on June 4th, July 4th and Augest 4th. This ensured gradual nutrient uptake and allowed for comprehensive evaluation of selenium impact over different growth stages. At the commercial ripening stage, fruit and leaf samples were collected from treated and control trees. Measured qualitative traits included fruit length, diameter, shape, volume, 100-aril weight, aril length and diameter, fruit number, sunburn percentage, cracking percentage, marketability, and throatworm infestation. Biochemical traits included macro- and micronutrient levels, selenium content in leaves and fruit, soluble solid content (SSC), titratable acidity, vitamin C, phenols, anthocyanins, and antioxidant capacity. These traits provided a comprehensive understanding of selenium impact on fruit quality and plant health.

Results: Foliar application of selenium, particularly at 6 mg L^{-1}, significantly increased fruit length, diameter, volume, weight, and 100-aril weight. The number of fruits per tree was also higher compared to the control. Quality indices such as total soluble solids, titratable acidity, vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity improved significantly in the 4 and 6 mg L^{-1} treatments. The highest fruit weight was obtained at 6 mg L^{-1}. Moreover, the incidence of sunburn, fruit cracking, and infestation by the pomegranate fruit borer decreased, although no significant effect was observed on fruit shape. Nutritional analysis showed that selenium application increased selenium concentration in fruit and leaves, along with higher nitrogen, phosphorus, and potassium levels. The highest iron and zinc contents were observed at 6 mg L^{-1}, whereas an antagonistic relationship was found between selenium and manganese.

Conclusions: Overall, pre-harvest foliar spraying of selenium, especially at 6 mg L^{-1}, significantly improved both quantitative and qualitative traits of pomegranate. This treatment enhanced mineral composition, vitamin C, and phenolic compounds, while reducing physiological disorders and improving marketability. Therefore, foliar application of selenium at 6 mg L^{-1} is recommended as an effective strategy to increase yield, improve fruit quality, and reduce postharvest losses in pomegranate.

Cite this article: Ashtari, M., Askari Sarcheshmeh, M. A., Babalar, M., & Khademi, O. (2026). The Effect of Pre-Harvest Selenium Foliar Spraying on the Qualitative Improvement of Pomegranate Fruit of the cv. 'Malase-Saveh'. *Journal of Crops Improvement*, 28 (1), 115-129. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2025.392734.2924

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2025.392734.2924

دوره بیست و هشتم، شماره اول، بهار ۱۴۰۵

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

اثر محلول‌پاشی قبل از برداشت سلنیوم بر بهبود کیفیت میوه انار رقم 'ملس ساوه'

میثم اشتری[۱] | محمدعلی عسکری سرچشمه[۲]✉ | مصباح بابالار[۳] | اورنگ خادمی[۴]

۱. گروه علوم مهندسی باغبانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: m.ashtari@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: askari@ut.ac.ir
۳. گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mbabalar@ut.ac.ir
۴. گروه علوم باغبانی ،دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران. رایانامه: o.khademi@shahed.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۲۴

کلیدواژه‌ها:
انار
سلنیوم
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی
عناصر غذایی
فنل کل

چکیده

هدف: این مطالعه اثر محلول‌پاشی سلنیوم در چهار غلظت (صفر، ۲، ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم) بر بهبود کیفیت میوه انار ملس ساوه را بررسی کرد. سلنیوم یک ریزمغذی مفید است که به رشد گیاه، مقاومت در برابر تنش‌های محیطی و افزایش کیفیت میوه کمک می‌کند. این پژوهش به‌دنبال تعیین غلظت بهینه سلنیوم برای بهبود کیفیت و خواص آنتی‌اکسیدانی میوه و بررسی نقش آن در افزایش مقاومت میوه در برابر عوامل تنش زا بود.

روش پژوهش: آزمایش در باغی تجاری در استان مرکزی، ۲۵ کیلومتری جنوب‌غربی ساوه، روی درختان ۱۲ ساله انار رقم ملس ساوه انجام شد. درختان با فاصله ۳×۴ متر کاشته شده بودند. محلول‌پاشی در سه نوبت صورت گرفت؛ نخست در ۱۵ خردادماه پس از گلدهی کامل (تشکیل میوه‌های گل‌های ثمری مرحله اول)، دوم یک ماه بعد و سوم یک ماه پس از مرحله دوم. در زمان رسیدگی تجاری، نمونه‌برداری از میوه و برگ در تیمارها و شاهد انجام شد. صفات ارزیابی‌شده شامل ابعاد و وزن میوه، وزن ۱۰۰ آریل، تعداد میوه، درصد آفتاب‌سوختگی و ترک‌خوردگی، بازارپسندی، عناصر معدنی، مقدار سلنیوم در برگ و میوه، مواد جامد محلول، اسید قابل تیتراسیون، ویتامین C، فنل کل، آنتوسیانین و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بود.

یافته‌ها: محلول‌پاشی سلنیوم به‌ویژه در غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر موجب افزایش طول، قطر، حجم، وزن میوه و وزن ۱۰۰ آریل گردید. تعداد میوه‌ها نسبت به شاهد افزایش یافت. شاخص‌های کیفی شامل مواد جامد محلول، اسید قابل تیتراسیون، ویتامین C، فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر بهبود معنی‌دار نشان دادند. بیش‌ترین وزن میوه در تیمار ۶ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد. هم‌چنین درصد آفتاب‌سوختگی، ترک‌خوردگی و جمعیت کرم گلوگاه کاهش یافت، اگرچه اثر معنی‌داری بر شکل میوه مشاهده نشد. از نظر تغذیه‌ای، افزایش سلنیوم در برگ و میوه همراه با بالارفتن نیتروژن، فسفر و پتاسیم بود. بیش‌ترین مقدار آهن و روی در تیمار ۶ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد، اما بین سلنیوم و منگنز رابطه آنتاگونیستی دیده شد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، محلول‌پاشی پیش‌برداشت سلنیوم، به‌ویژه در غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر، موجب بهبود معنی‌دار ویژگی‌های کمّی و کیفی انار شد. این تیمار علاوه بر بهبود ترکیب معدنی و افزایش ویتامین C و ترکیبات فنلی، اختلالات فیزیولوژیک را کاهش داده و بازارپسندی میوه را ارتقا داد. بنابراین، استفاده از غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به‌عنوان روشی مؤثر برای افزایش عملکرد، بهبود کیفیت و کاهش ضایعات پس از برداشت انار توصیه می‌شود.

استناد: اشتری، میثم؛ عسکری سرچشمه، محمدعلی؛ بابالار، مصباح و خادمی، اورنگ (۱۴۰۵). اثر محلول‌پاشی قبل از برداشت سلنیوم بر بهبود کیفیت میوه انار رقم 'ملس ساوه'. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۸ (۱)، ۱۱۵-۱۲۹. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2025.392734.2924

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

انار[1] از کهن‌ترین و ارزشمندترین درختان میوه مناطق مدیترانه‌ای به‌شمار می‌آید (حسین[2] و همکاران، ۲۰۲۴). این درخت، به‌دلیل تنوع ژنتیکی بالا، امکان تولید ارقام متعددی را فراهم کرده است که از جنبه‌هایی چون طعم، خواص دارویی و ظرفیت تولید ترکیبات زیست‌فعال، اهمیت زیادی دارند (اسدی[3] و همکاران، ۲۰۱۹). خواص آنتی‌اکسیدانی انار به‌طورعمده ناشی از ترکیبات فنولی نظیر آنتوسیانین‌ها (دلفینیدین، سیانیدین و پلارگونیدین)، مشتقات اسید الاژیک (مانند پونیکالاژین)، فلاونوئیدها (از جمله کامپفرول) و دی‌گلیکوزیدهاست که با مهار رادیکال‌های آزاد و جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها، نقش محافظتی ایفا می‌کنند (حسین و همکاران، ۲۰۲۴). از جمله چالش‌های پیش‌رو در تولید انار، پدیده آفتاب‌سوختگی و سفیدشدن آریل‌هاست که به‌طور معنی‌داری بر کیفیت میوه تأثیر منفی می‌گذارد. در این راستا، اگرچه عملیات پس از برداشت در حفظ کیفیت و کاهش ضایعات مؤثر است، اما مدیریت قبل از برداشت، نقش کلیدی در ارتقای کیفی محصول ایفا می‌کند (اشتری[4] و همکاران، ۲۰۱۹) ۲۰۱۹). بنابراین، توسعه روش‌های پایدار و دوستدار محیط زیست برای غلبه بر این محدودیت‌ها، ضرورتی انکارناپذیر در افزایش کمّی و کیفی تولید انار محسوب می‌شود. عناصر معدنی نقش حیاتی در فرایندهای رشد، تولیدمثل، تشکیل میوه و بهبود ویژگی‌های کیفی آن دارند (داورپناه[5] و همکاران، ۲۰۱۶). سلنیوم (Se)، به‌عنوان یک ریزمغذی مفید برای گیاهان، انسان و دام در مقادیر مناسب می‌تواند عملکرد فیزیولوژیکی گیاه را بهبود بخشد و سلامت انسان و دام را حفظ کند. محدوده امن سلنیوم در خوراک دام ۰/۰۵ تا ۰/۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و در انسان ۵۵ تا ۲۰۰ میکروگرم در روز است، درحالی‌که مقادیر بالاتر (۲ تا ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک برای دام) می‌تواند سمی باشد، زیرا رقابت با گوگرد در جایگاه‌های فعال آنزیمی رخ می‌دهد (وو[6] و همکاران، ۲۰۱۵). مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی سلنیوم بر رشد، عملکرد، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل و محتوای فیتوشیمیایی انار در مراحل مختلف رشد طراحی شده است. این پژوهش هم‌چنین به بررسی نقش سلنیوم در تنظیم متابولیسم قند و اسیدهای آلی پرداخته و رویکردی نوین برای زیست‌تقویت انار پیشنهاد می‌دهد.

۲. پیشینه پژوهش

سلنیوم با افزایش رشد گیاه و بهبود مقاومت در برابر تنش‌های غیرزنده، به‌ویژه از طریق حفاظت در برابر استرس اکسیداتیو، نقش مؤثری در فیزیولوژی گیاه ایفا می‌کند (گالیچ[7] و همکاران، ۲۰۲۱). محلول‌پاشی سلنیوم به‌عنوان روشی مؤثرتر نسبت به کاربرد خاکی شناخته می‌شود، زیرا از تثبیت گسترده سلنیت در خاک جلوگیری کرده و جذب و انتقال آن تا بذر را تسهیل می‌کند (وانگ[8] و همکاران، ۲۰۱۶). سلنیوم از طریق مسیر جذب گوگرد وارد گیاه می‌شود، به‌طوری‌که سلنیت در سلول‌ها کاهش یافته و در قالب اسیدهای آمینه مختلف مانند سلنوسیستئین و سلنومتیونین وارد متابولیسم گیاهی می‌گردد (مالاگولی[9] و همکاران، ۲۰۱۵). این عنصر در جذب با سایر عناصر مانند گوگرد، مولیبدات و یدات رقابت کرده و هم‌چنین بر جذب برخی فلزات مانند منگنز، روی، مس و کادمیوم اثرگذار است (کاباتا–پندیاس[10]، ۲۰۱۰). مطالعات

1. *Punica granatum* L.
2. Hussein
3. Asadi
4. Ashtari
5. Davarpanah
6. Wu
7. Galić
8. Wang
9. Malagoli
10. Kabata-Pendias

نشان داده‌اند که غلظت‌های پایین سلنیوم (حدود ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر) می‌تواند جذب برخی عناصر غذایی مانند نیتروژن و منگنز را در ساقه و برگ گیاه پاکچوی کاهش دهد (فو[1] و همکاران، ۲۰۱۱). کاربرد برگی سلنیوم در سال‌های اخیر به‌عنوان روشی مؤثر برای تقویت زیستی محصولات کشاورزی، سبزیجات و میوه‌ها با هدف بهبود عملکرد، کیفیت و ارزش تغذیه‌ای موردتوجه قرار گرفته است (هو[2] و همکاران، ۲۰۲۰). نتایج پژوهش‌های مختلف بیانگر افزایش رشد گیاه، ارتقای فعالیت آنتی‌اکسیدانی و بهبود صفات کیفی میوه‌ها در پی کاربرد سلنیوم است (لو[3] و همکاران، ۲۰۲۲). لی[4] و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که محلول‌پاشی برگی نانوسلنیوم (۱۰ میلی‌گرم بر لیتر) در چای باعث افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه نظیر فنول‌ها و فلاونوئیدها و نیز بهبود ترکیبات معطر شد. در انار نیز، محلول‌پاشی نانوسلنیوم و سلنیوم با غلظت ۱ تا ۲ میکرومول، یک هفته قبل از گل‌دهی کامل تأثیر مثبتی بر رشد، عملکرد و ویژگی‌های کیفی میوه داشته است (زاهدی[5] و همکاران، ۲۰۱۹). هم‌چنین، ترکیب سلنیوم با کیتین موجب بهبود عملکرد میوه، افزایش محتوای ویتامین C و نسبت اسید به ماده جامد در هلو گردید (ژان[6] و همکاران، ۲۰۲۱). در سیب، محلول‌پاشی سلنیوم در غلظت‌های ۱ تا ۳ میلی‌گرم بر لیتر، قبل از برداشت، موجب افزایش سطح سلنیوم در میوه و برگ و هم‌چنین بهبود سفتی میوه، اسید کل و محتوای مواد جامد محلول شد (بابالار[7] و همکاران، ۲۰۱۹). کاربرد آن هم‌چنین کیفیت گوجه‌فرنگی را با افزایش مواد جامد محلول، اسید قابل تیتراسیون و محتوای قند بهبود بخشید و درعین‌حال سفتی بافت را افزایش داد (یین[8] و همکاران، ۲۰۲۴). در میوه‌هایی نظیر هلو و گلابی، محلول‌پاشی سلنیوم در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، فرایند نرم‌شدن را به تأخیر انداخته و موجب افزایش ماندگاری پس از برداشت شده است (وانگ[9] و همکاران، ۲۰۲۴). این شواهد بر نقش سلنیوم به‌عنوان راه‌کاری مؤثر در تولید میوه‌هایی با کیفیت بالا و غنی‌شده با این ریزمغذی حیاتی تأکید دارند (بابالار و همکاران، ۲۰۱۹).

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳. ۱. مواد گیاهی، مکان، طرح آزمایشی و نحوه اعمال تیمارها

این پژوهش در سال ۱۴۰۲ در یک باغ تجاری واقع در استان مرکزی در ۲۵ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان ساوه واقع در جاده الغدیر روی انار رقم ملس ساوه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شده است. درختان با فاصله ۳×۴ متر کاشته شده بودند و برای کنترل علف‌های هرز از روش‌های شیمیایی (علف‌کش) و فیزیکی استفاده شده است. آزمایش‌ها روی درختان انار ملس ساوه کاشته‌شده در بهار ۱۳۹۰ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل محلول‌پاشی برگی سلنیوم سدیم (Na_2SeO_4; S0882, Sigma-Aldrich, Se. Louis, MO, USA)، با غلظت‌های صفر، ۲، ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر بود. سلنیوم در سه مرحله رشدی درختان انار شامل، مرحله اول پس از گلدهی کامل (شروع از ۱۵ خردادماه) و دو مرحله بعدی با فاصله یک ماه اعمال شد. برای هر غلظت، دو درخت (در مجموع ۲۴ درخت) در سه بلوک با سه تکرار انتخاب شدند. درختان شاهد فقط با آب محلول‌پاشی شدند. برای اطمینان از پوشش یکنواخت تمام سطوح درخت، ۵ لیتر محلول با استفاده از یک سم‌پاش دستی با فشار بالا به هر درخت اعمال شد. نمونه‌گیری از برگ‌ها در اوایل شهریورماه

1. Fu
2. Hu
3. Lu
4. Ll
5. Zahedi
6. Zhan
7. Babalar
8. Yin
9. Wang

(برای هر واحد آزمایشی ۲۰ برگ به‌صورت تصادفی از هر گروه آزمایشی و از قسمت‌های میانی شاخه سال جاری) انتخاب شد. پس از اعمال تیمارها و رسیدن میوه‌ها به مرحله بلوغ تجاری، نمونه‌ها در سبدهای مشبک پلی‌اتیلنی، بسته‌بندی شده و به‌همراه برگ‌های مربوطه به آزمایشگاه فیزیولوژی و فناوری پس از برداشت گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران (واقع در کرج) انتقال یافتند. سپس صفات موردنظر ارزیابی شدند.

۳. ۲. صفات اندازه‌گیری‌شده

۳. ۲. ۱. ویژگی‌های فیزیکی و پارامترهای کیفی میوه

میوه‌های انار به‌صورت دستی در زمان رسیدگی تجاری برداشت شدند و اثرات تیمارها بر عملکرد ارزیابی گردید. در زمان برداشت، تعداد میوه‌ها در هر درخت تیمارشده، شمارش و ثبت شد و سپس وزن آن‌ها اندازه‌گیری و عملکرد (کیلوگرم) در هر درخت ثبت گردید.

درصد ترک‌خوردگی میوه در هر درخت در زمان برداشت با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد:

رابطه ۱) ۱۰۰× تعداد کل میوه‌ها /تعداد میوه ترک‌خورده = درصد ترک‌خوردگی

در زمان برداشت، تعداد نمونه‌های میوه هر درخت تعیین شد. علاوه بر این، هر میوه به‌صورت مشاهده‌ای برای تعیین میزان خسارت آفتاب‌سوختگی ارزیابی گردید و به‌صورت درصد متناسب با تعداد کل میوه‌های درخت با استفاده از رابطه (۲) بیان شد (السیف[1] و همکاران، ۲۰۲۲).

رابطه ۲) ۱۰۰× تعداد کل میوه‌ها / تعداد میوه آفتاب‌سوخته = درصد آفتاب‌سوختگی

طبق روش هگازی[2] و همکاران (۲۰۱۴)، درصد میوه‌های بازارپسند با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد:

رابطه ۳) ۱۰۰× تعداد کل میوه‌ها / تعداد میوه بازارپسند = درصد میوه بازارپسند

در زمان برداشت، نمونه‌هایی از ۱۵ میوه از هر درخت در سه تکرار برای تعیین ویژگی‌های میوه شامل، طول میوه (میلی‌متر)، قطر میوه (میلی‌متر)، شاخص شکل میوه، وزن میوه (گرم) و تعداد میوه در هر درخت استفاده شد (لورنته –منتو[3] و همکاران، ۲۰۲۳). برای تعیین وزن آریل (دانه‌های انار) هر میوه، میوه‌ها به‌صورت دستی پوست‌کنده شدند و هم وزن کل آریل و هم وزن ۱۰۰ عدد آریل ثبت گردید (تهرانی فر[4] و همکاران، ۲۰۱۰). بخش۱،۲،۳ به‌طور خلاصه نحوه اندازه‌گیری و ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و کیفی میوه‌های انار در طول آزمایش را شرح می‌دهد. این ویژگی‌ها شامل عملکرد، ترک‌خوردگی، آفتاب‌سوختگی، قابلیت فروش، ابعاد میوه و وزن آریل هستند و روش‌های محاسبه هر یک به‌همراه منابع مربوطه ذکر شده است. محتوای مواد جامد محلول (SSC) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از یک رفرکتومتر دستی (مدل RF-40، Waltham)، اندازه‌گیری و به‌صورت درجه بریکس (°Brix) گزارش شد (جیانگ[5] و همکاران، ۲۰۲۳). به‌منظور اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون، ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره میوه با ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد و سپس عصاره حاصل با NaOH ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH نهایی ۸/۱–۸/۳ تیتر شد. درصد اسیدیته قابل تیتراسیون براساس غالب‌بودن اسیدسیتریک محاسبه گردید (گارسیا پاستور[6] و همکاران، ۲۰۲۰). به‌منظور اندازه‌گیری مقدار فنل کل، ابتدا ۵ گرم آریل (دانه‌های انار) در ۱۵ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد همگن شد. سپس همگن حاصل

1. Al-Saif
2. Hegazi
3. Lorente-Mento
4. Tehranifar
5. Jiang
6. Garcia-Pastor

به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و در نهایت، مایع روشناور (سوپرناتانت) جمع‌آوری گردید.

برای اندازه‌گیری مقدار فنل کل، از روش فولین سیوکالتو استفاده شد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۰). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل آریل نیز با استفاده از روش خنثی‌سازی رادیکال آزاد DPPH[1] مطابق با روش شرح داده‌شده توسط ژانگ و همکاران،۲۰۲۰ تعیین گردید. مقدار اسید آسکوربیک با روش تیتراسیون ۲،۶–دی‌کلروفنل ایندوفنل (DCPIP)[2] تعیین شد (تزوتو–ولیانا[3] و همکاران، ۲۰۱۴). مقدار ۵ گرم آریل با استفاده از ۱۵ میلی‌لیتر متافسفریک‌اسید ۳ درصد استخراج شد و عصاره حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. مایع روشناور (سوپرناتانت) در برابر رنگ DCPIP تا ظهور رنگ صورتی کم‌رنگ تیتر شد. مقدار اسید آسکوربیک به‌صورت میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه آریل بیان گردید. محتوای آنتوسیانین کل در نمونه‌های آب‌میوه با روش pH با استفاده از دو سیستم بافر مطابق با روش بوچری[4] و همکاران (۲۰۲۱) تعیین گردید. به‌طور خلاصه، ۱ میلی‌لیتر از آب‌میوه رقیق‌شده آریل با ۴ میلی‌لیتر بافر کلرید پتاسیم (۰/۰۲۵ M، ۱/۰ pH) و بافر استات‌سدیم (۰/۴ M، ۴/۵ pH) در یک لوله آزمایش جداگانه مخلوط شد و میزان جذب محلول‌ها در دو طول موج ۵۱۰ نانومتر و ۷۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر و آب مقطر به‌عنوان بلانک اندازه‌گیری شد. محتوای آنتوسیانین کل با استفاده از رابطه (۴) محاسبه گردید:

رابطه ۴) $$\text{آنتوسیانین کل (میلی‌گرم بر لیتر)} = \frac{[(A510 - A700)pH\ 1.0 - (A510 - A700)\ pH\ 4.5] \times MW \times DF \times 1000}{(\varepsilon \times l)}$$

۳. ۳. اندازه‌گیری عناصر ماکرو و میکرو

مقدار عناصر ماکرو و میکرو در برگ‌ها و میوه‌های درختان انار محلول‌پاشی‌شده همراه با تیمارهای شاهد و سطوح مختلف سلنیوم اندازه‌گیری شد. آماده‌سازی نمونه‌ها مطابق با روش چپمن[5] و پرت[6] (۱۹۶۱) انجام شد. مقدار فسفر (P) و پتاسیم (K) با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (مدل PFP7، ساخت استافوردشایر، انگلستان) تعیین گردید. منیزیم (Mg)، آهن، روی و منگنز با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی شعله (مدلUnicam AA-929، ساخت گِلن، هلند) اندازه‌گیری شدند. برای تعیین مقدار سلنیوم (Se)، نمونه‌های برگ در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند تا به وزن ثابت برسند و سپس همگن شدند. تقریباً ۰/۵ گرم از هر نمونه با استفاده از اسید نیتریک غلیظ (HNO_3)[7] با غلظت ۶۵۰ میلی‌لیتر بر لیتر در محفظه واکنش تحت شرایط مایکروویو هضم اسیدی شدند. سپس غلظت سلنیوم با استفاده از دستگاه ICP-OES مدل Varian VGA 77، ساخت پالو آلتو، کالیفرنیا، ایالات متحده آمریکا تعیین گردید (میمو[8] و همکاران، ۲۰۱۷).

۳. ۴. تجزیه‌وتحلیل آماری

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹،۴) و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

1. 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
2. 2,6-Dichlorophenolindophenol (DCPIP)
3. Tezotto-Uliana
4. Buccheri
5. Chapman
6. Pratt
7. Nitric acid
8. Mimmo

۴. یافته‌های پژوهش

۴. ۱. کیفیت میوه

تجزیه داده‌ها نشان داد که افزایش غلظت سلنیوم در محلول‌پاشی برگی، تأثیر معنی‌داری بر بهبود پارامترهای رشدی میوه انار، از جمله طول و قطر میوه، اندازه آریل‌ها، حجم میوه و وزن ۱۰۰ دانه داشته است (جدول ۱). بیش‌ترین مقادیر طول، قطر و حجم میوه در تیمار ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم مشاهده شد. براساس مقایسه میانگین‌ها، بهترین غلظت سلنیوم (۶ میلی‌گرم بر لیتر) به‌طور معنی‌داری باعث افزایش قطر میوه (۸۸/۹ میلی‌متر) و طول میوه (۹۹/۶ میلی‌متر) شد، درحالی‌که کم‌ترین مقادیر مربوط به نمونه شاهد به‌ترتیب ۶۵/۴ و ۶۸/۴ میلی‌متر بود. هم‌چنین، بیش‌ترین حجم میوه در تیمار ۶ میلی‌گرم بر لیتر و کم‌ترین آن در شاهد ثبت شد. در مورد اندازه آریل‌ها، غلظت ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم، بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش قطر (۶/۳ میلی‌متر) و طول آریل‌ها (۸/۲ میلی‌متر) داشت، درحالی‌که نمونه شاهد کم‌ترین مقادیر را نشان داد (به‌ترتیب ۳/۳ و ۵/۰۹ میلی‌متر). اگرچه با افزایش غلظت سلنیوم، تغییراتی در شکل میوه مشاهده شد که از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۱).

جدول ۱. تأثیر محلول‌پاشی سلنیوم بر طول، قطر، شکل و حجم میوه، وزن ۱۰۰ آریل، طول و قطر آریل انار رقم ملس ساوه

تیمار	طول میوه (میلی‌متر)	قطر میوه (میلی‌متر)	شکل میوه	حجم میوه (سانتی‌متر مکعب)	وزن ۱۰۰ آریل (گرم)	طول آریل (میلی‌متر)	قطر آریل (میلی‌متر)
شاهد	۶۸/۴d	۶۵/۴c	۱/۰۴a	۲/۵d	۱۳/۶a	۵/۰۹b	۳/۳c
۲ میلی‌گرم بر لیتر	۷۹/۷c	۷۳/۸b	۱/۰۷a	۴/۲c	۱۷/۵b	۶/۱b	۵/۷b
۴ میلی‌گرم بر لیتر	۸۹/۴b	۸۴/۸a	۱/۰۵a	۶/۶b	۲۳/۱c	۷/۹a	۶/۲a
۶ میلی‌گرم بر لیتر	۹۹/۶a	۸۸/۹a	۱/۱۲a	۸/۴a	۲۶/۲d	۸/۲a	۶/۳a

† میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

۴. ۲. عملکرد و بازارپسندی میوه

نتایج تجزیه آماری نشان داد که کاربرد سلنیوم به‌طور معنی‌داری موجب بهبود شاخص‌های کیفی میوه شد. این بهبودها شامل کاهش معنی‌دار آفتاب‌سوختگی و ترک‌خوردگی، افزایش قابل‌توجه وزن میوه و بازارپسندی و هم‌چنین کاهش محسوس جمعیت کرم گلوگاه انار بود. بیش‌ترین اثر مثبت در تیمار ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم مشاهده شد که با ۷۱/۲ درصد بازارپسندی در مقایسه با ۱۳/۷ درصد در شاهد، برتری واضحی را نشان داد. این روند بهبود در تمامی سطوح غلظت مورد آزمایش تکرار شد (جدول ۲).

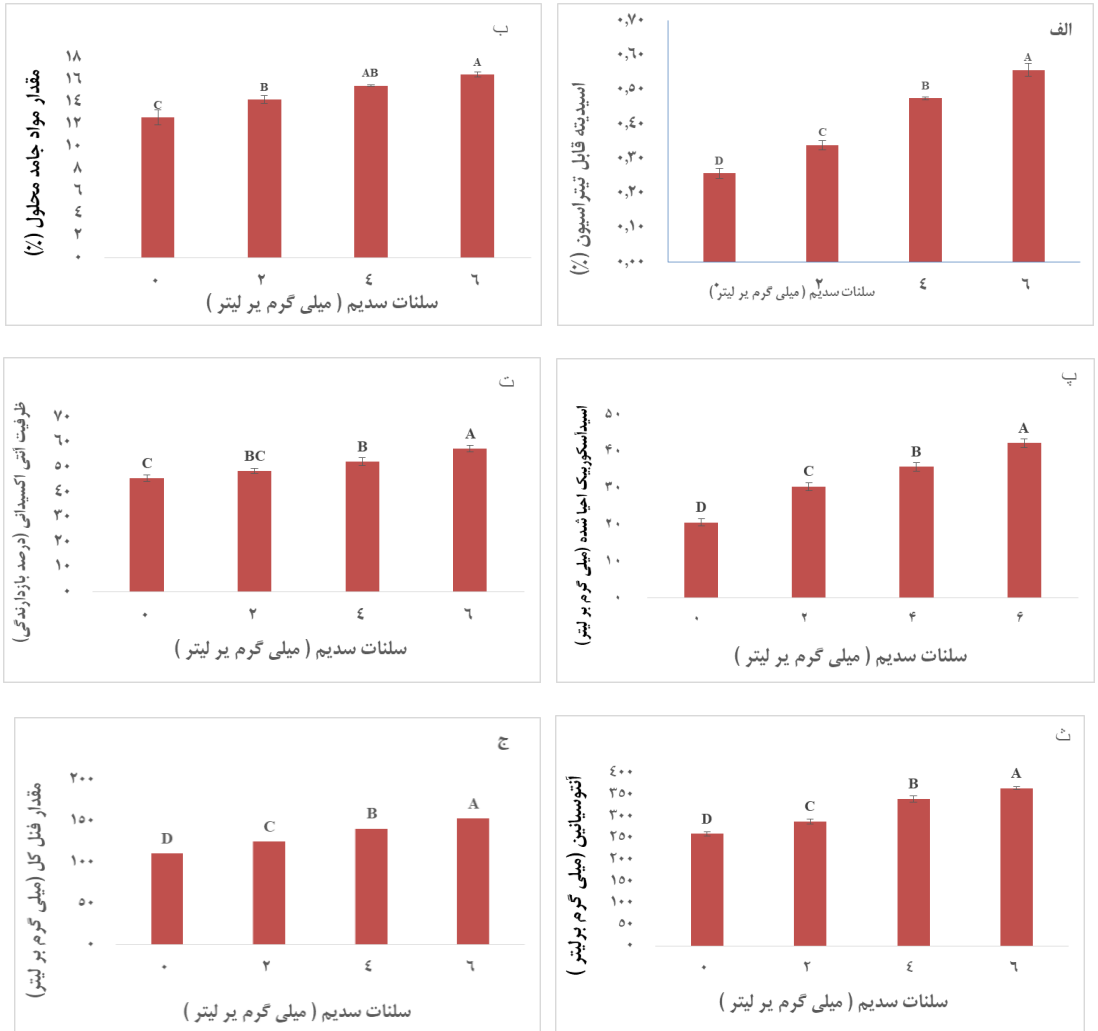
جدول ۲. تأثیر محلول‌پاشی سلنیوم بر وزن کل و وزن تک میوه، تعداد میوه، درصد آفتاب سوختگی، درصد ترک‌خوردگی، بازار پسندی و کرم گلوگاه انار رقم ملس ساوه

تیمار	وزن کل میوه‌ها (کیلوگرم)	وزن تک میوه (گرم)	تعداد میوه‌ها	درصد آفتاب‌سوختگی (درصد)	درصد ترک‌خوردگی (درصد)	بازار پسندی (درصد)	کرم گلوگاه
شاهد	۲۶/۱d	۱۴۵d	۱۴۱c	۶۳/۲a	۲۲/۳a	۱۴/۴d	۲a
۲ میلی‌گرم بر لیتر	۵۰/۵c	۲۴۰/۳c	۱۸۰b	۲۷b	۱۰/۱b	۶۲/۸c	۱ab
۴ میلی‌گرم بر لیتر	۶۲/۲b	۳۰۱/۳b	۲۱۰a	۱۴/۵c	۶/۴bc	۷۹/۰b	۰/۶b
۶ میلی‌گرم بر لیتر	۷۵/۶a	۴۵۱/۴a	۲۲۸a	۳/۸d	۳/۸c	۹۲/۳ a	۰c

† میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

۴. ۳. اثر سلنیوم بر کیفیت میوه

نتایج این مطالعه نشان داد کاربرد غلظت‌های مختلف سلنیوم (۴ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلنات سدیم) تأثیر معنی‌داری بر بهبود شاخص‌های اصلی کیفیت میوه داشته است. یافته‌ها حاکی از آن است که کاربرد سلنیوم منجر به افزایش قابل‌توجه اسیدیته قابل تیتراسیون میوه گردید، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان اسیدیته قابل اندازه‌گیری با غلظت ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم (۰/۵۵ درصد) مشاهده شد. هم‌چنین، محتوای مواد جامد محلول نیز در نمونه‌های حاوی سلنیوم افزایش یافت. بالاترین میزان مواد جامد محلول با مقدار سلنیوم ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم (۱۶/۴۶ درجه بریکس) مشاهده گردید. علاوه بر این، کاربرد سلنیوم منجر به افزایش قابل‌توجهی در میزان ترکیبات فنلی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل و محتوای آنتوسیانین‌های میوه شدند. بالاترین مقدار ترکیبات فنل‌ها و ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل با غلظت ۶ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم مشاهده گردید (شکل ۱).



شکل ۱. تأثیر محلول‌پاشی سلنیوم در غلظت‌های مختلف بر اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) (الف)؛ محتوای جامد محلول (SSC) (ب)، محتوای اسید اسکوربیک (پ)، مقدارفعالیت آنتی‌اکسیدانی (ت)، محتوای آنتوسیانین‌ها (ث)، ترکیبات فنلی (ج) انار رقم ملس ساوه.
(مقادیر ارائه‌شده نشان‌دهنده میانگین سه تکرار ± خطای استاندارد هستند.)

۴.۴. مقدار مواد معدنی

نتایج پژوهش نشان داد تیمارهای سلنیوم تأثیر معنی‌داری بر مقدار نیتروژن (N) و سایر عناصر معدنی مانند فسفر (P)، پتاسیم (K)، آهن (Fe)، روی (Zn) و خود سلنیوم داشته است، درحالی‌که تأثیر آنتاگونیستی بر مقدار منگنز (Mn) مشهود بود. کاربرد سلنیوم (۶ میلی‌گرم بر لیتر) به‌طور مؤثرتری باعث افزایش مقدار نیتروژن و سایر عناصر معدنی در میوه‌ها و برگ‌ها شدند. هم‌چنین، تیمار ۶ میلی‌گرم برلیتر منجر به افزایش سلنیوم در برگ‌ها و میوه‌ها در طول مطالعه شدند (جدول ۳).

جدول ۳. تأثیر محلول‌پاشی سلنیوم بر مقدار عناصر ماکرو و سلنیوم در برگ و میوه انار رقم ملس ساوه

تیمار	پتاسیم میوه (درصد)	پتاسیم برگ (درصد)	نیتروژن برگ (درصد)	نیتروژن میوه (درصد)	فسفر برگ (درصد)	فسفر میوه (درصد)	مقدار سلنیوم برگ (میکروگرم سلنیوم بر کیلوگرم وزن خشک)	مقدار سلنیوم میوه (میکروگرم سلنیوم بر کیلوگرم وزن خشک)
شاهد	۱/۰۴c	۱/۲ c	۰/۹d	۱/۴d	۰/۱۲c	۰/۴c	۱۷d	۰/۰۲d
۲ میلی‌گرم بر لیتر	۱/۱b	۱/۳ b	۱/۱c	۱/۶c	۰/۱۸b	۰/۵b	۱۲۰c	۵۸c
۴ میلی‌گرم بر لیتر	۱/۳a	۱/۲a	۱/۳b	۱/۷b	۰/۲a	۰/۶a	۲۱۰b	۱۱۵b
۶ میلی‌گرم بر لیتر	۱/۳a	۱/۵a	۱/۴a	۱/۹a	۰/۲۴a	۰/۶a	۲۵۰a	۱۲۵c

† میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتایج جدول (۴) نشان داد که محلول‌پاشی سلنیوم به‌طور معنی‌داری غلظت ریزمغذی‌های آهن (Fe) و روی (Zn) را در برگ‌ها نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. با این‌حال، با افزایش سطح سلنیوم، غلظت منگنز (Mn) کاهش یافت که احتمالاً نشان‌دهنده اثر آنتاگونیستی بین سلنیوم و منگنز است.

جدول ٤. تأثیر محلول‌پاشی سلنیوم بر عناصر میکرو و سلنیوم در برگ و میوه انار رقم ملس ساوه

تیمار	آهن میوه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	آهن برگ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	منیزیم برگ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	منیزیم میوه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی برگ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی میوه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
شاهد	۷۵/۵c	۸۶/۸ c	۶۷/۲a	۷۷/۸a	۱۱/۴c	۴۱/۸d
۲ میلی‌گرم بر لیتر	۱۸۴/۹b	۱۰۷/۰۱b	۵۱/۶b	۷۱/۲b	۱۳/۵b	۵۱/۸c
۴ میلی‌گرم بر لیتر	۱۹۵/۵b	۱۳۰/۲a	۴۵/۴c	۵۷/۸c	۱۵/۲b	۶۰/۴b
۶ میلی‌گرم بر لیتر	۲۲۳/۷a	۱۳۳/۶a	۳۷/۷d	۵۲/۲d	۲۰/۰۹a	۶۶/۴a

† میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

۵. بحث

نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد سلنیوم، به‌طور قابل‌توجهی بر رشد و توسعه آریل‌ها در مقایسه با شاهد تأثیرگذار بوده است. در طول مطالعه، نمونه‌های تیمارشده با سلنیوم باعث افزایش طول، قطر و وزن آریل بیش‌تری نسبت به نمونه شاهد داشتند. این بهبود قابل‌توجه در صفات میوه را می‌توان به نقش حیاتی سلنیوم در تنظیم متابولیسم گیاه مرتبط دانست (زاهدی و همکاران، ۲۰۱۹). سلنیوم با تقویت جذب مواد مغذی ضروری مانند پتاسیم و کلسیم که برای رشد سلول حیاتی است، و هم‌چنین بهبود فعالیت فتوسنتز و کاهش تنش اکسیداتیو، به رشد بهینه میوه کمک می‌کند (هوانگ[1] و همکاران، ۲۰۱۶). مطالعات پیشین نیز تأثیر مثبت سلنیوم بر کیفیت میوه در محصولات باغبانی دیگر مانند سیب را

1. Huang

تأیید کرده‌اند. نتایج این پژوهش با یافته‌های مطالعات قبلی (میوچی[1] و همکاران، ۲۰۲۱؛ بابالار و همکاران، ۲۰۱۹؛ موسی[2] و همکاران، ۲۰۲۲) همخوانی دارد به‌ویژه، غلظت‌های ۶ و ۴ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم، بهترین نتایج را در بهبود کیفیت میوه نشان دادند. مطالعات نشان داده است افزایش در معیارهای رشد میوه را می‌توان به نقش سلنیوم در توسعه تقسیم سلول و افزایش رشد دیواره آن نسبت داد. سلنیوم احتمالاً با غشاهای پلاسما تعامل می‌کند و نفوذپذیری به یون‌های کلیدی مانند پتاسیم، سدیم و کلسیم را تغییر می‌دهد (چنگ[3] و همکاران، ۲۰۱۶). این تعامل جذب آب را افزایش می‌دهد و تخلیه آبکش را تنظیم می‌کند و سبب افزایش اندازه میوه و رشد آن می‌گردد (هو[4] و همکاران، ۲۰۲۰).

این نتایج نشان می‌دهند که استفاده از سلنیوم می‌تواند به‌طور مؤثری کیفیت میوه را بهبود بخشد و پتانسیل بالایی در افزایش عملکرد و کاهش خسارت‌های ناشی از آفات در تولید میوه دارد. مطالعات قبلی نشان داده‌اند غلظت‌های ۱۰ تا ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم تأثیر منفی بر رشد و تولیدمثل برخی از آفات مهم کشاورزی مانند شته‌ها (هانسون[5] و همکاران، ۲۰۰۴) و حشره *Ostrinia furnacalis* دارد (هان[6] و همکاران، ۲۰۱۷). هم‌چنین، اثربخشی سلنیوم در کنترل آفات در محصولات زراعی مختلفی از جمله پنبه و بادام‌زمینی (لالیتا[7] و همکاران، ۲۰۱۸) و کاهش جمعیت لاروهای *Spodoptera litura* گزارش شده است (آرونتیرومنی[8] و همکاران، ۲۰۲۲) که با یافته‌های این پژوهش مبنی بر کاهش جمعیت کرم گلوگاه انار نیز همخوانی دارد. علاوه بر اثر کنترل آفات، سلنیوم نقش مهمی در بهبود کیفیت میوه ایفا می‌کند. این عنصر با تنظیم فعالیت آنزیم‌های دیواره سلولی مانند پلی‌گالاکتوروناز و اکسپانسین (پزاروسا و همکاران، ۲۰۱۲) باعث بهبود استحکام میوه و کاهش ترک‌خوردگی میوه می‌شود. هم‌چنین، با بهبود تعادل آب و جلوگیری از نوسانات اسمزی (الرمادی[9] و همکاران، ۲۰۲۲) از بروز آفتاب‌سوختگی و سایر آسیب‌های مرتبط با تنش‌های محیطی جلوگیری می‌کند. این اثر مثبت در محصولات مختلف از جمله انار (موسی و همکاران، ۲۰۲۲) و سیب قبلاً نیز گزارش شده است شده است (بابالار و همکاران، ۲۰۱۹). کاربرد برگی سلنیوم با غلظت‌های ۱۰-۶ میلی‌گرم در لیتر، علاوه بر بهبود کیفیت میوه، باعث افزایش فتوسنتز، محتوای کلروفیل و رشد گیاه می‌شود (هاوریلاک[10]- نواک و همکاران، ۲۰۱۳) این موضوع منجر به افزایش عملکرد محصول در برخی از محصولات باغبانی مانند پرتقال واشنگتن ناول (بکر[11] و همکاران، ۲۰۱۸) و خرما زغلول (الکریم[12] و همکاران، ۲۰۱۴) شده است.

یافته‌های این پژوهش نشان داد که کاربرد سلنیوم به‌طور معنی‌داری موجب بهبود کیفیت میوه‌های انار شد. افزایش اسید قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی کل، نشان‌دهنده بهبود طعم، رنگ و خواص تغذیه‌ای میوه انار می‌باشد. مطالعات نشان داده‌اند که سلنیوم با کاهش متابولیسم میوه، به‌ویژه با کاهش تولید اتیلن و تنفس، باعث افزایش اسید قابل تیتراسیون میوه می‌شود (هو و همکاران، ۲۰۲۰). این اثر با کاهش بیان آنزیم‌های سنتز اتیلن مانند ACC سینتاز و ACC اکسیداز حاصل می‌شود (ریاز الدین[13] و همکاران، ۲۰۲۲). علاوه بر این، سلنیوم با افزایش

1. Meucci
2. Mosa
3. Cheng
4. Hu
5. Hanson
6. Han
7. Lalitha
8. Arunthirumeni
9. El-Ramady
10. Hawrylak-Nowak
11. Bakr
12. El-Kareem
13. Riyazuddin

فعالیت فتوسنتز و کاهش مصرف قند در طی فرایند تنفس، باعث افزایش مواد جامد محلول (TSS)[1] در میوه می‌شود (الموتایری[2] و همکاران، ۲۰۲۳). هم‌چنین، با کاهش تنش اکسیداتیو، بهبود یکپارچگی غشای سلول و افزایش سنتز ویتامین C و آنتوسیانین‌ها، کیفیت میوه را به‌طور قابل‌توجهی بهبود می‌بخشد (بابالار و همکاران، ۲۰۱۹؛ مظفری[3] و همکاران، ۲۰۲۰). این یافته‌ها با مطالعات قبلی در محصولات مختلف از جمله توت‌فرنگی (لین و همکاران، ۲۰۲۴) انگور (مظفری و همکاران، ۲۰۲۰)، گوجه‌فرنگی (زو و همکاران، ۲۰۱۷)، سیب (بابالار و همکاران، ۲۰۱۹)، گلابی (پزاروسا و همکاران، ۲۰۱۷) و انار (موسی و همکاران، ۲۰۲۲) نیز همخوانی دارد.

سلنیوم نقش مهمی در بهبود تغذیه گیاهان ایفا می‌کند. یکی از اثرات مهم سلنیوم، تأثیر آن بر متابولیسم نیتروژن است. سلنیوم با کاهش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز که نقش کلیدی در جذب و تبدیل نیترات به نیتریت و در نهایت آمونیوم را ایفا می‌کند، می‌تواند جذب و استفاده نیتروژن توسط گیاه را افزایش دهد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند کاربرد مناسب سلنیوم منجر به افزایش مقدار نیتروژن در میوه‌ها می‌شود که این موضوع به بهبود سنتز پروتئین و در نهایت، افزایش کیفیت میوه منجر می‌شود (اردم[4]، ۲۰۲۴). علاوه بر این، مشاهده شده است که سلنیوم با افزایش فعالیت آنزیم‌های گلوتامین سنتتاز (GS)[5] و گلوتامات سنتتا (GOGAT)[6] که در مسیرهای متابولیسم نیتروژن نقش دارند، باعث افزایش جذب و استفاده از نیتروژن توسط گیاه می‌شود (سامیناتان[7] و همکاران، ۲۰۲۳). افزایش مقدار نیتروژن در برگ‌های گیاهان تیمارشده با سلنیوم، مانند انار، می‌تواند به تأثیر این عنصر بر فعالیت آنزیم‌های ذکرشده نسبت داده شود. یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات پیشین بر روی گیاهانی نظیر پرتقال والنسیا (ابراهیم و الوصفی[8]، ۲۰۱۴) مطابقت دارد، به‌گونه‌ای که در آن مطالعه نیز گزارش شد کاربرد سلنیوم، به‌تنهایی یا در ترکیب با عناصر بور و پتاسیم، موجب افزایش محتوای عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم در بافت گیاهی شده است. سلنیوم هم‌چنین بر جذب و انتقال پتاسیم در گیاهان تأثیرگذار است. در مقادیر پایین، سلنیوم به‌طور قابل‌توجهی جذب پتاسیم را افزایش می‌دهد. پتاسیم عنصری ضروری برای تنظیم اسمزی سلول، فعال‌سازی آنزیم‌های مختلف و انجام فرایند فتوسنتز در گیاهان است. به‌عنوان‌مثال، در مطالعات انجام‌شده بر روی توت‌فرنگی، مشاهده شده است که کاربرد سلنیوم باعث افزایش مقدار پتاسیم در میوه‌ها شده است که این موضوع بر طعم میوه تأثیر مثبت داشته است (هوانگ[9] و همکاران، ۲۰۲۳). تأثیر سلنیوم بر جذب و انتقال عناصر معدنی می‌تواند متغیر باشد. در برخی موارد، مشاهده شده است که بین سلنیوم و سایر عناصر معدنی، اثر سینرژیستی یا آنتاگونیسم وجود دارد. به‌عنوان‌مثال، در مطالعه‌ای بر روی درختان پرتقال[10] مشاهده شده است که کاربرد محلول‌پاشی سلنیوم با غلظت‌های مختلف ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش قابل‌توجهی در مقدار پتاسیم، نیتروژن و فسفر در برگ‌ها شده است. بااین‌حال، غلظت پی‌پی‌ام ۴۰ بیش‌ترین تأثیر را بر افزایش مقدار این عناصر داشته است (بکر و همکاران، ۲۰۱۸). محلول‌پاشی سلنیوم به‌طور قابل‌توجهی جذب چندین عنصر غذایی، از جمله سلنیوم، آهن و سدیم را افزایش داده و با حفظ فشار تورمی، عملکرد گندم را بهبود بخشید (نواز[11] و همکاران، ۲۰۱۵). سلنیوم با کاهش فعل‌وانفعالات خاک– گیاه و افزایش فعالیت آنزیم‌های حیاتی برای جذب آهن، در دسترس‌پذیری و جذب آهن

1. Total Soluble Solids
2. Almutairi
3. Mozaffari
4. Erdem
5. Glutamine synthetase
6. Glutamate synthase (GOGAT)
7. Samynathan
8. Ibrahim and Al-Wasfy
9. Huang
10. *Citrus sinensis*
11. Nawaz

مؤثر واقع می‌شود (مورایس[1] و همکاران، ۲۰۲۴). محلول‌پاشی سلنیوم با افزایش مقدار آهن در برگ‌ها و میوه‌ها مرتبط بوده‌اند و به‌طور بالقوه راندمان فتوسنتز و تحمل تنش را افزایش می‌دهد که با نتایج ما همسو بوده است. به‌عنوان‌مثال، در انار (زاهدی و همکاران، ۲۰۱۹) تیمارهای سلنیوم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داده‌اند که به‌طور غیرمستقیم از تنظیم و تعادل آهن در گیاه حمایت می‌کند. هم‌چنین، محلول‌پاشی سلنیوم با افزایش سطح روی (Zn) در گیاهان همراه بوده که این اثر به‌ویژه برای عملکرد صحیح آنزیم‌ها و تنظیم هورمونی از اهمیت بالایی برخوردار است. مطالعات نشان داده‌اند که سلنیوم تحرک و فراهمی زیستی روی را در محصولاتی مانند گوجه‌فرنگی افزایش می‌دهد و باعث بهبود استحکام میوه و افزایش ماندگاری آن می‌شود (مورایس و همکاران، ۲۰۲۴). سلنیوم، به‌ویژه به شکل سلنیوم (SeO_4^{2-})[2]، با سولفات (SO_4^{2-})[3] برای مسیرهای جذب در ریشه گیاهان رقابت می‌کند. ازآنجایی‌که جذب منگنز (Mn) اغلب به کانال‌های یونی یکسانی مرتبط است که سولفات یا یون‌های مرتبط با آن را مدیریت می‌کنند، غلظت‌های بالای سلنیوم می‌تواند جذب منگنز را مهار کند. این رقابت، فراهمی منگنز در بافت‌های گیاهی را کاهش می‌دهد که با نتایج ما همسو بوده است (بولدرین[4] و همکاران، ۲۰۱۳). سلنیوم با تعدیل سازوکارهای انتقال شیره پرورده و آوند چوبی، بر جابه‌جایی درون‌گیاهی منگنز اثرگذار است. این اثر می‌تواند کارایی منگنز را در پشتیبانی از عملکردهای سلولی، به‌ویژه در کلروپلاست‌ها که منگنز نقش حیاتی در پایداری فتوسیستمII ایفا می‌کند، کاهش دهد، یافته‌ای که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد (وویجیک و همکاران، ۲۰۱۳).

۶. نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات

محلول‌پاشی سلنیوم (Se) تأثیر معنی‌داری بر بهبود صفات فیزیولوژیکی و زراعی انار رقم ملس ساوه داشت. نتایج نشان داد که پارامترهایی مانند عملکرد میوه، وزن، طول، قطر، حجم، درصد کل مواد جامد محلول، شکل میوه، ویتامین C، محتوای فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، سطوح آنتوسیانین و میزان اسیدکل آب‌میوه در مقایسه با تیمار شاهد، به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند. هم‌چنین، کاربرد سلنیوم به‌طور مؤثر منجر به کاهش درصد ترک‌خوردگی و آفتاب‌سوختگی میوه‌ها شد. در میان غلظت‌های مختلف، تیمارهای ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر مؤثرترین عملکرد را داشتند و تیمار ۶ میلی‌گرم در لیتر، مناسب‌ترین غلظت برای بهبود صفات کیفی میوه و نیز افزایش غلظت عناصر درشت مغذی و ریزمغذی‌ها در برگ‌ها و میوه‌ها شناخته شد. کاربرد سلنیوم هم‌چنین باعث افزایش محتوای ترکیبات فنلی، سطوح آنتوسیانین‌ها و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شد که این اثرات با افزایش فعالیت آنزیمی مرتبط بودند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که غلظت ۶ میلی‌گرم در لیتر سدیم سلنیت می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی بهینه جهت بهبود کیفیت میوه انار، کاهش اختلالات فیزیولوژیکی و ارتقای ارزش تغذیه‌ای میوه مطرح باشد و سلنیوم را به ابزاری کارآمد برای بهینه‌سازی تولید انار در شرایط مشابه تبدیل می‌کند.

۷. تشکر و قدردانی

از دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به‌خاطر تأمین امکانات و تجهیزات لازم برای انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

1. Morais
2. Selenate (SeO_4^{2-})
3. Sulfate (SO_4^{2-})
4. Boldrin

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

Almutairi, K. F., Górnik, K., Awad, R. M., Ayoub, A., Abada, H. S., & Mosa, W. F. (2023). Influence of selenium, titanium, and silicon nanoparticles on the growth, yield, and fruit quality of mango under drought conditions. *Horticulturae*, *9*(11), 1231.

Al-Saif, A. M., Mosa, W. F., Saleh, A. A., Ali, M. M., Sas-Paszt, L., Abada, H. S., & Abdel-Sattar, M. (2022). Yield and fruit quality response of pomegranate (*Punica granatum*) to foliar spray of potassium, calcium and kaolin. *Horticulturae*, *8*(10), 946.

Arunthirumeni, M., Veerammal, V., & Shivakumar, M. S. (2022). Biocontrol efficacy of mycosynthesized selenium nanoparticle using Trichoderma sp. on insect pest Spodoptera litura. *Journal of Cluster Science*, *33*(4), 1645-1653.

Asadi, E., Ghehsareh, A. M., Moghadam, E. G., Hoodaji, M., & Zabihi, H. R. (2019). Improvement of pomegranate colorless arils using iron and zinc fertilization. *Journal of Cleaner Production*, *234*, 392-399.

Ashtari, M., Khademi, O., Soufbaf, M., Afsharmanesh, H., & Sarcheshmeh, M. A. A. (2019). Effect of gamma irradiation on antioxidants, microbiological properties and shelf life of pomegranate arils cv. 'Malas Saveh'. *Scientia Horticulturae*, *244*, 365-371.

Babalar, M., Mohebbi, S., Zamani, Z., & Askari, M. A. (2019). Effect of foliar application with sodium selenate on selenium biofortification and fruit quality maintenance of 'Starking Delicious' apple during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(11), 5149-5156.

Bakr, B. B., El-Gazzar, A. A., Mansour, N. A., & Fawzy, M. I. (2018). Effect of spraying Washington navel orange trees with selenium on vegetative growth, productivity and fruit quality. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, *26*, 2311-2323.

Boldrin, P. F., Faquin, V., Ramos, S. J., Boldrin, K. V. F., Ávila, F. W., & Guilherme, L. R. G. (2013). Soil and foliar application of selenium in rice biofortification. *Journal of Food Composition and Analysis*, *31*(2), 238-244.

Buccheri, M., Picchi, V., Grassi, M., Gandin, D., Bianchi, G., & Scalzo, R. L. (2021). Dynamic changes of antioxidants and fermentative metabolites in apple peel in relation to storage, controlled atmosphere, and initial low oxygen stress. *Scientia Horticulturae*, *288*, 110312.

Cheng, B., Lian, H. F., Liu, Y. Y., Yu, X. H., Sun, Y. L., Sun, X. D., & Liu, S. Q. (2016). Effects of selenium and sulfur on antioxidants and physiological parameters of garlic plants during senescence. *Journal of Integrative Agriculture*, *15*(3), 566-572.

Davarpanah, S., Tehranifar, A., Davarynejad, G., Abadía, J., & Khorasani, R. (2016). Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. *Scientia Horticulturae*, *210*, 57-64.

Drahoňovský, J., Száková, J., Mestek, O., Tremlová, J., Kaňa, A., Najmanová, J., & Tlustoš, P. (2016). Selenium uptake, transformation and inter-element interactions by selected wildlife plant species after foliar selenate application. *Environmental and Experimental Botany*, *125*, 12-19.

El-Kareem, M. G., Aal, A. A., & Mohamed, A. Y. (2014). The synergistic effects of using silicon and selenium on fruiting of Zaghloul date palm (*Phoenix dectylifera* L.). *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 259-262.

El-Ramady, H., Hajdú, P., Törős, G., Badgar, K., Llanaj, X., Kiss, A., & Prokisch, J. (2022). Plant nutrition for human health: a pictorial review on plant bioactive compounds for sustainable agriculture. *Sustainability*, *14*(14), 8329.

Erdem, S. Ö. (2024). Effect of Selenium Application on Quality, Phytochemical Composition and Mineral Content Properties of Red Currant (*Ribes rubrum* L.) and Jostaberry (Ribes× nidigrolaria Bauer). *HortScience*, *59*(8), 1049-1055.

Fu, D. D., Duan, M. L., Liang, D. L., Wang, S. S., & Wu, X. P. (2011). Effects of selenite and selenate on growth and nutrient absorption of pakchoi. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, *17*(2), 358-365.

Galić, L., Vinković, T., Ravnjak, B., & Lončarić, Z. (2021). Agronomic biofortification of significant cereal crops with selenium A review. *Agronomy*, *11*(5), 1015.

García-Pastor, M. E., Giménez, M. J., Zapata, P. J., Guillén, F., Valverde, J. M., Serrano, M., & Valero, D. (2020). Preharvest application of methyl salicylate, acetyl salicylic acid and salicylic acid alleviated disease caused by Botrytis cinerea through stimulation of antioxidant system in table grapes. *International Journal of Food Microbiology*, *334*, 108807.

Hanson, B., Lindblom, S. D., Loeffler, M. L., & Pilon-Smits, E. A. (2004). Selenium protects plants from phloem-feeding aphids due to both deterrence and toxicity. *New Phytologist*, *162*(3), 655-662.

Hawrylak-Nowak, B. (2013). Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions. *Plant Growth Regulation*, *70*, 149-157.

Hegazi, A., Samra, N. R., El-Baz, E. E. T., Khalil, B. M., & Gawish, M. S. (2014). Improving fruit quality of Manfaloty and Wonderful pomegranates by using bagging and some spray treatments with gibberellic acid, calcium chloride, and kaolin. *Journal of Plant Production*, *5*(5), 779-792..

Hu, T., Hui, G., Li, H., & Guo, Y. (2020). Selenium biofortification in Hericium erinaceus (Lion's Mane mushroom) and its in vitro bioaccessibility. *Food Chemistry*, *331*, 127287.

Huang, S., Gao, L., Fu, G., Du, S., Wang, Q., Li, H., & Wan, Y. (2023). Interactive effects between zinc and selenium on mineral element accumulation and fruit quality of strawberry. *Agronomy*, *13*(10), 2453.

Hussein, A. S., Abeed, A. H., Usman, A. R., & Abou-Zaid, E. A. (2024). Conventional vs. nano-micronutrients as foliar fertilization for enhancing the quality and nutritional status of pomegranate fruits. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *23*(2), 112-122.

Ibrahim, H. I. M., & Al-Wasfy, M. M. (2014). The promotive impact of using silicon and selenium with potassium and boron on fruiting of Valencia orange trees grown under Minia region conditions. *World Rural Observations*, *6*(2), 28-36.

Jiang, D., Matsushita, B., Pahlevan, N., Gurlin, D., Fichot, C. G., Harringmeyer, J., ... & Spyrakos, E. (2023). Estimating the concentration of total suspended solids in inland and coastal waters from Sentinel-2 MSI: A semi-analytical approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *204*, 362-377.

Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants*, Fourth Edn. Boca Raton, FL: CRC Press

Lalitha, K., Karthi, S., Vengateswari, G., Karthikraja, R., Perumal, P., & Shivakumar, M. S. (2018). Effect of entomopathogenic nematode of Heterorhabditis indica infection on immune and antioxidant system in lepidopteran pest Spodoptera litura (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Parasitic Diseases*, *42*, 204-211.

Li, D., Zhou, C., Zou, N., Wu, Y., Zhang, J., An, Q., ... & Pan, C. (2021). Nanoselenium foliar application enhances biosynthesis of tea leaves in metabolic cycles and associated responsive pathways. *Environmental Pollution*, *273*, 116503.

Lin, Y., Cao, S., Wang, X., Liu, Y., Sun, Z., Zhang, Y., ... & Tang, H. (2024). Foliar application of sodium selenite affects the growth, antioxidant system, and fruit quality of strawberry. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1449157.

Lorente-Mento, J. M., Serrano, M., Martínez-Romero, D., Ruiz-Aracil, M. C., Valero, D., & Guillén, F. (2023). The simultaneous use of 1-methylcyclopropene and methyl jasmonate vapor as an innovative strategy for reducing chilling injury and maintaining pomegranate fruit quality at suboptimal temperatures. *Foods*, *13*(1), 60.

Lu, N., Wu, L., Zhang, X., Zhang, Y., & Shan, C. (2022). Selenium improves the content of vitamin C in the fruit of strawberry by regulating the enzymes responsible for vitamin C metabolism. *Plant, Soil & Environment*, *68*(4).

Luo, H., Du, B., He, L., Zheng, A., Pan, S., & Tang, X. (2019). Foliar application of sodium selenate induces regulation in yield formation, grain quality characters and 2-acetyl-1-pyrroline biosynthesis in fragrant rice. *BMC Plant Biology*, *19*, 1-12.

Malagoli, M., Schiavon, M., Dall'Acqua, S., & Pilon-Smits, E. A. (2015). Effects of selenium biofortification on crop nutritional quality. *Frontiers in Plant Science*, *6*, 280.

Meucci, A., Shiriaev, A., Rosellini, I., Malorgio, F., & Pezzarossa, B. (2021). Se-enrichment pattern, composition, and aroma profile of ripe tomatoes after sodium selenate foliar spraying performed at different plant developmental stages. *Plants*, *10*(6), 1050.

Mimmo, T., et al. (2017). Selenium application in strawberries: A biofortification approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *65*(20), 4200-4208

Morais, E. G. D., Silva, M. A., Quispe, A. P. V., Machado, G. G. L., Prado, D. T., Benevenute, P. A. N., & Guilherme, L. R. G. (2024). Foliar Sprays of Multi-Nutrient Fertilizer Containing Selenium Produce Functional Tomato Fruits with Higher Shelf Life. *Plants*, *13*(16), 2288.

Mosa, W. F., Behiry, S. I., Ali, H. M., Abdelkhalek, A., Sas-Paszt, L., Al-Huqail, A. A., ... & Salem, M. Z. (2022). Pomegranate trees quality under drought conditions using potassium silicate, nanosilver, and selenium spray with valorization of peels as fungicide extracts. *Scientific Reports*, *12*(1), 6363.

Mozaffari, M., Razavi, F., Rabiei, V., Kheiry, A., & Hassani, A. (2020). Effect of preharvest spraying of selenium on qualitative and biochemical characteristics of grape cv. Fakhri (*Vitis vinifera* cv. Fakhri). *Journal of Horticultural Science*, *12*(1), 177-192.

Nawaz, F., Ahmad, R., Ashraf, M. Y., Waraich, E. A., & Khan, S. Z. (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

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*(4), 781-786.

Riyazuddin, R., Choudhary, A. K., Khatri, N., Sarkar, A., Agrawal, G. K., Kim, S. T., ... & Rakwal, R. (2022). Proteomics as a tool to understand the biology of agricultural crops. In *Bioinformatics in Agriculture* (pp. 107-122). Academic Press

Samynathan, R., Venkidasamy, B., Ramya, K., Muthuramalingam, P., Shin, H., Kumari, P. S., & Sivanesan, I. (2023). A recent update on the impact of nano-selenium on plant growth, metabolism, and stress tolerance. *Plants*, *12*(4), 853.

Tehranifar, A., Zarei, M., Nemati, Z., Esfandiyari, B., & Vazifeshenas, M. R. (2010). Investigation of physico-chemical properties and antioxidant activity of twenty Iranian pomegranate (Punica granatum L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, *126*(2), 180-185.

Tezotto-Uliana, J. V., Fargoni, G. P., Geerdink, G. M., & Kluge, R. A. (2014). Chitosan applications pre-or postharvest prolong raspberry shelf-life quality. *Postharvest Biology and Technology*, *91*, 72-77.

Wang, F., Li, Y., Shifa, T. A., Liu, K., Wang, F., Wang, Z., & He, J. (2016). Selenium-enriched nickel selenide nanosheets as a robust electrocatalyst for hydrogen generation. *Angewandte Chemie International Edition*, *55*(24), 6919-6924.

Wang, Y., Xie, X., Chen, H., Zhang, K., Zhao, B., & Qiu, R. (2024). Selenium-Induced Enhancement in Growth and Rhizosphere Soil Methane Oxidation of Prickly Pear. *Plants*, *13*(6), 749.

Wojcik, P. (2013). Uptake of mineral nutrients from foliar fertilization. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, *21*(2), 123-134.

Wu, Z., Bañuelos, G. S., Lin, Z. Q., Liu, Y., Yuan, L., Yin, X., & Li, M. (2015). Biofortification and phytoremediation of selenium in China. *Frontiers in Plant Science*, *6*, 136.

Yao, Y., et al. (2014). Effects of selenium application on fruit quality and antioxidant activity in apple. *Food Chemistry*, *157*, 69-76.

Yin, K., Bao, Q., Li, J., Wang, M., Wang, F., Sun, B., & Lian, F. (2024). Molecular mechanisms of growth promotion and selenium enrichment in tomato plants by novel selenium-doped carbon quantum dots. *Chemosphere*, *364*, 143175.

Zahedi, S. M., Hosseini, M. S., Meybodi, N. D. H., & da Silva, J. A. T. (2019). Foliar application of selenium and nano-selenium affects pomegranate (*Punica granatum* cv. Malase Saveh) fruit yield and quality. *South African Journal of Botany*, *124*, 350-358.

Zhan, T., Hu, C., Kong, Q., Shi, G., Tang, Y., Zhou, Y., ... & Zhao, X. (2021). Chitin combined with selenium reduced nitrogen loss in soil and improved nitrogen uptake efficiency in Guanxi pomelo orchard. *Science of the Total Environment*, *799*, 149414.

Zhang, X., Li, X., Su, M., Du, J., Zhou, H., Li, X., & Ye, Z. (2020). A comparative UPLC-Q-TOF/MS-based metabolomics approach for distinguishing peach (*Prunus persica* L.) Batsch) fruit cultivars with varying antioxidant activity. *Food Research International*, *137*, 109531.

Huang, C., Qin, N., Sun, L., Yu, M., Hu, W., & Qi, Z. (2018). Selenium improves physiological parameters and alleviates oxidative stress in strawberry seedlings under low-temperature stress. International. *Journal of Molecular Sciences*, *19*(7), 1913.