The University of Tehran Press

Iranian Journal of Horticultural Science

Online ISNN: 2008-482X

Homepage: http:// ijhs.ut.ac.ir/

The Effect of Root and Foliar Application of Selenium on the Growth and Yield of 'Queen Eliza' Strawberry in Hydroponic Culture

Katayon Mohebbi[1], Saeid Eshghi[2], Mohsen Shirdel[3]✉, Nilofar Rajaei[4]

1. Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: katyarshad95@gmail.com
2. Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: eshghi@shirazu.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: mohsenshirdel89@shirazu.ac.ir
4. Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Guilan, Iran. E-mail: nilofarrajaei1400@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 27 April 2023

Received in revised form: 17 February 2024

Accepted: 7 April 2024

Published online: Summer 2024

Keywords:

Antocyanine,
Antioxidant,
Chlorophyll,
Sodium selenite,
Nutrition solution.

ABSTRACT

Due to the elimination of soil in soilless cultivation and the lack of some beneficial elements in the nutrient solution, the application of these elements in soilless cultivation can effectively improve plant growth. This research was conducted with the aim of investigating the effect of root and foliar application of selenium on vegetative growth, fruit quality and yield of 'Queen Elisa' strawberry, using eight treatments and four replications in a completely randomized design. The sodium selenate treatments were applied at four to five leaves stage as follows: foliar application at three different concentrations (2, 4, 6 $mg.l^{-1}$) at two-week- intervals, root application at three different concentrations (1, 2, 3 $mg.l^{-1}$) , foliar application ($mg.l^{-1}$) along with root application ($mg.l^{-1}$), and control treatment . The results showed that the most effective treatments were 1 and 2 $mg.l^{-1}$ sodium selenate. The highest weight of fruits was obtained from the treatment with root applied-sodium selenite 1 $mg.l^{-1}$, while treatment with sodium selenite 2 $mg.l^{-1}$ showed more increase in the amount of anthocyanin and antioxidant activity of fruits. The highest amount of iron (Fe) and zinc (Zn) were found in the root applied-sodium selenite 1 $mg.l^{-1}$ with 140.06 and 17.83 $mg.kg^{-1}$ of dry matter, respectively. Consequently, in Queen Elisa strawberry under hydroponic conditon, the root application of sodium selenate at different concentrations had better results than foliar application.

Cite this article: Mohebbi, K., Eshghi, S., Shirdel, M. & Rajaei, N. (2024). The Effect of Root and Foliar Application of Selenium on the Growth and Yield of 'Queen Eliza' Strawberry in Hydroponic Culture. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 55 (2), 273-293. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.283573.2101

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.283573.2101

Extended Abstract

Introduction

Selenium is a useful element for plants and essential elements for human health. A reliable strategie to supply selenium requirement for humans is the bio-enrichment of fruits and vegetables with this element. Considering the soilless cultivation and the lack of some beneficial elements in the nutrient solution, using them can effectively improve plant growth. On the other hand, strawberry is one of the most delicious and popular small fruits that is widely produced throughout the year in soilless culture systems. This research was conducted with the aim of investigating the effect of two methods of selenium application , root and foliar, at different concentration on the growth and yield of Queen Eliza strawberry in hydroponic culture.

Materials and Methods

This research was conducted in the greenhouse of the Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shiraz University in 2017. A commercial nursery situated in Kurdistan provided Queen Elisa

strawberry cultivar. Daughter plants were planted in pots containing a mixture of cocopeat and perlite in a ratio of 1:1. The experiment was conducted for eight treatments and four replications in a completely randomized design. In plants at four to five leaf stages, sodium selenate was applied foliar at three concentrations (2, 4, 6 $mg.l^{-1}$) at two-week intervals and root-applied at three concentrations (1, 2, 3 $mg.l^{-1}$) together with the nutrient solution, combination of 2 $mg.l^{-1}$ foliar and 1 $mg.l^{-1}$ root application, and control treatment. The average day temperature in the greenhouse was 23±3 ºC, the night temperature was 15±3 ºC and the average relative humidity was 65%±5. In this research, the characteristics of leaf area, fresh and dry weight of roots and shoots, SPAD index, average weight, length and diameter of primary and secondary fruits, number of achenes, fruit yield, TSS, TA, vitamin C, free radical inhibition percentage (%DPPHs), total phenol, anthocyanin, chlorophyll a, b and total, carotenoids, ion leakage, nutrients such as Fe, Zn, N and Se were evaluated. Data were analyzed using SAS 9.2 software and means were compared using Duncan's multiple range test.

Results and Discussion

The results of this study showed that the most effective treatments were treatments 1 and 2 $mg.l^{-1}$ sodium selenate. The highest chlorophyll was obtained in the 1 $mg.l^{-1}$ sodium selenate in nutrient solution treatment. Root application of 1 $mg.l^{-1}$ sodium selenate resulted in the absorption of iron and zinc, as well as the highest concentration of carotenoid (4.69 $mg.g^{-1}$ F.W.). Furthermore, the application of sodium selenate at 1 $mg.l^{-1}$ resulted in the highest fruit weight (15.36 g) and length (37.97 mm). According to the results, the highest levels of anthocyanin and percentage of free radical inhibition were obtained with an average of 12.59 mg cyanidin glucoside/100 ml juice and 96.54 percent reduction of DPPHs, respectively, with 2 $mg.l^{-1}$ sodium selenate. The highest TSS, TA and TSS/TA were obtained with the application of 2 $mg.l^{-1}$ sodium selenate. Finally, the highest number of inflorescences, the number of achenes and average diameter of primary and secondary fruits were observed in the treatment with 3 $mg.l^{-1}$ of sodium selenate. Foliar treatments had the highest selenium uptake in fruit and root. Thus, in this study, the root application had better results at different levels than the foliar application of sodium selenate.

Conclusion

Since selenium is an essential element in the human body and cannot be added to the foods directly, the bio-enrichment of products with selenium can be a source of supply of this element. Considering the purpose of the research, t he highest absorption of selenium in the strawberry fruit was observed in the treatment of 4 $mg.l^{-1}$sodium selenate foliar spraying , which does not have a negative effect on human health. In general, among the foliar spraying treatments, the 4 $mg.l^{-1}$ treatment and among the root nutrition solution treatments, the 1 and 2 $mg.l^{-1}$ treatments had the most positive effect and can be considered as the best treatments investigated in this research.

نشریه علوم باغبانی ایران، دوره ۵۵، شماره ۲

انتشارات دانشگاه تهران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۷۹۳۰

Homepage: http://ijhs.ut.ac.ir//

اثر کاربرد ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگی سلنیوم بر رشد و عملکرد توت‌فرنگی رقم کوئین‌الیزا در کشت هیدروپونیک

کتایون محبی [۱]| سعید عشقی [۲]| محسن شیردل [۳]✉| نیلوفر رجائی [۴]

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: katyarshad95@gmail.com

۲. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: eshghi@shirazu.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: mohsenshirdel89@shirazu.ac.ir

۴. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران. رایانامه: nilofarrajaei1400@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹

تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۳

کلیدواژه‌ها:

آنتوسیانین، ضداکسایش، سلنات سدیم، کلروفیل، محلول غذایی.

چکیده

با توجه به حذف خاک در کشت‌های بدون خاک و عدم تامین برخی عناصر مفید در محلول غذایی، استفاده از عناصر مفید در شرایط کشت بدون خاک می‌تواند در بهبود رشد گیاهان موثر باشد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کاربرد ریشه‌ای و محلول‌پاشی سلنیوم بر رشد رویشی، میوه‌دهی و عملکرد توت‌فرنگی رقم کوئین‌الیزا در قالب طرح کاملاً تصادفی با هشت تیمار و چهار تکرار انجام شد. در مرحله چهار تا پنج‌برگی، تیمارهای سلنات سدیم به‌صورت محلول‌پاشی در سه غلظت (دو، چهار و شش میلی‌گرم در لیتر) دو هفته یکبار، کاربرد ریشه‌ای در سه غلظت (یک، دو و سه میلی‌گرم در لیتر) یک روز در میان، تیمار ترکیبی محلول‌پاشی دو میلی‌گرم در لیتر همراه با کاربرد ریشه‌ای یک میلی‌گرم در لیتر و تیمار شاهد اعمال گردید. نتایج نشان داد موثرترین تیمارها شامل کاربرد ریشه‌ای سلنات سدیم یک و دو میلی‌گرم در لیتر بودند. بالاترین وزن میوه‌های اولیه (۱۵/۳۶ گرم) در تیمار محلول غذایی سلنات سدیم یک میلی‌گرم در لیتر و بیشترین افزایش در مقدار آنتوسیانین میوه و فعالیت ضداکسایشی در تیمار دو میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. بیشترین میزان جذب آهن و روی در تیمار محلول غذایی یک میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم به ترتیب با میانگین ۱۴۰/۰۶ و ۱۷/۸۳ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک بود. در مجموع، در توت‌فرنگی رقم کوئین‌الیزا در شرایط هیدروپونیک، کاربرد ریشه‌ای سلنات سدیم در سطوح مختلف نتایج بهتری را نسبت به تیمارهایی که محلول‌پاشی شدند، نشان داد.

استناد: محبی، کتایون؛ عشقی، سعید؛ شیردل، محسن و رجائی، نیلوفر (۱۴۰۳). اثر کاربرد ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگی سلنیوم بر رشد و عملکرد توت‌فرنگی رقم کوئین‌الیزا در کشت هیدروپونیک. *نشریه علوم باغبانی ایران*، ۵۵ (۲)، ۲۹۳-۲۷۳. DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.283573.2101

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.283573.2101

مقدمه

با وجود این که سلنیوم برای گیاهان عنصر مفیدی است، اما برای انسان و سایر حیوانات جزو عناصر ضروری است. یکی از راه‌های مطمئن تامین این عنصر برای انسان، زیست‌غنی‌سازی میوه‌ها و سبزی‌ها با این عنصر است. در کشت‌های خاکی، امکان تامین این عنصر تا حدودی از طریق خاک وجود دارد. اما در کشت‌های بدون خاک، تاکنون در برنامه‌های غذایی این عنصر افزوده نشده است. از سوی دیگر توت‌فرنگی از میوه‌های بسیار خوشمزه و پرطرفدار است که به‌طور وسیع در سراسر سال در سیستم‌های کشت بدون خاک تولید می‌شود. بنابراین، در این پژوهش اثر کاربرد سلنیوم در کشت بدون خاک توت‌فرنگی بر رشد و عملکرد و کیفیت میوه بررسی شده است.

توت‌فرنگی‌های تحت کشت (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) از دو رگه‌های بین دو گونه هشتگان ۲n= ۵۶ (*F. chiloensis* و *F. virginiana*) و متعلق به تیره وردسانان (Rosaceae) هستند. توت‌فرنگی رقم کوین‌الیزا یک رقم روزکوتاه است که در سال ۱۹۹۸ در کشور ایتالیا اصلاح شده است. میوه‌های آن بسیار درشت و سفت با رنگ قرمز کم رنگ، مخروطی شانه‌دار با نوک باریک می‌باشند که در زمان رسیدن میوه‌ها نوک باریک آن معمولا سفید رنگ باقی می‌ماند. ماندگاری نسبتا بالایی دارد و از ارقام بسیار خوشمزه به‌شمار می‌رود (Hawes, 1996). توت‌فرنگی یکی از بی‌نظیرترین میوه‌های ریز مناطق معتدله است که در دهه‌های اخیر در زمره تولیدات مهم و تجاری قرار گرفته است. این محصول به‌دلیل عطر، طعم و محتویات سرشار از ویتامین آن به‌خوبی شناخته شده و جایگاه خود را در رژیم غذایی میلیون‌ها نفر در جهان پیدا کرده است (Fatemy *et al.*, 2009). مطابق با آمار فائو، در سال ۲۰۱۷ سطح زیر کشت توت‌فرنگی در جهان بیش از ۵۴۳ هزار هکتار و میزان تولید جهانی این محصول حدود ۹ میلیون تن گزارش شده است، که سهم تولید ایران ۵۵۹۴۶ تن توت‌فرنگی است (FAO, 2017). چین با تولید سالانه سه میلیون تن بزرگترین تولید کننده این محصول است (FAO, 2019) و به دنبال آن ایالات متحده، مکزیک، مصر، ترکیه و اسپانیا قرار دارند. در منطقه خاورمیانه پس از ترکیه، ایران مهمترین تولیدکننده توت‌فرنگی است و به‌دلیل شرایط اقلیمی ویژه، در آینده‌ای نزدیک می‌تواند به عنوان یکی از تولیدکنندگان مهم توت‌فرنگی مطرح شود (Khademi Astaneh *et al.*, 2015). در ایران استان کردستان در رتبه اول تولید قرار دارد و پس از آن استان‌های مازندران و گلستان می‌باشند. ایران از لحاظ سطح زیر کشت در رتبه ۱۸ اما از نظر عملکرد در واحد سطح در رتبه ۳۹ دنیا قرار دارد (FAO, 2019). امروزه در جهان بیش از نیمی از محصولات گلخانه‌ای به روش کشت بدون خاک تولید می‌شوند. سیستم کشت بدون خاک یا هیدروپونیک، امکان کنترل هر چه بهتر تغذیه گیاهان را فراهم آورده و تحول شگرفی در عرضه محصولات گلخانه‌ای، از جمله توت‌فرنگی، ایجاد کرده است (Son *et al.*, 2020). توت‌فرنگی امروزه اغلب به‌صورت هیدروپونیک (کشت بدون خاک) کشت می‌شود. از آنجا که در این نوع کشت شرایط محیطی تا حدود زیادی قابل کنترل است، نتیجه مطلوب‌تر است و میزان عملکرد به‌صورت چشمگیری افزایش خواهد داشت (Son *et al.*, 2020).

سلنیوم (Se) یک عنصر شبه فلز در گروه شانزدهم جدول تناوبی است، که به‌طور غیریکنواخت در پوسته زمین توزیع یافته است. سلنیوم به‌خاطر حضور در سیستم‌های دفاعی ضداکسایشی و تعادل هورمونی اخیرا به‌عنوان یک ماده اساسی برای سلامتی انسان و حیوان شناخته شده است و می‌تواند نقش یک ضداکسایش را در مکانیسم گیاهان بازی کند (White & Broadley, 2009). گیاهان سلنیوم را در زنجیره غذایی بازیافت می‌کنند، بنابراین غنی‌سازی زیستی محصولات کشاورزی با سلنیوم با استفاده از افزودن سلنیوم همراه با کود یک فن مفید برای افزایش مصرف سلنیوم است (Broadley *et al.*, 2010). سلنیوم یک جزء ساختاری اصلی بسیاری از آنزیم‌ها مانند گلوتاتیون پراکسیداز، تیوردوکسین ردوکتاز و دیودینازها است. این آنزیم‌ها نقش مهمی در سیستم ضداکسایشی، تولید مثل، عملکرد ماهیچه‌ها و پیشگیری از تومورها دارند (Mehdi *et al.*, 2013). کمبود سلنیوم با بیماری‌های پارکینسون و آلزایمر مرتبط است. سلنیوم چشم‌ها را در برابر آب مروارید محافظت می‌کند و به‌عنوان یک ضداکسایش روند پیری را کند می‌کند. همچنین، سلنیوم از به هم چسبیدن پلاکت‌ها که باعث تشکیل لخته در شریان‌ها می‌شود جلوگیری نموده و از سکته قلبی ممانعت می‌کند (Tamas *et al.*, 2010). سلنیوم نمی‌تواند به‌طور مستقیم

به غذا افزوده شود (Finley *et al.*, 2005). بنابراین، محتوای سلنیوم را در گیاهان می‌توان به روش‌های مختلفی از جمله افزودن سلنیوم به خاک، خیساندن بذرها در محلول سلنیوم قبل از کشت، افزودن ترکیبات سلنیوم در محلول‌غذایی کشت‌های هیدروپونیک و آیروپونیک و محلول‌پاشی گیاهان با محلول سلنیوم، افزایش داد. غلظت سلنیوم در تولیدات کشاورزی و غذایی به محتوای سلنیوم موجود در خاک بستگی دارد (Sippola, 1979). همچنین، جذب و ذخیره سلنیوم توسط گیاهان به شکل شیمیایی، اقلیم، غلظت و فاکتورهایی مثل میزان اسیدیته، شوری و محتوای کربنات کلسیم و توانایی گیاهان وابسته است (Turakainen, 2007). گیاهان عالی ظرفیت‌های متفاوتی برای تجمع و تحمل سلنیوم دارند و آن‌ها به صورت انباشت‌گر و غیرانباشت‌گر سلنیوم طبقه‌بندی شده‌اند (Terry *et al.*, 2000). هنگامی که سلنیوم به شکل انحلال‌پذیر در خاک حضور دارد این عنصر به آسانی جذب گیاه می‌شود، هر چند اختلاف زیادی بین گونه‌های گیاهی گزارش شده است، اما امروزه مشخص شده است که جذب سلنیوم توسط گیاه بویژه تحت تاثیر دما قرار دارد، چرا که جذب سلنیوم توسط گیاه در دمای بیش از ۲۰ درجه سلسیوس (نسبت به فصل سردتر) و دمای کمتر از ۱۵ درجه سلسیوس بسیار بیشتر است. به‌نظر می‌رسد، از میان پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک، میزان اسیدیته مهمترین عامل در جذب سلنیوم است. قابلیت دسترسی سلنیوم در اسیدیته بالا بیشتر است (Ellis & Salt, 2003).

سلنیوم به‌شکل سلنات یا سلنیت جذب گیاهان شده و به سلنومتیونین و یا سلنوسیستئین به‌ویژه در دانه‌های غلات و حبوبات تبدیل و منتقل می‌شود (Lyons *et al.*, 2004). سلنات شکلی از سلنیوم است که قابل جذب برای گیاهان می‌باشد و فقط در شرایط قلیایی با تهویه کافی موجود است. خاک‌های غنی از سلنیوم با مقداری سلنات، در شرایط آب و هوایی خشک نیز یافت می‌شوند (Hilton *et al.*, 1980). معمولا گیاهان بیشتر سلنیوم را در اندام‌های هوایی و برگ نسبت به ریشه و اندام‌های زیرزمینی‌شان ذخیره می‌کنند. مشخص شده است که گیاه نخود نسبت به گیاهان دیگر سلنیوم زیادی را در برگ‌های خود انباشته می‌کند (Belzile *et al.*, 2006). با توجه به‌روند روزافزون بیماری سرطان و تاثیر اثبات شده سلنیوم در پیشگیری و کاهش پیشرفت این بیماری در انسان و از سویی دیگر عدم استفاده از این عنصر در غنی‌سازی میوه‌ها در بسیاری از کشورهای دنیا، نیاز به بررسی بیشتر تاثیر سلنیوم بر میوه‌های مختلف می‌باشد.

پیشینه پژوهش

تاکنون پژوهش‌های اندکی مبنی بر اثر سلنیوم بر رشد و نمو توت‌فرنگی صورت گرفته است. با توجه به خاصیت ضداکسایشی توت‌فرنگی، تاثیر این عنصر بر شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک این گیاه در بررسی‌های اولیه، میزان جذب و محتوای آن در بافت میوه و تاثیر سلنیوم بر افزایش ظرفیت ضداکسایشی در توت‌فرنگی در مطالعات تکمیلی ضروری به‌نظر می‌رسد. در پژوهشی که روی عدس انجام شد مشخص شد که سلنیوم به‌طور قابل توجهی باعث افزایش زیست‌توده، عملکرد دانه و غلظت سلنیوم دانه در هر دو روش کاربرد خاکی و محلول‌پاشی می‌شود (Thavarajah *et al.*, 2015). کاربرد ریشه‌ای سلنیوم باعث افزایش ظرفیت ضداکسایشی و افزایش انتخابی اسیدهای آمینه و محتوای عناصر ضروری در دانه برنج شد (Yin *et al.*, 2019). در پژوهشی که روی کاهو با استفاده از منابع سلنات و سلنیت انجام شد مشخص شد که استفاده از سلنات یا سلنیت در محلول‌غذایی در غلظت‌های کمتر از ۱۵ میکرومولار می‌تواند برای زیست غنی‌سازی کاهو با سلنیوم مورد استفاده قرار گیرد، همچنین باعث رشد بهتر گیاه و عدم ایجاد تغییرات قابل‌توجه در وضعیت اکسیدانی و تجمع گوگرد می‌شود (Hawrylak-Nowak, 2013). تعداد گل، گل‌آذین و درصد تشکیل میوه از صفت‌هایی هستند که رابطه مستقیمی با عملکرد محصول دارند. از مهمترین عواملی که می‌تواند عملکرد را تحت تاثیر قرار دهد رقم و تغذیه مناسب می‌باشد (Antunes *et al.*, 2010). هدف از این پژوهش، بررسی اثرهای مختلف تیمار سلنیوم به‌روش محلول‌پاشی و کاربرد ریشه‌ای بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک و آنزیم‌های موجود در توت‌فرنگی و همچنین بر میزان تجمع سلنیوم در میوه توت‌فرنگی برای تامین نیاز انسان به این عنصر می‌باشد.

روش شناسی پژوهش

این پژوهش در گلخانه پژوهشی هیدروپونیک بخش علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در سال ۱۳۹۶ انجام شد. گیاهان دختری ریشه‌دار شده توت‌فرنگی رقم کوئین‌الیزا از یک نهالستان تجاری در کردستان تهیه شد و به گلدان‌های سه لیتری پر شده با پرلایت و کوکوپیت با نسبت حجمی ۱:۱ منتقل شدند. پس از کاشت، بوته‌ها به‌مدت یک هفته هر روز آبیاری شدند. سپس به‌مدت دو هفته، یک روز در میان گلدان‌ها با میزان مساوی (۱۰۰ میلی‌لیتر) با محلول‌غذایی نیم هوگلند و پس از آن با محلول‌غذایی هوگلند کامل تغذیه گردیدند. به این صورت که بعد از هر سه بار محلول‌دهی به گیاهان، یک بار آبشویی صورت می‌گرفت. در زمان تغذیه با محلول‌غذایی خروجی حدود ۱۰ درصد از گلدان‌ها به درون زیر گلدانی‌ها صورت گرفت. این آزمایش به‌صورت طرح کاملا تصادفی با هشت تیمار و چهار تکرار و در هر تکرار سه مشاهده (سه گلدان) انجام شد. تیمارها شامل شاهد (محلول‌غذایی هوگلند)، سه سطح محلول‌پاشی سلنات سدیم (۲، ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر)، سه سطح کاربرد ریشه‌ای سلنات سدیم (۱، ۲ و ۳ میلی‌گرم در لیتر) همراه با محلول‌غذایی به‌صورت یک روز در میان و یک سطح ترکیبی سلنات سدیم با محلول‌غذایی (۱ میلی‌گرم در لیتر) + محلول‌پاشی سلنات سدیم (۲ میلی‌گرم در لیتر) بوده است که در جدول ۱ نشان داده شده است. زمانی که گیاهان حدود چهار تا پنج برگ سالم و قوی تولید نمودند، محلول‌پاشی هر دو هفته یک‌بار برای تیمارهای مورد نظر اعمال شد. این پژوهش در گلخانه‌ای دارای پوشش شیشه‌ای مجهز به سیستم گرمایش رادیاتور و لوله‌های آب گرم به‌منظور کنترل دما در ماه‌های سرد سال انجام شد. برای خنک کردن از کولر آبی استفاده شد. در گلخانه، میانگین دمای روز ۳±۲۳ درجه سلسیوس، دمای شب ۳±۱۵ درجه سلسیوس و میانگین رطوبت نسبی آن ۵±۶۵ درصد بود. پس از پیدایش گل‌ها برای بهبود گرده‌افشانی و تشکیل و یکنواختی شکل میوه، گرده افشانی دستی انجام شد.

جدول ۱. تیمارهای اعمال شده در آزمایش.

تیمارها	سلنات سدیم (Na_2SeO_4)
(۱)	محلول‌غذایی هوگلند (شاهد)
(۲)	محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر
(۳)	محلول‌پاشی ۴ میلی‌گرم در لیتر
(۴)	محلول‌پاشی ۶ میلی‌گرم در لیتر
(۵)	کاربرد ریشه‌ای ۱ میلی‌گرم در لیتر
(۶)	کاربرد ریشه‌ای ۲ میلی‌گرم در لیتر
(۷)	کاربرد ریشه‌ای ۳ میلی‌گرم در لیتر
(۸)	محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر + کاربرد ریشه‌ای ۱ میلی‌گرم در لیتر

سطح برگ

سه برگ کاملا توسعه یافته به‌صورت تصادفی از هر تکرار انتخاب شدند و میانگین آن برحسب سانتی‌متر مربع، با دستگاه سطح سنج ساخت کشور انگلستان گزارش گردید.

وزن تر و خشک ریشه و شاخساره

در پایان آزمایش گیاهان از گلدان خارج شدند و ریشه‌ها کاملا تمیز شدند و وزن اندام هوایی و ریشه به‌صورت جداگانه یادداشت شد و سپس به مدت ۴۸ ساعت در آون ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و وزن خشک ریشه و شاخساره اندازه‌گیری شد.

شاخص سبزینگی

برای محاسبه شاخص سبزینگی، از هر گلدان سه برگ کاملا توسعه یافته به‌صورت تصادفی انتخاب و سپس میانگین اعداد با دستگاه کلروفیل متر مدل اسپد ساخت ژاپن، خوانده شد.[1]

صفات عملکردی میوه

پس از اینکه ۹۰ درصد میوه‌ها رنگ قرمز گرفتند به تدریج میوه‌ها برداشت شدند و وزن، طول، قطر و تعداد فندقه‌های میوه‌های اول و دوم اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها گزارش گردید. در طول ۲ ماه همه میوه‌های بوته وزن شد و پس از ۲ ماه در پایان آزمایش میوه‌های باقی‌مانده روی بوته جمع‌آوری شد و به‌عنوان عملکرد میوه در بوته در نظر گرفته شد.

مواد جامد محلول

پس از قرار گرفتن یک قطره آب میوه بر قندسنج دستی درصد مواد جامد محلول قرائت شد.

میزان اسید آسکوربیک

ویتامین C یا ال آسکوربات از ویتامین‌های محلول در آب محسوب می‌شود. میزان ویتامین C به روش Bor *et al*. (2006) اندازه‌گیری شد. مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از آب میوه با ۱۰ میلی‌لیتر اسید متافسفریک ۱ درصد مخلوط شد، سپس ۱۰۰۰ میکرولیتر از محلول حاصل با ۹ میلی‌لیتر ۲ و ۶ دی کلرو ایندوفنول ۵۰ میکرومولار برای چند ثانیه با هم زن انگشتی تکان داده شد. میزان جذب نمونه در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر[2] مدل T60 اندازه‌گیری شد. برای محاسبه میزان ویتامین C نمونه‌ها از منحنی استاندارد اسید آسکوربیک استفاده شد.

روش اندازه‌گیری فنول کل

میزان فنول کل با روش فولین سیوکالتیو اندازه‌گیری شد. ۲۰ میکرولیتر آب میوه با ۱۸۰ میکرولیتر از محلول ۵۰ درصد فولین–سیوکالتیو و ۹۰۰ میکرولیتر سدیم کربنات دو درصد مخلوط گردید. مخلوط به‌مدت ۹۰ دقیقه در دمای اتاق در تاریکی نگهداری شد. جذب مخلوط واکنش در طول موج ۶۵۰ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل T60 اندازه‌گیری گردید (Ghasemnezhad *et al*., 2010). سپس منحنی استاندارد فنول با استفاده از غلظت‌های مختلف گالیک اسید رسم شد و میزان فنول نمونه‌ها به‌صورت میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه گزارش شد.

درصد مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد

ظرفیت ضداکسایشی عصاره میوه‌ها از طریق ویژگی خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH (۱و ۱-دی فنیل ۲- پیکریل هیدرازیل) تعیین گردید (Ghasemnezhad *et al*., 2011). ۲۲ میکرولیتر از عصاره آب میوه به ۲۰۰ میکرولیتر محلول DPPH ۰/۱ میلی‌مولار اضافه شد. مخلوط پس از افزودن DPPH به سرعت به هم زده شد، سپس در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه در شرایط تاریکی تا رسیدن محلول به حالت یکنواخت نگهداری شد. کاهش میزان جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل T60 تعیین شد. از محلول تریس به‌عنوان بلانک استفاده گردید. سپس ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به‌صورت درصد بازدارندگی DPPH محاسبه گردید.

$$DPPHsc(\%) = \{A\ control - Asample / Acontrol\} \times 100$$ رابطه ۱)

A sample : عدد قرائت شده نمونه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر، A control : میزان جذب (۱ میلی لیتر تریس + ۱ میلی‌لیتر DPPH)

1SPAD-502PLUS
2UV visible

روش اندازه‌گیری مقدار کلروفیل کل و کارتنوئید

محتوای کلروفیل a، b و کل و کاروتنوئید برگ‌ها با استفاده از روش دی‌متیل‌سولفوکساید اندازه‌گیری شد (Hiscox & Israelstam, 1979). مقدار ۷ میلی‌لیتر از محلول دی‌متیل‌سولفوکساید به ۰/۱گرم از تکه‌های برگ تازه و فاقد رگبرگ اضافه گردید و در دستگاه انکوباتور به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۶۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند. سپس عصاره حاصل صاف و با افزودن دی‌متیل‌سولفوکساید حجم آن به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. درنهایت با استفاده از روش اسپکتروفتومتری[1] جذب عصاره‌ها در طول‌موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شدند. از دی‌متیل‌سولفوکساید به‌عنوان بلانک دستگاه استفاده شد. محتوای کلروفیل و کاروتنوئید نمونه‌ها به‌صورت میلی‌گرم در هر گرم وزن تازه برگ، با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه و گزارش شد. همچنین نسبت کلروفیل a به b نیز اندازه‌گیری گردید (رابطه‌های ۲ تا ۴).

رابطه ۲) اندازه‌گیری کلروفیل a

$$\text{Chlorophyll a} = \frac{12.7(A_{663})-2.69(A_{645})\times \text{Volume made}}{\text{Wt of the sample}}$$

رابطه ۳) اندازه‌گیری کلروفیل b

$$\text{Chlorophyll b} = \frac{22.9(A_{645})-4.68\,(A_{663})\times \text{Volume made}}{\text{Wt of the sample}}$$

رابطه ۴) اندازه‌گیری کلروفیل کل

$$\text{Total Chlorophyll} = \frac{20.2\,(A_{645})+8.02\,(A_{663})\times \text{Volume made}}{\text{Wt.of the sample}}$$

رابطه ۵) اندازه‌گیری کاروتنوئید

$$\text{Carotenoid} = \frac{1000\,(A_{470})-1.82\,C_a-85.02\,C_b}{198}$$

Wt وزن تر نمونه، C_a مقدار کلروفیل a، C_b مقدار کلروفیل b، A_λ جذب در طول‌موج λ (نانومتر)

روش اندازه‌گیری آنتوسیانین

برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین در تیمارهای مختلف از روش اختلاف pH استفاده شد (Lako *et al.*, 2007). ابتدا دو نمونه بافر با استفاده از محلول‌های کلرید پتاسیم (pH=1 و 0.025M) و استات سدیم (pH=4.5 و 0.4M) تهیه شد. میزان ۴۰۰ میکرولیتر از عصاره با ۳/۶ میلی لیتر از بافرها به طور جداگانه مخلوط شد و سپس میزان جذب هر دو نمونه تهیه شده در طول موج‌های۷۰۰ و۵۱۰ نانومتر و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر[2] مدل T60 اندازه‌گیری گردید. میزان آنتوسیانین توسط رابطه ۶ محاسبه شد و به‌صورت میلی‌گرم سیانیدین-۳-گلوکوزاید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌میوه گزارش شد.

رابطه ۶)

$$A = (A_{510}-A_{700})_{pH1.0} - (A_{510}-A_{700})_{pH4.5}$$

$$\text{Total Anthocyanin} = A\times 449.2\times DF\times 1000/26900$$

در این رابطه اعداد ۴۴۹/۲ جرم مولکولی سیانیدین-۳- گلیکوزاید، ۲۶۹۰۰ جذب مولی آن در pH=1 و DF فاکتور رقیق سازی است.

نشت یونی

نشت یونی با روش Arora *et al.* (1998) با اندکی تغییرات اندازه‌گیری شد. برگ‌های کاملا توسعه یافته و یکنواخت از هر گیاه به‌صورت تصادفی انتخاب شدند و با آب مقطر خوب شسته شدند. تعداد ۱۰ دیسک برگ (با قطر ۱۰ میلی‌متر) از

1Epoch Microplate Spectrophotometer, BioTek Instruments, Inc., USA
2UV visible

برگ‌های هر تیمار تهیه شد و در لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شد و روی شیکر با سرعت ۲۵۰ دور در دقیقه به‌مدت ۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت. پس از آن هدایت الکتریکی محلول با استفاده از EC متر اندازه‌گیری شد (EC_1). سپس نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو (دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس) قرار گرفتند و هدایت الکتریکی آن‌ها در دمای اتاق اندازه‌گیری شد (EC_2). درصد نشت یونی با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شد.

$$\text{Percentage Electrolyte Leakage (PEL)} = \left(\frac{EC1}{EC2}\right) \times 100$$ رابطه (۷)

اسید قابل تیتراسیون [1]

برای تعیین اسید کل ۲ قطره فنل فتالئین به ۵ میلی‌لیتر آب میوه افزوده شد و تا رسیدن به پی‌اچ ۸/۲ با سود ۰/۲ نرمال تیتر شد. حجم سود مصرفی یادداشت گردید و میزان اسید کل با استفاده از رابطه ۸ محاسبه شد (Ghasemnezhad *et al.*, 2013).

$$\%\text{Acid } \left(\frac{wt}{vol}\right) = \left(\frac{N \times V1 \times Eq.wt}{V2 \times 1000}\right) \times 100$$ رابطه ۸)

N: نرمالیته سود، V_1: حجم سود مصرفی، V_2: حجم نمونه، Eq.wt: وزن مولکولی اسید غالب (اسید سیتریک g/mol $(C_6H_8O_7$=۱۹۲/۱۴۲)

روش اندازه‌گیری عناصر غذایی

یک گرم پودر گیاهی از هر نمونه وزن و درون بوته‌های چینی ریخته شد و در کوره در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به خاکستر تبدیل شدند. به خاکستر حاصل، ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ نرمال اضافه شد. سپس محلول به‌دست آمده، از کاغذ صافی واتمن عبور داده شد و با استفاده از آب داغ به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس میزان عناصر روی و آهن به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل "سنس آ"ساخت شرکت "جی‌بی‌سی" استرالیا و میزان سلنیوم با دستگاه اسپکترومتر ICP-OES مدل "ویستا پرو" ساخت آمریکا قرائت شد (Jones & Hohl, 1990; Lindsay & Norvel, 1978). غلظت نیتروژن کل نمونه‌ها به روش کجلدال اندازه‌گیری شد (Bradstreet, 1954).

واکاوی داده‌ها

واکاوی آماری داده‌ها با نرم افزار SAS.9.2 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

یافته‌های پژوهش

اثر کاربرد ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگی سلنیوم بر صفات مورفولوژیک رویشی توت‌فرنگی رقم کوئین‌الیزا در کشت هیدروپونیک

نتایج واکاوی داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای به‌کاربرده شده بر وزن تر و خشک شاخساره در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. بالاترین مقدار وزن خشک شاخساره در بوته‌های تیمار شده با محلول‌پاشی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد که

1 Total Acid (TA)

نسبت به شاهد افزایش داشت، هر چند اختلاف معنی‌داری را با تیمار محلول غذایی سلنات سدیم ۱ میلی‌گرم در لیتر نشان نداد. بالاترین مقدار وزن تر شاخساره در بوته‌های تیمار شاهد به‌دست آمد. هم‌چنین، تیمار محلول‌غذایی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر کمترین مقدار وزن تر و خشک شاخساره را داشت (جدول ۲). در ریشه نیز مانند شاخساره اثر نسبت‌های مختلف سلنات سدیم بر روی وزن تر و خشک ریشه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. بالاترین مقدار وزن تر و خشک ریشه در بوته‌های تیمار ۸ (ترکیب محلول‌پاشی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر + محلول‌غذایی ۱ میلی‌گرم در لیتر) به دست آمد که این تیمار در وزن تر ریشه افزایش معنی‌داری را نسبت به تیمارهای شاهد، محلول‌پاشی سلنات سدیم ۴ میلی‌گرم در لیتر، محلول غذایی سلنات سدیم ۱ میلی‌گرم در لیتر و محلول غذایی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر داشت. همچنین، کاربرد این تیمار افزایش معنی‌داری را در وزن خشک ریشه نسبت به تیمارهای محلول‌پاشی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر، محلول غذایی سلنات سدیم ۱ میلی‌گرم در لیتر و محلول‌غذایی سلنات سدیم ۳ میلی‌گرم در لیتر نشان داد (جدول ۲).

بررسی اثر نسبت‌های مختلف سلنات سدیم بر سطح برگ نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین تیمارهای مورد آزمایش بود. بالاترین مقدار سطح برگ در تیمار محلول‌غذایی سلنات سدیم ۳ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. همچنین کمترین مقدار سطح برگ مربوط به تیمار شاهد با ۳۵/۷۲ سانتی‌متر مربع بود (جدول ۲). بالاترین مقدار شاخص سبزینگی در بوته‌های تیمار محلول‌غذایی سلنات سدیم ۱ میلی‌گرم در لیتر با مقدار ۵۶/۲ به دست آمد که افزایش معنی‌داری را نسبت به تیمارهای محلول‌پاشی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر و محلول‌غذایی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر داشت (جدول ۲). تاثیر سطوح مختلف سلنات سدیم بر مقدار کلروفیل بوته‌های توت‌فرنگی رقم کوئین‌الیزا در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود. طبق نتایج، بیشترین مقدار کارتنوئید مربوط به تیمار محلول‌غذایی سلنات سدیم ۱ میلی‌گرم در لیتر بود که فقط با تیمار کاربرد ریشه‌ای ۲ میلی‌گرم در لیتر اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشت. همچنین، کمترین مقدار کارتنوئید در تیمار کاربرد ریشه‌ای ۲ میلی‌گرم در لیتر با ۴/۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر نسبت‌های مختلف سلنیوم بر صفات رویشی توت‌فرنگی رقم کوئین‌الیزا

تیمارها		سطح برگ (سانتی‌متر)	شاخص کلروفیل	وزن تر ریشه (گرم)	وزن تر شاخساره (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن خشک شاخساره (گرم)	کارتنوئید (میلی‌گرم برگرم وزن تر)
شاهد	(۱)	۳۵/۷۲^{e}	۵۲/۶۰^{ab}	۱۳/۳۴^{bc}	۳۰/۶۳^{a}	۲/۸۲^{ab}	۲/۷۳^{d}	۴/۴۹^{ab}
محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر	(۲)	۴۷/۳۶^{cd}	۴۹/۵۲^{bc}	۱۷/۳۷^{ab}	۲۵/۶۷^{bc}	۲/۳۷^{b}	۵/۰۳^{a}	۴/۴۲^{ab}
محلول‌پاشی ۴ میلی‌گرم در لیتر	(۳)	۴۹/۴۸^{cd}	۵۳/۷۲^{ab}	۱۴/۲۵^{bc}	۱۸/۲۳^{d}	۲/۹۴^{ab}	۳/۸۰^{b}	۴/۴۹^{ab}
محلول‌پاشی ۶ میلی‌گرم در لیتر	(۴)	۴۳/۰۶^{de}	۵۳/۴۵^{ab}	۱۶/۹۴^{abc}	۲۵/۷۱^{bc}	۳/۷۶^{a}	۳/۶۹^{bc}	۴/۵۳^{ab}
کاربرد ریشه‌ای ۱ میلی‌گرم در لیتر	(۵)	۵۹/۱۳^{ab}	۵۶/۲^{a}	۱۳/۳۴^{bc}	۲۱/۶۰^{cd}	۲/۴۲^{b}	۴/۲۰^{ab}	۴/۶۹^{a}
کاربرد ریشه‌ای ۲ میلی‌گرم در لیتر	(۶)	۵۱/۶۹^{bcd}	۴۶/۷^{c}	۱۲/۸۴^{c}	۱۳^{e}	۲/۶۱^{ab}	۲/۱۳^{d}	۴/۳۱^{b}
کاربرد ریشه‌ای ۳ میلی‌گرم در لیتر	(۷)	۶۲/۳۷^{a}	۵۴/۴۲^{ab}	۱۵/۰۸^{abc}	۲۰/۱۲^{d}	۲/۵۱^{b}	۲/۸۰^{dc}	۴/۵۵^{ab}
ترکیب (۲) + (۵)	(۸)	۵۳/۰۴^{bc}	۵۴/۰۳^{ab}	۱۸/۹۷^{a}	۲۷/۶۵^{ab}	۳/۷۸^{a}	۳/۷۶^{b}	۴/۵۴^{ab}
ضریب تغییرات (درصد)		۱/۷۰	۰/۶۹	۰/۵۴	۱/۰۵	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۰۳۱

در هر ستون میانگین های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

اثر کاربرد ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگی سلنیوم بر صفات مورفولوژیک زایشی توت‌فرنگی رقم کوئین‌الیزا در کشت هیدروپونیک

نتایج نشان داد که تیمارها از نظر میانگین وزن، طول، قطر و تعداد فندقه میوه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشتند. مقایسه میانگین نشان داد که بالاترین وزن میوه در تیمار محلول‌غذایی سلنات سدیم ۱ میلی‌گرم در لیتر با مقدار ۱۵/۳۶ گرم به‌دست آمد، هرچند اختلاف معنی‌داری با تیمارهای محلول‌پاشی سلنات سدیم ۴ میلی‌گرم در لیتر و ترکیب

محلول‌پاشی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر+ محلول‌غذایی ۱ میلی‌گرم در لیتر نشان نداد. همچنین، بیشترین مقدار میانگین طول میوه (۳۷/۹۷ میلی‌متر) متعلق به تیمار کاربرد ریشه‌ای ۱ میلی‌گرم در لیتر و کمترین مقدار میانگین طول میوه (۳۴/۸۰ میلی‌متر) متعلق به تیمار شاهد بود (جدول ۳). بیشترین مقدار قطر میوه مربوط به تیمار محلول‌غذایی سلنات سدیم ۳ میلی‌گرم در لیتر (۲۹/۳۰ میلی‌متر) و کمترین مقدار قطر (۲۴/۸۷ میلی‌متر) مربوط به تیمار محلول‌پاشی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر بود (جدول ۳). با کاربرد محلول‌غذایی سلنات سدیم ۳ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تعداد فندقه میوه (۲۷۰ عدد) به‌دست آمد، در حالی‌که تیمار شاهد دارای کمترین مقدار فندقه میوه (۱۴۵ عدد) بود.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر نسبت‌های مختلف سلنیوم بر صفات زایشی توت‌فرنگی رقم کوین‌الیزا

تیمارها		میانگین وزن میوه (گرم)	میانگین طول میوه (میلی‌متر)	میانگین قطر میوه (میلی‌متر)	میانگین تعداد فندقه میوه	عملکرد (گرم در بوته)
شاهد	(۱)	۱۱/۸۰^{de}	۳۴/۸۰^{b}	۲۷/۱۶^{ab}	۱۴۵^{b}	۳۴/۹^{c}
محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر	(۲)	۱۱/۰۲^{de}	۳۵/۷۵^{ab}	۲۴/۸۷^{b}	۱۵۲/۲^{b}	۴۱/۶۶^{bc}
محلول‌پاشی ۴ میلی‌گرم در لیتر	(۳)	۱۴/۲۸^{ab}	۳۵/۸۰^{ab}	۲۷/۳۹^{ab}	۱۴۸/۶^{b}	۵۴/۴۴^{ab}
محلول‌پاشی ۶ میلی‌گرم در لیتر	(۴)	۱۱/۹۱^{de}	۳۵/۵۳^{ab}	۲۶/۲۱^{ab}	۱۹۴/۶^{b}	۳۷/۱^{c}
کاربرد ریشه‌ای ۱ میلی‌گرم در لیتر	(۵)	۱۵/۳۶^{a}	۳۷/۹۷^{a}	۲۸/۳۳^{ab}	۱۷۶/۴^{b}	۶۲/۵۰^{a}
کاربرد ریشه‌ای ۲ میلی‌گرم در لیتر	(۶)	۱۳/۶۴^{bc}	۳۶/۷۸^{ab}	۲۷/۳۹^{ab}	۲۳۹/۹^{a}	۶۲/۹۵^{a}
کاربرد ریشه‌ای ۳ میلی‌گرم در لیتر	(۷)	۱۲/۵۴^{cd}	۳۷/۱۱^{ab}	۲۹/۳۰^{a}	۲۷۰/۱^{a}	۵۵/۱۵^{ab}
ترکیب (۲) + (۵)	(۸)	۱۵/۰۳^{a}	۳۷/۵۵^{ab}	۲۶/۵۹^{ab}	۱۵۳/۲^{b}	۶۷/۵۳^{a}
ضریب تغییرات (درصد)		۰/۲۹	۰/۴۱	۰/۳۴	۹/۲۱	۲/۲۸

در هر ستون میانگین های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

اثرکاربرد ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگی سلنیوم بر صفات فیزیولوژیک توت‌فرنگی رقم کوین‌الیزا در کشت هیدروپونیک

اثر نسبت‌های مختلف سلنیوم بر مقدار آنتوسیانین در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. محلول‌غذایی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر بیشترین افزایش را در مقدار آنتوسیانین میوه در مقایسه با سایر محلول‌های غذایی و شاهد داشت (جدول ۴). بیشترین مقدار مواد جامد محلول (۸/۳۰ درجه‌بریکس) در تیمار محلول‌غذایی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر بود و به دنبال آن تیمارهای محلول‌غذایی ۳ و ۲ میلی‌گرم در لیتر (به ترتیب با مقدار ۸/۳۰ و ۷/۱۲ درجه‌بریکس) قرار گرفتند. کمترین مقدار مواد جامد محلول مربوط به تیمار ترکیبی محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر + کاربرد ریشه‌ای ۱ میلی‌گرم در لیتر با مقدار ۵/۹۳ درجه‌بریکس بود (جدول ۴). مقایسه اسید قابل تیتراسیون میوه‌ها نشان داد که تیمارهای محلول‌پاشی سلنات سدیم ۶ میلی‌گرم در لیتر و محلول‌غذایی سلنات سدیم ۳ میلی‌گرم در لیتر افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد داشتند. همچنین، تیمار محلول‌پاشی ۶ میلی‌گرم در لیتر افزایش معنی‌داری را نسبت به همه تیمارها به جز تیمارهای محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر و کاربرد ریشه‌ای ۳ میلی‌گرم در لیتر داشت. بالاترین مقدار اسید قابل تیتراسیون مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۶ میلی‌گرم در لیتر و کمترین مقدار مربوط به تیمار کاربرد ریشه‌ای ۲ میلی‌گرم در لیتر بود (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد تیمارهای محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر، کاربردهای ریشه‌ای ۲ و ۳ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب با مقدار۲/۲۷، ۲/۳۶ و ۱/۹۸ دارای بالاترین مقادیر نسبت مواد جامد محلول به اسید قابل تیتراسیون بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار ترکیبی محلول‌پاشی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر + محلول‌غذایی سلنات سدیم ۱ میلی‌گرم در لیتر با میزان ۱۵۰/۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه دارای بیشترین مقدار آسکوربیک اسید در میوه است و این تیمار افزایش معنی‌داری را نسبت به تیمارهای محلول‌پاشی ۶ میلی‌گرم در لیتر و کاربردهای ریشه‌ای ۱، ۲ و ۳ میلی‌گرم در لیتر داشت. همچنین، کمترین مقدار

آسکوربیک اسید مربوط به تیمار کاربرد محلول‌غذایی ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم بود که کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت (جدول ۴). مقایسه اثر تیمارهای مختلف بر فعالیت ضداکسایشی (آنتی‌اکسیدانی) گیاه نشان داد که تیمار محلول‌غذایی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر دارای بالاترین فعالیت ضداکسایشی با میانگین ۹۶/۵۴ ٪DPPH بود که نسبت به تیمارهای محلول‌پاشی ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر و تیمارترکیبی محلول‌پاشی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر + محلول‌غذایی سلنات سدیم ۱ میلی‌گرم در لیتر افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار فنل کل در میوه در تیمار محلول‌پاشی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۱۳/۷۶ میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌میوه ایجاد شد. همچنین، کمترین مقدار فنل کل مربوط به تیمار ترکیبی محلول‌پاشی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر + محلول‌غذایی سلنات سدیم ۱ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۸/۰۳ میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌میوه بود (جدول ۴). بالاترین مقدار نشت یونی هم در تیمار ترکیبی محلول‌پاشی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر + محلول غذایی سلنات سدیم ۱ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد که نسبت به شاهد افزایش چشمگیری داشت (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر نسبت‌های مختلف سلنیوم بر صفات فیزیولوژیک توت‌فرنگی رقم کوئین‌الیزا

تیمارها		آنتوسیانین (میلی‌گرم سیانیدین ۳ گلیکوزاید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه)	ضداکسایش (٪DPPH)	مواد جامد محلول (درجه بریکس)	اسید قابل تیتراسیون (درصد)	TSS/TA	ویتامین C (میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه)	فنول کل (میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه)	نشت یونی (درصد)
شاهد	(۱)	۱۱/۶۳^{b}	۹۲/۴۵^{ab}	۶/۳۵^{cd}	۳/۴۰^{dc}	۱/۸۹^{bc}	۱۳۸/۵۲^{ab}	۸/۲۹^{bc}	۳۴/۲۵/^{bcd}
محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر	(۲)	۱۰/۸۸^{b}	۹۲/۸۵^{ab}	۸^{a}	۳/۸۶^{abc}	۲/۲۷^{a}	۱۳۸/۳^{ab}	۱۳/۳۳^{a}	۲۱/۸۸^{cd}
محلول‌پاشی ۴ میلی‌گرم در لیتر	(۳)	۹/۷۴^{c}	۷۹/۸۸^{c}	۶/۳۷^{cd}	۳/۴۵^{cd}	۱/۸۱^{bcd}	۱۳۲/۴^{ab}	۱۳/۷۶^{a}	۱۹/۶۹^{d}
محلول‌پاشی ۶ میلی‌گرم در لیتر	(۴)	۹/۲۵^{c}	۹۱/۳۲^{b}	۶/۷۶^{bc}	۴/۲۹^{a}	۱/۶۷^{d}	۱۲۸/۰۶^{b}	۸/۶۴^{bc}	۲۱/۷^{cd}
کاربرد ریشه‌ای ۱ میلی‌گرم در لیتر	(۵)	۹/۳۱^{c}	۹۱/۶۱^{ab}	۶/۵۲^{bcd}	۳/۶۶^{bcd}	۱/۷۳^{cd}	۱۲۴/۰۶^{b}	۶/۷۸^{c}	۲۷/۵۳^{bc}
کاربرد ریشه‌ای ۲ میلی‌گرم در لیتر	(۶)	۱۲/۵۹^{a}	۹۶/۵۴^{a}	۷/۱۲^{b}	۳/۳۰^{d}	۲/۳۶^{a}	۱۰۰/۲^{c}	۹/۴۵^{b}	۲۴/۶۵^{bcd}
کاربرد ریشه‌ای ۳ میلی‌گرم در لیتر	(۷)	۱۱/۵۸^{b}	۹۳/۲۶^{ab}	۸/۳۰^{a}	۳/۹۹^{ab}	۱/۹۸^{b}	۹۷/۹۷^{c}	۱۰/۱۳^{b}	۳۰/۸^{b}
ترکیب (۲) + (۵)	(۸)	۱۰/۸۳^{b}	۹۱/۱۴^{b}	۵/۹۳^{d}	۳/۳۵^{d}	۱/۶۵^{d}	۱۵۰/۳^{a}	۸/۰۳^{bc}	۴۳/۷^{a}
ضریب تغییرات (درصد)		۰/۲۲	۰/۹۴	۰/۱۵۷	۰/۰۷۷	۰/۰۴۹	۳/۴۹	۰/۴۸	۱/۴۷

در هر ستون میانگین های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

اثر نسبت‌های مختلف سلنیوم بر عناصر توت‌فرنگی رقم کوئین‌الیزا

مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۵) نشان داد میزان جذب سلنیوم برگ تحت تاثیر سطوح مختلف سلنات سدیم باهم اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵ درصد داشتند. بیشترین میزان جذب سلنیوم در برگ مربوط به تیمار محلول‌غذایی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که افزایش معنی‌داری با همه تیمارها به جز تیمار کاربرد ریشه‌ای ۳ میلی‌گرم در لیتر داشت (جدول ۵). بررسی مقدار جذب سلنیوم در ریشه نیز نشان داد که بیشترین مقدار جذب این عصر در ریشه متعلق به تیمار محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و کمترین مقدار مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۶ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۳ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک بود. اثر تیمارهای مختلف بر میزان جذب سلنیوم میوه نشان داد که تیمار محلول‌پاشی سلنات سدیم ۴ میلی‌گرم در لیتر افزایش معنی‌داری را نسبت به تیمار کاربرد ریشه‌ای ۲ میلی‌گرم در لیتر داشت، همچنین این تیمار بیشترین میزان جذب را به خود اختصاص داده است (جدول ۵). میزان جذب آهن در برگ به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر سطوح مختلف سلنات سدیم قرار گرفت. بیشترین میزان جذب آهن در تیمار محلول‌غذایی سلنات سدیم ۱ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۱۴۰/۰۶ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک بود و به دنبال آن تیمارهای کاربرد ریشه‌ای ۳ میلی‌گرم در لیتر و تیمار ترکیبی محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر + کاربرد ریشه‌ای ۱ میلی‌گرم در لیتر قرار گرفتند، اما کمترین میزان جذب آهن

مربوط به تیمارهای شاهد و محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر بود. مقایسه میانگین‌های اثر تیمارهای سلنات سدیم بر جذب عنصر روی نشان داد که بیشترین جذب روی در برگ در تیمار محلول‌غذایی سلنات سدیم ۱ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۱۷/۸۳ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و کمترین مقدار جذب روی در تیمار محلول‌غذایی ۲ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد. با توجه به نتایج، مقدار جذب نیتروژن تحت تاثیر تیمارهای مختلف سلنات سدیم در سطح ۵ درصد قرار گرفت. تیمارهای به‌کاربرده شده اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و تنها تیمار محلول‌غذایی ۲ میلی‌گرم در لیتر کاهش معنی‌داری با سایر تیمارها نشان داد (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر کاربرد و غلظت‌های مختلف سلنات سدیم بر عناصر معدنی میوه توت‌فرنگی رقم کوبین‌الیزا

تیمارها		سلنیوم برگ	سلنیوم ریشه	سلنیوم میوه	آهن	روی	نیتروژن
		میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک					درصد
شاهد	(۱)	۳^{c}	۳۶^{ab}	۳/۶ ^{ab}	۱۲۲/۳^{cd}	۱۶/۹۸^{cd}	۲/۲۷^{a}
محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر	(۲)	۱^{c}	۵۳^{a}	۵/۶۳ ^{ab}	۱۲۳/۳^{cd}	۱۷/۰۹^{bcd}	۲/۶۰^{a}
محلول‌پاشی ۴ میلی‌گرم در لیتر	(۳)	۴^{c}	۳۰^{ab}	۶/۳ ^{a}	۱۳۴/۲^{ab}	۱۷/۵۶^{ab}	۲/۳۲^{a}
محلول‌پاشی ۶ میلی‌گرم در لیتر	(۴)	۴^{c}	۳^{b}	۱/۶ ^{ab}	۱۲۶/۹^{bc}	۱۷/۴۰^{abc}	۲/۳۰^{a}
کاربرد ریشه‌ای ۱ میلی‌گرم در لیتر	(۵)	۹^{bc}	۱۷^{ab}	۴/۶ ^{ab}	۱۴۰/۶^{a}	۱۷/۸۳^{a}	۲/۵۶^{a}
کاربرد ریشه‌ای ۲ میلی‌گرم در لیتر	(۶)	۲۰^{a}	۲۹^{ab}	۱/۰ ^{b}	۱۱۳/۲^{d}	۱۶/۶۰^{d}	۱/۷۱^{b}
کاربرد ریشه‌ای ۳ میلی‌گرم در لیتر	(۷)	۱۸^{ab}	۴۸^{a}	۴/۶ ^{ab}	۱۳۶/۰۸^{ab}	۱۷/۶۴^{a}	۲/۳۷^{a}
ترکیب (۲) + (۵)	(۸)	۸^{bc}	۱۳^{ab}	۴/۳ ^{ab}	۱۳۵/۰۴^{ab}	۱۷/۵۹^{a}	۲/۳۴^{a}
ضریب تغییرات (درصد)		۱/۷	۵/۱	۰/۶	۱/۸۸	۰/۰۸	۰/۰۶۰

در هر ستون میانگین های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند

بحث

توت‌فرنگی امروزه اغلب به‌صورت هیدروپونیک (کشت بدون خاک) کشت می‌شود. از آنجا که در این نوع کشت اغلب شرایط محیط قابل کنترل است، نتیجه مطلوب‌تر است و میزان عملکرد به‌صورت چشمگیری افزایش خواهد داشت. سلنیوم یک عنصر ضروری برای گیاهان نیست اما سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌گردد. اثر مثبت سلنیوم بر پارامترهای مورفولوژیکی گیاهان به این نکته اشاره دارد که این عنصر می‌تواند در سنتز آمینواسیدها و پروتئین‌ها نقش بازی کند (Schiavon *et al.*, 2017). گزارش‌ها حاکی از آن است که کاربرد سلنیوم به‌صورت خارجی، تجمع نیترات را در گیاهان کاهش می‌دهد (Golubkina *et al.*, 2017; Bo *et al.*, 2018; Zhong-hua *et al.*, 2020). در گیاه شاهی کاربرد سلنیوم به‌صورت محلول‌پاشی برگی به میزان یک میلی‌گرم در لیتر ویژگی‌های مورفولوژیکی و محتوای کلروفیل را بهبود بخشید، در حالی که تجمع نیترات را در این گیاهان کاهش داد. روش موثر تقویت زیستی گیاهان با سلنیوم محلول‌پاشی برگی می‌باشد (Khosravi *et al.*, 2022).

اثر نسبت‌های مختلف محلول‌پاشی و کاربرد ریشه‌ای سلنیوم بر صفات رویشی گیاه توت‌فرنگی

بررسی نتایج نشان داد بیشترین مقدار وزن تر و خشک ریشه، سطح برگ، سبزینگی و کارتنوئید مربوط به تیمارهایی بودند که محلول‌غذایی سلنات سدیم در سطوح مختلف بر ریشه آن‌ها اعمال شد و کمترین مقدار وزن تر و خشک شاخساره مربوط به تیمار محلول‌غذایی ۲ میلی‌گرم در لیتر بود (جدول ۲). یعنی در هنگام اعمال محلول‌غذایی سلنیوم به ریشه در این سطح کمترین میزان اثر در وزن تر و خشک شاخساره‌ها مشاهده شد. در یک مطالعه وزن تازه شاخساره گیاه توت‌فرنگی با تیمار ۱۰۰

میکرومولار سلنات سدیم در مقایسه با گیاهان تیمار شده با ۱۰ میکرومولار سلنیوم و شاهد حدود ۲۰ درصد افزایش معنی‌دار داشت. همچنین، سطح برگ نیز در تیمار ۱۰۰ میکرومولار افزایش ۱۷ درصدی نسبت به بقیه تیمارها نشان داد. در این پژوهش با افزایش غلظت سلنیوم زیست‌توده ریشه افزایش پیدا نکرد ولی نسبت شاخه به ریشه افزایش یافت (Mimmo *et al.*, 2017). بررسی اثر نسبت‌های مختلف سلنیوم بر وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه گیاه بادرنجبویه در آزمایش هیدروپونیک نشان داده است که سلنیوم در غلظت‌های اندک تغییر معنی‌داری در وزن تر و خشک اندام هوایی ایجاد نکرد ولی کاربرد ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر سلنیوم باعث کاهش معنی‌داری در وزن تر و خشک اندام‌های هوایی شد (Habibi *et al.*, 2016).

نتایج پژوهش‌ها در گیاه فلفل تند نشان داد که سلنیوم گرچه برای گیاهان ضروری نیست اما می‌تواند در غلظت‌های پایین و خصوصا غلظت ۵ میکرومولار باعث بهبود شاخص‌های رشدی و مورفولوژیکی نظیر تعداد برگ و سطح برگ و همچنین افزایش چشمگیری در محتوای رنگیزه‌های کلروفیلی موجود در برگ شود که می‌تواند در رشد و عملکرد گیاه تاثیر گذار باشد (Shekari *et al.*, 2016). همچنین گیاهانی که با غلظت‌های ۲ تا ۱۰ میکرومولار سلنیوم همراه با محلول‌غذایی تغذیه شدند افزایش معنی‌داری را در سطح برگ نسبت به شاهد نشان دادند (Hawrylak-Nowak, 2013). در گیاه کلم تکمه‌ای نیز سطوح ۱۶–۸ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم بالاترین وزن تر جوانه یا همان عملکرد کل، وزن خشک جوانه و سطح ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم و تیمارشاهد کمترین مقادیر را به خود اختصاص دادند. بنابراین، از این عنصر می‌توان حداکثر تا ۸ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم به محلول‌غذایی افزود (Khademi Astaneh *et al.*, 2015). در بررسی دیگری کاربرد ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم سلنیوم در محلول‌غذایی کاهو در جلوگیری از تخریب کلروفیل موثر بود، ولی کاربرد غلظت‌های بالای سلنیوم موجب کاهش در محتوای کلروفیل در کاهو و شیکوره گردید (Malorgio *et al.*, 2009). در گیاه کلم تکمه‌ای خصوصیات رویشی به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمارهای سلنیوم قرار گرفت، به‌طوری که شاخص کلروفیل برگ با افزایش سطوح سلنیوم تا سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر افزایش معنی‌داری را نشان داد. بالاترین میزان کلروفیل در سطح ۸ میلی‌گرم در لیتر و پایین‌ترین میزان کلروفیل در سطح ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم مشاهده شد (Khademi Astaneh *et al.*, 2015).

اثر نسبت‌های مختلف محلول‌پاشی و کاربرد ریشه‌ای سلنیوم بر صفات زایشی گیاه توت‌فرنگی

تعداد گل، گل آذین، وزن میوه و درصد تشکیل میوه از صفت‌هایی هستند که رابطه مستقیمی با عملکرد محصول دارند (Antunes *et al.*, 2010). طبق نتایج حاصل از این پژوهش (جدول ۳) میزان عملکرد در تیمار ترکیبی محلول‌پاشی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر + محلول غذایی ۱ میلی‌گرم در لیتر بیشترین مقدار را داشته و بیشترین مقدار وزن و طول میوه مربوط به تیمار محلول‌غذایی ۱ میلی‌گرم در لیتر و بیشترین قطر و تعدادفندقه میوه‌های اولیه مربوط به تیمار محلول غذایی ۳ میلی‌گرم در لیتر بود یعنی تیمارهایی که در آن‌ها محلول‌غذایی سلنیوم بر ریشه آن‌ها اعمال شده بود بر میزان وزن، طول، قطر و تعداد فندقه میوه تاثیر گذار بود که همین باعث شد عملکرد در تیماری بیشتری باشد که محلول‌غذایی به آن اعمال شده بود (جدول ۳). مشخص شده است که کاربرد ریشه‌ای سلنیوم در مقایسه با محلول‌پاشی به‌طور قابل‌توجهی باعث افزایش تجمع سلنیوم، سرعت فتوسنتز، تجمع زیست‌توده و تحمل به تنش می‌شود که با نتایج Yin و همکاران در برنج مطابقت دارد (Yin *et al.*, 2019). همچنین گزارش شده است که سلنیوم به دلیل افزایش تولید مواد محافظت کننده اسمزی (پرولین، کل قندهای محلول، کل پروتئین‌های محلول و کل اسیدهای آمینه آزاد) و افزایش فعالیت آنزیم‌های ضداکسایشی (کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات‌پراکسیداز) باعث افزایش عملکرد گندم می‌شود (Nawaz *et al.*, 2015).

اثر نسبت‌های مختلف محلول‌پاشی و کاربرد ریشه‌ای سلنیوم بر صفات فیزیولوژیکی گیاه توت‌فرنگی

مواد جامد محلول از شاخص‌های مهم کیفی است که رابطه مستقیمی با کیفیت خوراکی میوه در زمان رسیدن دارد و مصرف‌کنندگان تمایل زیادی به مصرف میوه با مواد جامد محلول بالا دارند (Marschner, 2012). در پژوهشی تیمار ۱۰۰

میکرومولار سلنیوم، مواد جامد محلول را به‌طور قابل توجه و به میزان ۳۰ درصد نسبت به تیمار شاهد و تیمار ۱۰ میکرومولار افزایش داد اما در میزان اسید کل در بین تیمارها هیچ تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد مشاهده نشد (Mimmo *et al.*, 2017). اسیدهای آلی، یک منبع اندوخته انرژی، برای میوه می‌باشند که در هنگام رسیدن میوه با افزایش سوخت و ساز طی اکسایش اسیدها در چرخه کربس مصرف می‌شوند (Marsh *et al.*, 2004). یکی از شاخص‌های مهم در طعم و مزه میوه نسبت مواد جامد محلول به اسید کل می‌باشد. در پژوهش حاضر بالاترین مقدار نسبت مواد جامد محلول به اسیدکل در تیماری دیده شد که محلول غذایی ۲ میلی‌گرم در لیتر سلنات سدیم به کار رفته بود (جدول ۳). با انجام آزمایشی روی ارقام مختلف توت‌فرنگی مشخص شد که نسبت TSS/TAمواد جامد محلول به اسیدکل برای رقم کوئین‌الیزا نسبت به رقم پاروس بیشتر است که این را می‌شود به میزان مواد جامد محلول بیشتر در رقم کوئین‌الیزا نسبت داد و زیاد بودن مواد جامد محلول در این رقم را می‌توان به‌دلیل کوچک‌تر بودن میوه و در نتیجه افزایش کیفیت میوه دانست (Shirdel *et al.*, 2018). در پژوهش حاضر میزان مواد ضداکسایشی در تیمار کاربرد ریشه‌ای ۲ میلی‌گرم در لیتر بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. به‌طور کلی گیاهان دارای سیستم ضداکسایشی هستند که تولید اضافی گونه‌های فعال اکسیژن را تحت شرایط تنش کنترل می‌کند و بنابراین آن‌ها را در مقابل آثار مضر گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کند و از سوی دیگر سطح مناسبی از گونه‌های فعال اکسیژن را برای رشد و مسیر انتقال پیام حفظ می‌کند (Mittler *et al.*, 2004). ضداکسایش‌های طبیعی در توت‌فرنگی، آن را به یک منبع طبیعی مهم از ترکیبات زیستی فعالی چون ویتامین‌ها و ترکیبات فنولی از جمله اسید فولیک و فلاونول‌ها تبدیل کرده است. نقش این گروه از مواد غذایی در پیشگیری از بیماری‌های خطرناک مانند سرطان‌ها، ارزش مصرف میوه را چندین برابر کرده است (Marinou *et al.*, 2013; Forbes-Hernandez *et al.*, 2016). نتایج به‌کارگیری محلول‌پاشی سلنیوم در سه سطح (۰، ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) در گیاه سویا نشان داد که به‌کارگیری سلنیوم اثرات تحریک معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم‌های ضداکسایشی مانند کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در اندام‌های برگی داشت. همچنین مشخص شد که سلنیوم در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌تواند باعث افزایش میزان پروتئین و کلروفیل و نیز القا فعالیت آنزیم‌های ضداکسایش شده و از این طریق موجب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های مختلف محیطی شود (Oraghi Ardebili *et al.*, 2013). کاربرد برگی سلنیوم نسبت به کاربرد خاکی در مقادیر پایین روش موثری برای افزایش ذخیره سلنیوم گندم محسوب می‌شود. از این روش می‌توان برای غنی‌سازی سلنیوم غذاها استفاده نمود. همچنین به‌دلیل نقش کاربرد برگی سلنیوم در افزایش توان سیستم ضداکسایش گیاه می‌توان به کشت گندم غنی شده از سلنیوم و مقاوم به تنش‌ها در مناطق خشک و شور کشور مبادرت ورزید (Habibi, 2015). محلول‌پاشی سلنیوم روی برگ گیاهان زراعی میزان آنزیم‌های ضداکسایش را افزایش داده و مقاومت به خشکی را بالا می‌برد. در این پژوهش بالاترین میزان جذب سلنیوم در ریشه و میوه در تیمارهایی بود که تحت تاثیر محلول‌پاشی سلنیوم روی برگ قرار گرفتند (جدول ۵).

در میان میوه‌ها، توت‌فرنگی یکی از محصولات غنی از آسکوربیک اسید است، آسکوربیک اسید از قندهای تولید شده در فرآیند فتوسنتز ساخته می‌شود (Lee & Kader, 2000). مقدار آسکوربیک اسید در میوه تازه توت‌فرنگی بیش از۸۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم می‌باشد (Franke *et al.*, 2004) و به‌دلیل داشتن مقدار بالای اسید آسکوربیک، توت‌فرنگی به‌صورت آب میوه برای سلامت انسان مصرف می‌شود. در ارتباط با اسید آسکوربیک نیز، گزارش شده است که سطح آن در میوه پایدار نیست و می‌تواند توسط شرایط رشد و کوددهی تحت تاثیر قرار گیرد (Latocha, 2007). هر چند اسید آسکوربیک میوه در حین ذخیره‌سازی میوه به‌صورت تازه خوری و آب‌میوه به مرور تجزیه و اکسید می‌شود (Roig *et al.*, 1995). در پژوهش حاضر در گیاهانی که تحت تیمار ترکیبی محلول‌پاشی و محلول‌غذایی بودند بیشترین مقدار ویتامین C را داشتند. ترکیبات فنلی از متابولیت‌های ثانویه در گیاهان هستند که به‌عنوان ضداکسایش‌های اصلی در میوه شناخته شده‌اند (Mendez-Lagunas *et al.*, 2017). آنتوسیانین‌ها فلاونوئیدهایی هستند که عمدتا در توت‌فرنگی یافت می‌شوند و سطوح آن‌ها مسئولیت رنگ جذاب میوه و نشانه‌ای برای رسیدن آن می‌باشد (Pinto *et al.*, 2008). نشت الکترولیتی یک ویژگی جهت نمایش ثبات غشاء و از

آن طریق روشی جهت بیان مقدار یون نسبی در فضای آپوپلاست می‌باشد (Khademi Astaneh *et al.*, 2015). گزارش شده است که کاربرد سلنیوم (غلظت‌های ۳ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر) روی سورگوم به‌طور معناداری درصد نشت الکترولیت را در مقایسه با گیاهان تیمار نشده کاهش داد ولی غلظت‌های بالای سلنیوم (۱۲ میلی‌گرم بر لیتر) باعث افزایش درصد نشت الکترولیت گردید (Abbas, 2012). در پژوهش حاضر میزان آنتوسیانین در تیمار سطح کاربرد ریشه‌ای ۲ میلی‌گرم در لیتر محلول غذایی سلنات سدیم افزایش چشمگیری داشت (جدول۳).

اثر نسبت‌های مختلف محلول‌پاشی و کاربرد ریشه‌ای سلنیوم بر عناصر موجود در گیاه توت‌فرنگی

نتایج بررسی‌ها روی سبزیجات برگی نشان داده است که تیمارهای سلنیومی روی غلظت عناصری مثل نیترات اثرگذار بوده و باعث افزایش نیترات گردیده است (Malorgio *et al.*, 2009). علائم ناشی از سمیت سلنیوم در گیاهان شامل زردی، خشکیدگی، پژمردگی برگ‌ها، کاهش رشد گیاه، کاهش سنتز پروتئین و مرگ پیش از بلوغ گیاه است (Seppanen *et al.*, 2003). سلنیوم در واکنش‌های مختلف (مانند ورود به اسیدآمینه) جایگزین گوگرد می‌شود. تفاوت در اندازه و میزان یونیزاسیون اتم‌های گوگرد و سلنیوم منجر به تغییرات واضحی در ساختار پروتئین‌های حاوی این اسید آمینه‌ها (به‌ویژه آنزیم‌ها) می‌شود (Schrauzer, 2000). سلنیوم به‌طور کلی باعث افزایش غلظت نیترات در برگ‌های جوان و پیر نسبت به شاهد می‌گردد (Khademi Astaneh *et al.*, 2015). در کاهو کاربرد سلنیوم در محلول‌غذایی منجر به افزایش در محتوای نیترات برگ در گیاهان پرورش یافته در پاییز و زمستان گردید ولی کاربرد سلنیوم در غلظت‌های بالا موجب کاهش در غلظت نیترات گردید و همچنین مشخص شد که در شیکوره افزودن سلنیوم باعث افزایش محتوای نیترات در فصل پاییز شد. کاربرد یک میلی‌گرم در لیتر سلنیوم در فصل بهار نیز موجب افزایش محتوای نیترات در شیکوره گردید (Malorgio *et al.*, 2009). همچنین کاربرد سلنیوم باعث افزایش سطوح پتاسیم در گیاه می‌گردد و با افزایش سطوح پتاسیم جذب نیترات افزایش می‌یابد (Fatemy *et al.*, 2009).

تاثیر سلنیوم بر عناصر ضروری در گیاهان به عوامل متعددی مانند روش مصرف و شکل کود سلنیوم بستگی دارد. در این پژوهش محلول‌پاشی سلنیوم در غلظت‌های مختلف بر رشد گیاهان در مقایسه با شاهد تأثیری نداشت، در حالی که کاربرد ریشه‌ای آن به ویژه ۳ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم باعث سطح برگ گسترده‌تر (۴۲ درصد) نسبت به شاهد شد. در پژوهشی که بر ارزن دم روباهی انجام شد افزایش غلظت آهن هنگامی که سلنیوم به برگ اعمال شد مشاهده شد. همچنین کاربرد سلنات در خاک باعث غلظت بیشتر منگنز، روی و منیزیم در دانه نسبت به سلنیت شد (Ning *et al.*, 2016). کاربرد سلنیوم در محیط رشد باعث افزایش غلظت منگنز، روی و مس و کاهش غلظت مولیبدن (Mo) در گیاه شاهی *Lepdium sativum* در شرایط تنش شد (Barrientes *et al.*, 2012).

روی یکی از عناصر کم‌مصرف مهم در تغذیه گیاه است که در فرآیندهای مختلف گیاهی دخیل است و کمبود آن مانع رشد و نمو گیاه می‌شود و به شکل Zn^{2+} جذب گیاه می‌شود (Fageria *et al.*,2010). کمبود روی در گیاهان نیز به نوبه خود سبب کاهش نسخه‌برداری و افزایش تجزیه ریبونوکلئیک اسیدها می‌گردد. افزون بر این عنصر روی در بیان ژن‌های مسئول کدگذاری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی دارد (Alscher *et al.*, 1997).

گیاه آهن را به شکل کلات شده (Fe^{3+}) و (Fe^{2+}) جذب می‌کند. بسیاری از عناصر در مقدار بالا، سبب کاهش در جذب و انتقال آهن می‌گردند (Fageria *et al.*, 2010). طبق پژوهش حاضر بیشترین مقدار جذب آهن و روی در تیمار کاربرد ریشه‌ای ۱ میلی‌گرم در لیتر که محلول‌غذایی در سطح یک اعمال شده بود، به‌دست آمد (جدول ۵).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با وجود اثر مثبت بیشتر محلول‌های غذایی اعمال شده در این پژوهش، موثرترین تیمارها عبارتند از: تیمار محلول غذایی سلنات سدیم ۱ میلی‌گرم در لیتر که باعث بیشترین شاخص کلروفیل، کارتنوئید، وزن و طول میوه و میزان جذب آهن و روی شد و تیمار محلول غذایی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر که موجب بیشترین میزان سلنیوم برگ، آنتوسیانین، درصد مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد، مواد جامد محلول، اسید کل و نسبت مواد جامد محلول به اسید کل گردید. تیمار محلول‌غذایی سلنات سدیم ۳ میلی‌گرم در لیتر نیز سبب بالاترین میزان سطح برگ، قطر و تعداد فندقه میوه شد. بنابراین، با توجه به هدف پژوهش بیشترین جذب سلنیوم در میوه در تیمار محلول‌پاشی سلنات سدیم ۲ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد که این غلظت سلنیوم تاثیر منفی بر سلامت انسان ندارد. در مجموع در بین تیمارهای محلول‌پاشی، تیمار محلول‌پاشی ۲ میلی‌گرم در لیتر و در بین تیمارهای محلول غذایی، تیمارهای ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تاثیر مثبت را داشته‌اند و می‌توانند به‌عنوان بهترین تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش در نظر گرفته شوند.

منابع

اوراقی اردبیلی، نرگس.، سعادتمند، سارا.، نیکنام، وحید و خاوری نژاد، رمضانعلی. (۱۳۹۲). اثر بکارگیری سلنیوم بر پارامترهای فیزیولوژیک گیاه سویا (*Glycin max* L.). *فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران*، ۸(۱)، ۱-۷.

حبیبی، قادر. (۱۳۹۴). تاثیر کاربرد برگی سلنیوم بر رشد، فعالیت و غلظت سلنیوم در دو رقم از گندم بهاره. *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۲۸(۱)، ۹۱-۱۰۲.

حبیبی، قادر.، قربانزاده، پروین و عابدینی، معصومه. (۱۳۹۵). تاثیر سلنیوم بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.). *دوماهنامه علمی پژوهشی گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۲(۴)، ۶۹۸-۷۱۵.

خادمی آستانه، رزیتا.، طباطبائی، سیدجلال و بلند نظر، صاحبعلی. (۱۳۹۳). تاثیر غلظت‌های مختلف سلنیوم بر عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی کلم تکمه‌ای. *نشریه علوم باغبانی(علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۸، ۵۳۵-۵۴۸.

سیدلر فاطمی، لیلا، طباطبایی، سیدجلال و فلاحی، اسماعیل. (۱۳۸۸). اثر سیلیسیوم بر رشد و عملکرد گیاه توت فرنگی در شرایط تنش شوری. *نشریه علوم باغبانی*، ۲۳(۱)، ۸۸-۹۵.

شکاری، لیلا.، کامل منش، محمدمجتبی.، مظفریان میمندی، مریم و صادقی، فرشاد. (۱۳۹۴). بررسی اثر سلنیوم بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه فلفل تند (*Capsicum anuum* L.). *نشریه علوم باغبانی* (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۹(۴)، ۵۹۴-۶۰۰

شیردل، محسن، عشقی، سعید و قرقانی، علی. (۱۳۹۶). مقایسه عملکرد و ویژگی‌های کیفی رقم‌های تجاری توت‌فرنگی در منطقه‌های جنوبی استان فارس به منظور تولید خارج از فصل. *مجله علوم و فنون باغبانی ایران*، ۱۸(۴)، ۳۴۳-۳۵۲.

REFERENCES

Abbas, S. M. (2012). Effects of low temperature and selenium application on growth and the physiological changes in sorghum seedlings. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, *8*(1), 268-286.

Alscher, R. G., Donahue, J. L., & Cramer, C. L. (1997). Reactive oxygen species and antioxidants: relationships in green cells. *Physiologia Plantarum*, 100(2), 224-233. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb04778.x.

Antunes, L. E. C., Ristow, N. C., Krolow, A. C. R., Carpenedo, S., & Reisser Júnior, C. (2010). Yield and quality of strawberry cultivars. *Horticultura Brasileira*, 28(2), 222-226. https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000200015.

Arora, R., Pitchay, D. S., & Bearce, B. C. (1998). Water-stress-induced heat tolerance in geranium leaf tissues: A possible linkage through stress proteins?. *Physiologia Plantarum*, 103(1), 24-34.

Barrientes, E., Rodrıguez Flores, C., Wrobel, K., & Wrobel, K. (2012). Impact of cadmium and selenium exposure on trace elements, fatty acids and oxidative stress in *Lepidium sativum*. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 56, 03–09.

Belzile, N., Wu, G. J., Chen, Y. W., & Appanna, V. D. (2006). Detoxification of selenite and mercury

by reduction and mutual protection in the assimilation of both elements by *Pseudomonas fluorescens*. *Science of the Total Environment*, 367(2-3), 704-714. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.03.008.

Bo, L. E. I., Bian, Z. H., Yang, Q. C., Jun, W. A. N. G., Cheng, R. F., Kun, L. I., Liu, W.K., Zhang, Y., Hui, F.A.N.G. & Tong, Y. X. (2018). The positive function of selenium supplementation on reducing nitrate accumulation in hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Integrative Agriculture*, 17(4), 837-846. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61759-3.

Bor, J. Y., Chen, H. Y., & Yen, G. C. (2006). Evaluation of antioxidant activity and inhibitory effect on nitric oxide production of some common vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(5), 1680-1686. https://doi.org/10.1021/jf0527448.

Bradstreet, R. B. (1954). Kjeldahl method for organic nitrogen. *Analytical Chemistry*, 26(1), 185-187. https://doi.org/10.1021/ac60085a028.

Broadley, M. R., Alcock, J., Alford, J., Cartwright, P., Foot, I., Fairweather-Tait, S. J., Hart, D. J., Hurst, R., Knott, P., McGrath, S.P., & Meacham, M. C. (2010). Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilisation. *Plant and Soil*, 332(1-2), 5-18. https://doi.org/10.1007/s11104-009-0234-4.

Ellis, D. R., & Salt, D. E. (2003). Plants, selenium and human health. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(3), 273-279. https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00030-X.

Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Jones, C. A. (2010). *Growth and mineral nutrition of field crops*. CRC Press: Florida.

FAO. (2017). Food Agriculture Organization statistics on line. http://www.fao.org/organica/oa-faq/oa-faq2/en/.

FAO. (2019). StatisticalYearbook2018:World Food and Agriculture. FAO Food Agric.Organization UN.

Fatemy, L. S., Tabatabaie, S. J., & Fallahi, E. (2009). The effect of silicon on the growth and yield of strawberry grown under saline conditions. *Journal of Horticultural Science*, 23(1), 88-95. (In Persian).

Finley, J. W., Sigrid-Keck, A., Robbins, R. J., & Hintze, K. J. (2005). Selenium enrichment of broccoli: interactions between selenium and secondary plant compounds. *The Journal of Nutrition*, 135(5), 1236-1238.

Forbes-Hernandez, T. Y., Gasparrini, M., Afrin, S., Bompadre, S., Mezzetti, B., Quiles, J. L., Giampieri, F., & Battino, M. (2016). The healthy effects of strawberry polyphenols: which strategy behind antioxidant capacity?. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(1), S46-S59. https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1051919.

Franke, A. A., Custer, L. J., Arakaki, C., & Murphy, S. P. (2004). Vitamin C and flavonoid levels of fruits and vegetables consumed in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17(1), 1-35. https://doi.org/10.1016/S0889-1575(03)00066-8.

Ghasemnezhad, M., Sherafati, M., & Payvast, G. A. (2011). Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annuum*) fruits at two different harvest times. *Journal of Functional Foods*, 3(1), 44-49. https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.02.002.

Ghasemnezhad, M., Shiri, M. A., & Sanavi, M. (2010). Effect of chitosan coatings on some quality indices of apricot (*Prunus armeniaca* L.) during cold storage. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 8(1), 25-33.

Ghasemnezhad, M., Zareh, S., Rassa, M., & Sajedi, R. H. (2013). Effect of chitosan coating on maintenance of aril quality, microbial population and PPO activity of pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Tarom) at cold storage temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2), 368-374. https://doi.org/10.1002/jsfa.5770.

Golubkina, N. A., Kosheleva, O. V., Krivenkov, L. V., Dobrutskaya, H. G., Nadezhkin, S., & Caruso, G. (2017). Intersexual differences in plant growth, yield, mineral composition and antioxidants of spinach (*Spinacia oleracea* L.) as affected by selenium form. *Scientia Horticulturae*, 225,

350-358. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.001.

Habibi, G. (2015). Effect of foliar application of Se on growth, antioxidant defense and grain concentration of Se in two cultivars of spring wheat plants. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 28(1), 91-102. (In Persian).

Habibi, G., Ghorbanzade, P., & Abedini, M. (2016). Effects of selenium application on physiological parameters of *Melissa officinalis* L. plants. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 32(4), 698-715. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.107141.

Hawes, L.(1996*). Strawberries- varieties and culture for commerical production*. The Horticultural and food research Instiute of New Zealand Ltd.

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. https://doi.org/10.1007/s10725-013-9788-5.

Hilton, J. W., Hodson, P. V., & Slinger, S. J. (1980). The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *The Journal of Nutrition*, 110(12), 2527-2535. https://doi.org/10.1093/jn/110.12.2527.

Hiscox, J. T., & Israelstam, G. F. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany*, 57(12), 1332-1334. https://doi.org/10.1139/b79-163.

Jones, R. O., & Hohl, D. (1990). Structure, bonding, and dynamics in heterocyclic sulfur-selenium molecules, SexSy. *Journal of the American Chemical Society*, 112(7), 2590-2596. https://doi.org/10.1021/ja00163a018.

Khademi Astaneh, R., Tabatabaie, S. J., & Bolandnazar, S. A. (2015). The effect of different concentrations of se on yield and physiological characteristics of Brussels Sprouts (*Brassica oleracea* var. Gemmifera). *Journal of Horticultural Science*, 28(4), 548-535. (In Persian).

Khosravi, S., Valizadehkaji, B., & Abbasifar, A. (2022). Foliar application of selenium affects nitrate accumulation and morpho-physiochemical responses of garden Cress plants. *Intrnational Journal of Horticultural Science and Technology*, 9(3), 329-338. https://doi.org/10.22059/ijhst.2021.325036.472.

Lako, J., Trenerry, V. C., Wahlqvist, M., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran, S., & Premier, R. (2007). Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chemistry*, 101(4), 1727-1741. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.031.

Latocha, P. (2007). The comparison of some biological features of *Actinidia arguta* cultivars fruit. *Horticulture & Landscape Architecture*, 28, 105-109.

Lee, S. K., & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 207-220. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2.

Lindsay, W. L., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421-428. https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x.

Lyons, G. H., Lewis, J., Lorimer, M. F., Holloway, R. E., Brace, D. M., Stangoulis, J. C., & Graham, R. D. (2004). High-selenium wheat: agronomic biofortification strategies to improve human nutrition. *Food Agriculture Environmen*t, 2(1), 171-178.

Malorgio, F., Diaz, K. E., Ferrante, A., Mensuali-Sodi, A., & Pezzarossa, B. (2009). Effects of selenium addition on minimally processed leafy vegetables grown in a floating system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(13), 2243-2251. https://doi.org/10.1002/jsfa.3714.

Marinou, E., Chrysargyris, A., & Tzortzakis, N. (2013). Use of sawdust, coco soil and pumice in hydroponically grown strawberry. *Plant, Soil and Environment*, 59(10), 452-459. https://doi.org/10.17221/297/2013-PSE.

Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants.* Academic Press, London.

Marsh, K., Attanayake, S., Walker, S., Gunson, A., Boldingh, H., & MacRae, E. (2004). Acidity and taste in kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 32(2), 159-168.

https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.11.001.

Mehdi, Y., Hornick, J. L., Istasse, L., & Dufrasne, I. (2013). Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules*, 18(3), 3292-3311. https://doi.org/10.3390/molecules18033292.

Mendez-Lagunas, L., Rodríguez-Ramírez, J., Cruz-Gracida, M., Sandoval-Torres, S., & Barriada-Bernal, G. (2017). Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content. *Food Chemistry*, 230, 174-181. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.010.

Mimmo, T., Tiziani, R., Valentinuzzi, F., Lucini, L., Nicoletto, C., Sambo, P., Scampicchio, M., Pii, Y., & Cesco, S. (2017). Selenium biofortification in *Fragaria* × *ananassa*: implications on strawberry fruits quality, content of bioactive health beneficial compounds and metabolomic profile. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1887. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01887.

Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., & Van Breusegem, F. (2004). Reactive oxygen gene network of plants. *Trends in Plant Science*, 9(10), 490-498. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.08.009.

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. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.12.003.

Ning, N., Yuan, X. Y., Dong, S. Q., Wen, Y. Y., Gao, Z. P., Guo, M. J., & Guo, P. Y. (2016). Increasing selenium and yellow pigment concentrations in foxtail millet (*Setaria italica* L.) grain with foliar application of selenite. *Biological Trace Element Research*, 170, 245-252. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.08.009.

Oraghi Ardebili, N., Saadatmand, S., Niknam, V., & Khavari Nejad, R. (2013). The effects of selenium utilization on metabolism of soybean plants (*Glycine max* L.). *Journal of Plant and Biotechnology*, 8(1), 1-7. (In Persian).

Pinto, M. D. S., Kwon, Y. I., Apostolidis, E., Lajolo, F. M., Genovese, M. I., & Shetty, K. (2008). Functionality of bioactive compounds in Brazilian strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivars: evaluation of hyperglycemia and hypertension potential using in vitro models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(12), 4386-4392.

Roig, M. G., Rivera, Z. S., & Kennedy, J. F. (1995). A model study on rate of degradation of L-ascorbic acid during processing using home-produced juice concentrates. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 46(2), 107-115. https://doi.org/10.3109/09637489509012538.

Schiavon, M., Lima, L. W., Jiang, Y., & Hawkesford, M. J. (2017). Effects of selenium on plant metabolism and implications for crops and consumers. In E. A. H. Pilon-Smits, L. H. E. Winkel & Z. Q. Lin (Eds.), *Selenium in plants: molecular, physiological, ecological and evolutionary aspects* (pp. 257-275). Springer, Cham, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56249-0_15.

Schrauzer, G. N. (2000). Selenomethionine: a review of its nutritional significance, metabolism and toxicity. *The Journal of Nutrition*, 130(7), 1653-1656.

Seppanen, M., Turakainen, M., & Hartikainen, H. (2003). Selenium effects on oxidative stress in potato. *Plant Science*, 165(2), 311-319. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00085-2.

Shekari, L., Kamelmanesh, M. M., Mozafarian, M., & Sadeghi, F. (2016). Beneficial effects of selenium on some morphological and physiological trait of Hot Pepper (*Capsicum annum*). *Journal of Horticultural Science*, 29(4), 594-600. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v29i4.32110.

Shirdel, M., Eshghi, S., & Gharaghani, A. (2018). Yield comparison and qualitative characteristics of commercial cultivars of strawberry in southern parts of Fars province in order to off-season production. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 18 (4), 343-352. (In Persian).

Sippola, J. (1979). Selenium content of soils and timothy *(Phleum pratense* L.) in Finland. *Annales Agriculturae Fenniae*, 18, 182-187.

Son, J. E., Kim, H. J., & Ahn, T. I. (2020). Hydroponic systems. In T. Kozai, G. Niu & M. Takagaki (Eds.), *Plant factory* (pp. 273-283). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00020-0.

Tamas, M., Mandoki, Z. S., & Csapó, J. (2010). The role of selenium content of wheat in the human nutrition. A literature review. *Acta Univercity Sapientiae Aliment*, 3, 5-34.

Terry, N., Zayed, A. M., De Souza, M. P., & Tarun, A. S. (2000). Selenium in higher plants. *Annual Review of Plant Biology*, 51(1), 401-432. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.401.

Thavarajah, D., Thavarajah, P., Vial, E., Gebhardt, M., Lacher, C., Kumar, S., & Combs, G. F. (2015). Will selenium increase lentil (*Lens culinaris* Medik) yield and seed quality?. *Frontiers in Plant Science*, 6, 356. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00356.

Turakainen, M. (2007). *Selenium and its effects on growth, yield and tuber quality in potato* (Publication No. 30). [Doctoral dissertation, University of Helsinki].

White, P. J., & Broadley, M. R. (2009). Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets–iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*, 182(1), 49-84. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x.

Yin, H., Qi, Z., Li, M., Ahammed, G. J., Chu, X., & Zhou, J. (2019). Selenium forms and methods of application differentially modulate plant growth, photosynthesis, stress tolerance, selenium content and speciation in *Oryza sativa* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 169, 911-917. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.080.

Zhong-hua, B., Bo, L., Rui-feng, C., Yu, W., Tao, L., & Qi-chang, Y. (2020). Selenium distribution and nitrate metabolism in hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.): Effects of selenium forms and light spectra. *Journal of Integrative Agriculture* 19(1), 133–144. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62775-9.