تأثیر میکرو و نانوذرات سیلیسیم روی برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و غلظت سیلیسیم در گیاه توت‌فرنگی

رحمان یوسفی[1] و محمود اثنی‌عشری*[1]

۱- به ترتیب دانشجوی دکتری تخصصی و استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

* نویسنده مسئول: m.esnaashari@basu.ac.ir

چکیده

سیلیسیم اثرهای مفیدی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد و این اثربخشی به طرز شدیدی وابسته به نوع منبع سیلیسیمی، اندازه ذرات و غلظت اعمالی آن دارد. بر این اساس در این پژوهش تأثیر محلول‌دهی ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگی غلظت‌های مختلف میکرو و نانوذرات سیلیسیم (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر) روی برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و نیز غلظت سیلیسیم در اندام هوایی توت‌فرنگی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که تمامی ویژگی‌های مورد مطالعه تحت تأثیر سیلیسیم قرار گرفتند و این تأثیر وابسته به فرم سیلسیم، غلظت و روش کاربرد آن داشته است، به طوریکه نانوسیلیسیم نسبت به میکروسیلیسیم و روش محلول‌دهی ریشه‌ای نسبت به محلول‌پاشی برگی نتایج بهتری داشت. تیمار محلول‌دهی ریشه‌ای نانوسیلیسیم با غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر بهترین نتایج را درمورد ویژگی‌های مورد مطالعه داشته است و می‌تواند به عنوان یک گزینه مطلوب برای توصیه مدنظر باشد.

کلمات کلیدی: میکروذرات، نانوذرات، محلول‌پاشی برگی، محلول‌دهی ریشه‌ای

مقدمه

توت‌فرنگی یکی از بی‌نظیرترین ریز میوه‌های مناطق معتدله است که در دهه‌های اخیر در زمره تولیدات مهم و تجاری قرار گرفته است (سیدلر فاطمی و همکاران، ۱۳۸۸). یکی از عوامل مؤثر بر شاخص‌های رشد و عملکرد توت‌فرنگی استفاده از عناصر غذایی مختلف طی مرحله‌ی رشد آن می‌باشد. یکی از این عناصر غذایی تأثیرگذار سیلیسیم (Silicon) است که دومین عنصر فراوان پوسته‌ی زمین (۳۱٪) بعد از اکسیژن (۴۹٪) می‌باشد. با وجود فراوانی سیلیسیم در پوسته زمین اکثر فرم‌های آن قابل جذب برای گیاه نیست و نیز در تولیدات گلخانه‌ای با محیط های کشت مختلف یا آبکشت و محلول‌های غذایی متداول، سیلیسیم موجود نیست و بدین‌ترتیب کاربرد سیلیسیم در این گونه کشت‌ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (Talgar *et al.*, 2011). این عنصر در افزایش کارآیی مصرف آب و همچنین بر رشد و عملکرد گیاه اثرات مثبتی دارد (Gao *et al.*, 2006). سیلیسیم نقش مهمی در گلدهی گیاه توت‌فرنگی داشته و وزن خشک گیاه، کیفیت میوه و عملکرد را نسبت به شاهد بالاتر برده است (Miyake & Takahashi,1986). سیدلر فاطمی و همکاران (۱۳۸۸) گزارش دادند که شاخص‌های عملکرد و محتوای رطوبت نسبی برگ گیاه توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری کاهش و با کاربرد سیلیسیم به طور معناداری افزایش یافت. یکی از مهمترین کاربردهای فناوری نانو به عنوان یک فناوری بین‌رشته‌ای و نوین، استفاده از نانوذرات و نانوکودها برای تغذیه گیاهان و بهبود رشد و عملکرد محصولات کشاورزی می‌باشد. پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه ذرت تحت تأثیر سیلیسیم و نانوسیلیسیم قرار گرفت و نانوسیلیسیم در مقایسه با سیلیسیم تأثیرات مثبت‌تری بر جای گذاشت (Suriyaprabha *et al.* 2012). هدف این مطالعه بررسی تغییرات مورفولوژیکی و غلظت سیلیسیم اندام هوایی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف میکرو و نانوسیلیسیم با دو روش کاربرد محلول‌دهی ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت یک آزمایش فاکتوریل دارای ۳ فاکتور بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و در هر تکرار ۴ گیاه در گلخانه و آزمایشگاه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه بوعلی سینا همدان در سال ۱۳۹۳ اجرا گردید. فاکتور اول نوع دی-اکسیدسیلیسیم در ۲ مقیاس میکرو و نانو، فاکتور دوم غلظت به کاربرده شده دی‌اکسیدسیلیسیم در ۴ سطح شامل ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰

میلی‌گرم در لیتر و فاکتور سوم روش کاربرد در ۲ سطح شامل محلول‌پاشی برگی و محلول‌دهی ریشه‌ای بود. دو تیمار شاهد (محلول‌پاشی برگی و محلول‌دهی ریشه‌ای آب مقطر) نیز برای مقایسه با سایر تیمارها در نظر گرفته شد. نشاهای گلدانی توت‌فرنگی رقم کاماروزا (Camarosa) در کیسه‌های کشت پلاستیکی (با ابعاد ۴۰ سانتی متر ارتفاع و ۲۵ سانتی متر قطر دهانه) محتوی مخلوطی از کوکوپیت و پرلایت به نسبت ۱:۱ کشت شدند. از محلول غذایی هوگلند کامل برای آبیاری و تغذیه گیاهان تا پایان دوره آزمایش استفاده شد. قطر ذرات میکروسیلیسیم ($Micro\text{-}SiO_2$) و نانوسیلیسیم ($Nano\text{-}SiO_2$) به ترتیب معادل ۱۰-۰/۵ میکرو-متر و ۲۰-۱۰ نانومتر بود که هر دو از شرکت Sigma-Aldrich تهیه گردیدند. به منظور پراکنده شدن ذرات و تهیه سوسپانسیون همگن و یکنواخت از میکرو و نانوسیلیسیم، سوسپانسیون اولیه این ترکیبات قبل از استفاده به مدت ۳۰ دقیقه داخل دستگاه هموژنایزر اولتراسونیک (باندلین، یووی ۳۱۰۰) قرار داده شد تا سوسپانسیون یکنواختی از آن‌ها به دست آمد که بلافاصله برای اعمال تیمارها استفاده شدند. اعمال تیمارها روی گیاهان در مرحله ۵-۴ برگی و دو هفته پس از آن صورت گرفت. در پایان دوره آزمایش (۴ ماه) برخی خصوصیات مورفولوژیکی شامل تعداد برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و نیز غلظت سیلیسیم در اندام هوایی گیاهان اندازه گیری شد. تعداد برگ با شمارش تمامی برگ‌های بوته توت‌فرنگی در پایان آزمایش، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه با استفاده از ترازوی دیجیتال و غلظت سیلیسیم اندام هوایی با روش هضم اتوکلاو و سپس کالریمتری با اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Moyer *et al.*, 2008). داده‌های به دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه و تحلیل آماری شدند و جهت مقایسه‌ی میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده نشان داد که تیمارهای اعمالی بر تمامی ویژگی‌های مورد مطالعه در این آزمایش در سطوح مختلف آماری ۱٪ و ۵٪ اثر معنی‌دار داشته است. به گونه‌ای که اثر متقابل سه‌گانه فاکتورهای مورد بررسی بر تعدادبرگ در سطح احتمال ۱٪، بر وزن تر اندام هوایی در سطح احتمال ۵٪، بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۱٪، بر وزن تر ریشه در سطح احتمال ۵٪، بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۵٪ و بر غلظت سیلیسیم اندام هوایی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است. مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها (جداول ۱ و ۲) نشان داده است که به لحاظ تمامی ویژگی‌های مورد مطالعه بین تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید، به طوریکه بیشترین تعداد برگ در تیمار محلول‌دهی ریشه‌ای نانوسیلیسیم به تعداد ۲۴/۳۳ برگ، بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمار محلول‌دهی ریشه‌ای نانوسیلیسیم به ترتیب به مقدار ۷۰/۳۳ و ۱۳/۰۴ گرم، بیشترین وزن تر و خشک ریشه نیز در تیمار محلول‌دهی ریشه‌ای نانوسیلیسیم به ترتیب به مقدار ۳۹/۲۲ و ۴/۴۳ گرم و همچنین بیشترین غلظت سیلیسیم اندام هوایی در همین تیمار به میزان ۰/۵۰ ٪ مشاهده گردید که اختلاف تمامی این ارقام با تیمارهای شاهد و نیز اکثر دیگر تیمارها معنی-دار بوده است (جداول ۱ و ۲). در مجموع با بررسی اثرات جداگانه و متقابل تیمارها مشخص گردید که نانوسیلیسیم نسبت به میکرو سیلیسیم و روش کاربرد محلول‌دهی ریشه‌ای نسبت به روش محلول‌پاشی برگی دارای اثرات بهتری بوده است. در بین سایر غلظت‌های اعمالی سیلیسیم نیز ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نتایج قابل قبولی داشته است. به طور کلی تیمار محلول‌دهی ریشه‌ای نانوسیلیسیم در غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر با توجه به نتایج این تحقیق اثرات مثبت و قابل قبولی داشته است و میتواند به عنوان یک گزینه مطلوب برای توصیه در کشت گلخانه‌ای و بدون خاک یا هیدروپونیک توت‌فرنگی مدنظر باشد. فاطمی و همکاران (۱۳۸۸) گزارش کردند که کاربرد سیلیسیم از منبع اسید سیلیسیک باعث افزایش تعدادبرگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در گیاه توت‌فرنگی شد. Miyake & Takahashi (1986) نیز افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه و نیز غلظت سیلیسیم در توت‌فرنگی را در نتیجه کاربرد سیلیسیم از منبع اکسید سیلیسیم گزارش دادند. نتایج این آزمایش با نتایج آنان مطابقت دارد. افزایش شاخص - های رشدی در نتیجه کاربرد سیلیسیم به افزایش میزان فتوسنتز و کارآیی مصرف آب و بهبود محتوای رطوبت نسبی برگ در نتیجه کاربرد سیلیسیم برمیگردد (فاطمی و همکاران،۱۳۸۸). سیلیسیم با بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها در جذب نور باعث بهبود

فتوسنتز در گیاه و در نتیجه افزایش شاخص‌های رشدی و عملکردی گیاه می‌شود. Miyake & Takahashi (1986) اظهار داشتند که روش جذب سیلیسیم در توت‌فرنگی شبیه سویا می‌باشد و گیاه توت‌فرنگی سیلیسیم را آزادانه از ریشه به اندام هوایی انتقال می-دهد.

جدول ۱ - اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر تعداد برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر ریشه توت‌فرنگی

تیمار	mg l^{-1}	تعداد برگ		وزن تر اندام هوایی (گرم)		وزن خشک اندام هوایی (گرم)		وزن تر ریشه (گرم)	
		محلول‌پاشی	محلول‌دهی	محلول‌پاشی	محلول‌دهی	محلول‌پاشی	محلول‌دهی	محلول‌پاشی	محلول‌دهی
شاهد	۰	۱۳/۹۱i	۱۳/۸۳i	۳۱/۸۳h	۳۷/۳۴fgh	۶/۸۳g	۷/۹۷fg	۱۸/۲۳g	۱۸/۹۹fg
میکروسیلیسیم	۲۰	۱۴/۰۰i	۱۵/۳۳ghi	۴۰/۵۷e-h	۴۲/۶۳e-h	۷/۹۹fg	۹/۷۵def	۱۹/۳۰fg	۱۹/۶۲fg
	۴۰	۱۶/۰۰f-i	۱۵/۰۸hi	۴۲/۷۷e-h	۳۹/۲۲fgh	۹/۷۰def	۹/۱۳ef	۱۹/۳۹fg	۱۹/۰۳fg
	۶۰	۱۷/۳۳e-h	۱۷/۵۸efg	۴۷/۶۴c-g	۴۲/۰۶e-h	۱۰/۷۵b-e	۹/۹۴de	۲۹/۳۰bc	۲۹/۹۷b
	۸۰	۱۶/۲۵f-i	۱۸/۲۵def	۵۰/۰۶b-g	۶۱/۰۲ab	۱۰/۲۹cde	۱۱/۹۳abc	۲۲/۱۴ef	۲۶/۴۵cd
نانوسیلیسیم	۲۰	۱۷/۰۸e-h	۱۶/۷۵fgh	۴۰/۸۴e-h	۵۱/۸۵b-f	۹/۲۶ef	۱۰/۹۹b-e	۲۱/۹۳ef	۲۲/۹۱e
	۴۰	۱۹/۳۳cde	۲۰/۶۶bc	۴۵/۷۰d-g	۵۰/۷۶b-g	۱۰/۲۲cde	۱۱/۱۶bcd	۲۹/۳۰bc	۳۱/۴۱b
	۶۰	۲۰/۴۱bcd	۲۴/۳۳a	۵۹/۵۵abc	۷۰/۳۳a	۱۲/۳۰ab	۱۳/۰۴a	۳۶/۹۲a	۳۹/۲۲a
	۸۰	۲۲/۰۸b	۲۲/۰۱b	۵۸/۲۵a-d	۵۴/۰۱b-e	۱۱/۵۱a-d	۱۰/۹۴b-e	۲۴/۶۰de	۲۳/۸۸de

*: میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۲- اثر متقابل سیلیسیم، غلظت و روش کاربرد بر وزن خشک ریشه و غلظت سیلیسیم در اندام هوایی توت‌فرنگی

تیمار	mg l^{-1}	وزن خشک ریشه (گرم)		غلظت سیلیسیم (٪)	
		محلول‌پاشی	محلول‌دهی	محلول‌پاشی	محلول‌دهی
شاهد	۰	۲/۵۲f	۲/۸۵def	۰/۰۷j	۰/۰۸j
میکروسیلیسیم	۲۰	۲/۸۱def	۲/۷۹def	۰/۲۱i	۰/۲۶h
	۴۰	۲/۹۹def	۲/۸۷def	۰/۳۳fg	۰/۲۹gh
	۶۰	۳/۶۵bc	۳/۷۲bc	۰/۳۴efg	۰/۳۸cde
	۸۰	۲/۹۸def	۳/۴۰bcd	۰/۳۴fg	۰/۲۹gh
نانوسیلیسیم	۲۰	۲/۶۳ef	۲/۸۷def	۰/۲۷h	۰/۳۰gh
	۴۰	۳/۲۰cde	۳/۹۵ab	۰/۳۵def	۰/۴۴b
	۶۰	۳/۵۹bc	۴/۴۳a	۰/۴۲bc	۰/۵۰a
	۸۰	۳/۲۴cde	۳/۱۶cde	۰/۳۳fg	۰/۳۹dc

*: میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

نظریه Blackman (1969) نیز بیان می‌کند که سیلیسیم از ریشه به اندام هوایی انتقال می‌یابد و از دست دادن آب از طریق تعرق در برگ‌ها تشکیل سیلیس بی‌شکل هیدراته را خصوصاً در سلول‌های اپیدرم برگ افزایش‌می‌دهد و در نتیجه غلظت سیلیسیم در اندام هوایی افزایش می‌یابد. دلیل مؤثرتر واقع شدن روش محلول‌دهی ریشه‌ای نسبت به روش محلول‌پاشی برگی نیز به همین موضوع جذب و انتقال سیلیسیم از ریشه به اندام هوایی برمیگردد. کاربرد نانوذرات سیلیسیم نسبت به میکروذرات آن مؤثرتر واقع شد که

احتمالاً به علت داشتن سطح مخصوص زیادتر نسبت به میکرو و نیز نفوذ راحت تر و سریع‌تر به درون غشای پلاسمایی به خاطر سایز کوچکتر آنان نسبت به میکروذرات باشد.

منابع

۱- فاطمی سیدلر، ل.، طباطبایی، س.ج. و فلاحی، ا. ۱۳۸۸. اثر سیلیسیوم بر رشد و عملکرد گیاه توت فرنگی در شرایط تنش شوری. مجله علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۳، شماره ۱: ۹۵-۸۸.

2- Blackman, E. 1969. Observation on the development of the silica cells of the leaf sheath of wheat (*Triticum aestivum*). Canadian Journal of Botany. 47: 827- 838.

3- Gao, X., Zou, C., Wang, L. and Zhang, F. 2006. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. J. Plant Nutrition. 29: 1637-1647.

4- Miyake, Y. and Takahashi, E. 1986. Effect of Silicon on the Growth and Fruit Production of Strawberry Plants in a Solution Culture. Soil Science and Plant Nutrition. 32: 321-326.

5- Moyer, C., Peres, N.A., Datnoff, L.E., Simonne, E.H. and Deng, Z. 2008. Evaluation of Silicon for Managing Powdery Mildew on Gerbera Daisy. Journal of Plant Nutrition. 31: 2131–2144.

6- Siddiqui, M. H. and Al-Whaibi, M.H. 2014. Role of nano-SiO_2 in germination of tomato (*Lycopersicum esculentum* seeds Mill.). Saudi Journal of Biological Sciences. 21: 13-17.

7- Suriyaprabha, R., Karunakaran, G., Yuvakkumar, R., Prabu, P., Rajendran, V. and Kannan, N. 2012. Growth and physiological responses of maize (*Zea mays* L.) to porous silica nanoparticles in soil. Journal of Nanoparticles Researchs. 14: 1294.

8- Talgar, S., Gu, J. X., Xu, C. S., Yang, Z., Zhao, Q., Liu, Y. X. and Liu, Y. C. 2011. Phytotoxic and genotoxic effects of ZnO nanoparticles on garlic (*Allium sativum* L.): A morphological study. Nanotoxicology. 1: 1-8.

The effect of Micro- and Nano-particles of silicon on some morphological characteristics and silicon concentration in strawberry plant

R. Yousefi[1] and M. Esna-ashari[1*]

1-Respectively PhD Student and Professor in Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran.

*Corresponding author: m.esnaashari@basu.ac.ir

Abstract

Silicon have the positive effects on growth and yield of plants. This effectiveness is strictly dependent on the type and size of silicon source used and the applied rate of this element. On this basis, in this research studied the effect of root- and foliar-application of Micro- and Nano-particles of silicon in different concentration (20, 40, 60 and 80 mg/l) on some morphological characteristics and silicon content in canopy of strawberry. The results showed that all of studied characteristics affected by silicon treatment and this effect dependent on the type, rate and apply method of silicon as Nano-SiO_2 than Micro-SiO_2 and root-applied than foliar-applied method has the better results. 60 mg L^{-1} of Nano-SiO_2 in root-applied showed the better results on studied traits and can is a good case for recommendation.

Keywords: Micro-particles, Nano-particles, Foliar-application, Root-application