

Effect of Silicon Nutrition on Strawberry cv. Camerosa Yield and Growth in Outdoor Hydroponic System

Kamran Ghasemi^{1*}, Mehdi Ghajar Sepanlou² and Mehdi Hadadinejad³

- 1- ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran (kamranghasemi63@gmail.com)
- 2- Associated Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
- 3- Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 24 July, 2018

Accepted: 22 June, 2019

Abstract

Background and Objectives

Strawberry is one of the important small fruits worldwide because of its high economical value. Mazandaran is ranked second among Iran's strawberry producing provinces with about 14581 tones of strawberry yearly. This research aimed to evaluate the effect of different silicon sources on the reproductive and vegetative growth of strawberry in an outdoor hydroponic system.

Materials and Methods

This experiment carried out in a factorial format with two factors consisting of growth media (double medium: 1 cocopeat + 1 perlite, and triple medium: 1 cocopeat + 1 perlite + 1 rice husk) and silicon spray (control, 50 mg/L Si from sodium silicate, 100 mg/L Si from sodium silicate, 50 mg/L Si from potassium silicate, 100 mg/L Si from potassium silicate). It was performed in Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University at 2016. Different characteristics including silicon concentration in the leaf, aerial fresh and dry weight, leaf number, fresh and dry weight of crown, fresh and dry weight of root, yield, weight of single fruit, number of the produced fruits in each plant were evaluated.

Results

Potassium silicate 100 increased silicon concentration of strawberry leaf significantly. Leaf number of the plant and aerial dry weight in triple medium were significantly higher than the double medium. High rate of potassium silicate in the triple medium caused lower crown diameter in comparison with potassium silicate 50 in the same medium. However, in the double medium, the potassium silicate 50 was the best treatment for crown diameter. Both fresh and dry weight of strawberry roots were the highest in the double medium and potassium silicate 50 treatment. Single fruit weight was maximum in the double medium and potassium silicate 100, which was not significantly different from potassium silicate 100 in triple medium. Fruit dry matter in the double medium and potassium silicate 50 treatments was more than other treatments. Fruit size was affected by medium, so that fruit size in the double medium was more than the triple medium significantly.



Discussion

Sodium toxicity in sodium silicate treatment, low rate of silicon in potassium silicate 50 treatment, and lack of rice husk in the double medium could all negatively affect different physiological aspects of strawberry growth; or at least, they hindered achieving positive results. In summary, it can be concluded that the double medium and potassium silicate 100 can be recommended for higher yield and big strawberry fruit, but the triple medium and potassium silicate are useful treatments for vegetative growth specially for more crown diameter and root growth.

Keywords: Crown diameter, Growth medium, Rice husk, Silica, Silicate

تأثیر تغذیه سیلیسیومی بر رشد و باردهی توت‌فرنگی رقم کاماروسا در کشت هیدروپونیک در شرایط فضای باز

کامران قاسمی^{۱*}، مهدی قاجار سپانلو^۲ و مهدی حدادی‌نژاد^۳

۱- *نویسنده مسئول: استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران (kamranghasemi63@gmail.com)

۲- دانشیار، گروه خاکشناسی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۲

چکیده

توت‌فرنگی از ریزمیوه‌های مهم می‌باشد که اهمیت تجاری بالایی دارد. در این آزمایش که در سال ۱۳۹۵ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور بستر کاشت و تغذیه سیلیسیومی اجرا شد، دو بستر کاشت شامل بستر دوگانه (نسبت مساوی کوکوپیت + پرلیت) و بستر سه‌گانه (نسبت مساوی کوکوپیت + پرلیت + پوسته برنج) و همچنین تغذیه سیلیسیومی در پنج سطح شامل صفر میلی‌گرم بر لیتر (شاهد)، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیوم از منبع سیلیکات سدیم و ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیسیوم از منبع سیلیکات پتاسیم مورد ارزیابی قرار گرفت. محلول پاشی سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ توانست به‌طور معنی‌داری غلظت سیلیس برگ را افزایش دهد (حدود ۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک). تعداد برگ بوته و وزن خشک قسمت هوایی در بستر سه‌گانه برتری معنی‌داری را نسبت به بستر دوگانه نشان دادند. غلظت بالای سیلیکات پتاسیم در بستر سه‌گانه به‌طور معنی‌داری قطر طوقه کمتری نسبت به سیلیکات پتاسیم ۵۰ در همین بستر داشته است؛ این در حالی است که در بستر دوگانه سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ قطر طوقه‌ای مناسب داشته است. تیمار سیلیکات پتاسیم ۵۰ در بستر سه‌گانه، بیشترین مقدار وزن تر و خشک ریشه را نشان دادند. از نظر وزن تک میوه، سیلیکات سدیم ۱۰۰ در بستر دوگانه بیشترین وزن تک میوه را داشت که اختلاف آن با سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ در بستر سه‌گانه معنی‌دار نبود. لذا اگر تولید با عملکرد بالا و وزن تک میوه زیاد مدنظر باشد استفاده از سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ در بستر دوگانه توصیه می‌شود. در صورتی که هدف رشد رویشی قوی باشد سیلیکات پتاسیم ۵۰ در بستر سه‌گانه می‌تواند قطر طوقه بیشتر و ریشه‌های قوی را موجب گردد.

کلیدواژه‌ها: بستر کاشت، پوسته برنج، سیلیس، سیلیکات، قطر طوقه

مقدمه

تولیدکننده توت‌فرنگی کشور محسوب می‌گردد. در شرایط اقلیمی مناسب مازندران به‌ویژه دمای مساعد فصل کاشت و رشد، تولید این میوه زودرس‌تر از سایر استان‌های کشور شده لذا برداشت‌های اول از مزیت نسبی بالایی برخوردار می‌باشد (Shadmehri et al., 2017).

توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa* Duch) از جمله ریزمیوه‌های مهم ایران (Hadadinejad et al., 2017) با تولید سالیانه حدود ۶۲ هزار تن می‌باشد که استان مازندران با تولید ۱۴۵۸۱ تن محصول پس از کردستان، دومین

فعالیت‌های آنزیمی (Nelwamondo and Dakora, 1999;) و (Nelwamondo et al., 2001; Mali and Airy, 2008) و گسترش تشکیل کربن محبوس در فیتولیت (Phytolith) (ساختار میکروسکوپی سخت با منشا سیلیس موجود در بافت‌های گیاهی) و ارتقای ترسیب زیستی کربن (Carbon bio-sequestration) (روند ذخیره کربن هوا در خاک و گیاه) دی‌اکسید کربن اتمسفر (Song et al., 2012) می‌باشد. در یک پژوهش مشخص شده است که بکارگیری سیلیکات پتاسیم روی بوته‌های توت‌فرنگی متابولیسم اسید، قند و چربی توت‌فرنگی را به شکل مطلوبی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Wang and Galletta, 1998). بر اساس نتایج پژوهشی دیگر رقم سلوا نسبت به رقم کاماروسا واکنش مثبت و بهتری در صفات کمی و کیفی در شرایط آب‌کشت به تیمار سیلیکات پتاسیم نشان داد، هر چند محتوای فنل میوه‌های برداشت‌شده تحت تأثیر این تیمار قرار نگرفته بود (Mahmoudi et al., 2018). بررسی اثر محلول‌پاشی و کودآبیاری، منابع سیلیسیومی همراه با پتاسیم، سدیم و کلسیم در دوره رشد رویشی توت‌فرنگی نشان داد که تیمار سیلیسیوم منجر به افزایش رشد بوته‌های توت‌فرنگی گردید؛ هر چند این واکنش در بین ارقام مختلف و بسته به نوع منبع سیلیسیمی بکار رفته، تفاوت نشان داد (Park et al., 2018). هدف از این پژوهش بررسی اثر منابع و غلظت‌های مختلف سیلیسیوم بر باردهی و رشد رویشی توت‌فرنگی در شرایط آب‌کشت در فضای باز و بدون تنش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

کاشت بوته‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا تهیه‌شده از تولیدکننده نشای تجاری، در اوایل دی ماه سال ۱۳۹۵ در محوطه حفاظت‌شده در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در فضای باز و به صورت هیدروپونیک بستر جامد انجام شد. برداشت محصول نیز از اواسط اردیبهشت‌ماه سال ۹۶ آغاز و تا اوایل تیرماه به طول انجامید. آزمایش به صورت فاکتوریل با دو فاکتور (بستر کاشت و تغذیه سیلیسیوم) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار (هر تکرار شامل سه بوته) انجام گرفت. بستر کاشت در دو

شرایط نامناسب خاک، رطوبت نسبی بالا و زیاد بودن تعداد روزهای ابری از عواملی است که محدودیت‌هایی را در مسیر بهبود کیفیت و ماندگاری محصول تولیدی ایجاد می‌نماید. همچنین بنابر اعلام جهاد کشاورزی استفاده از ارقام توت‌فرنگی محلی در مازندران به دلیل کیفیت پایین و حساسیت به آفات و بیماری‌ها به تدریج منسوخ شده و در حال محدود شدن به رقم پرمصرف کاماروسا (Camarosa) می‌باشد (Mollaei, 2018).

اعلام شده است که کشت توت‌فرنگی در بستر جامد بدون خاک منجر به بهبود عملکرد نسبت به کشت خاکی توت‌فرنگی می‌گردد (Mattas et al., 1997). پوسته برنج علاوه بر داشتن خلل و فرج (۷۳ درصد)، ظرفیت نگهداری آب (۸۸ درصد) و پ‌هاش (۶/۲) مناسب، حاوی ۱۰/۳ درصد وزن تر، سیلیسیوم است و بکارگیری آن به عنوان منبع طبیعی و ارزان قیمت سیلیسیوم در بستر آب‌کشت فلفل منجر به بهبود رشد بوته، کیفیت میوه و مقاومت به بیماری می‌گردد (Jayawardana et al., 2016).

سیلیسیوم عنصری است که در همه جا حضور دارد و دومین عنصر فراوان بعد از اکسیژن در خاک است که تقریباً ۲۸ درصد از پوسته خارجی زمین را شامل می‌شود. با وجود این، بیشتر منابع سیلیسیوم در خاک به صورت آلومینوسیلیکات‌های متبلور است که نامحلول بوده و به طور مستقیم قابل استفاده برای گیاه نیست (Richmond and Sussman, 2003). شکل قابل دسترس سیلیسیوم برای گیاه، اسید مونوسیلیسیک (H_4SiO_4) است که در محلول خاک وجود دارد و ریشه‌های گیاه را با غلظت معمول ۰/۱ تا ۰/۶ میلی‌مولار تحت تأثیر قرار می‌دهد (Gunnarsson and Arnorsson, 2000). سیلیسیوم از جنبه‌های مختلف، اثری معنی‌دار بر زندگی گیاهان و عملکرد محصولات زراعی دارد. این موارد شامل ارتقای رشد، عملکرد و کیفیت، به دام انداختن نور بیشتر و تحریک فتوسنتز، مقاومت به سایه و تابش ناکافی خورشید، اثر بر خصوصیات سطح گیاه، مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی، افزایش بهره‌وری استفاده از آب، ارتقای قدرت اکسیدکنندگی ریشه و فعالیت‌های آن، اثر بر

پیش هضم انجام شود و سپس روی هیتز به طور تدریجی دمای آن افزایش یافت تا بخارات سفید رنگ از آن خارج گردد و یک ماده شفاف تولید گردد. بعد از سرد شدن، به ارلن مایر تا ۵۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه گردید. کاغذ صافی واتمن (filter paper whatman) ۴۱ را داخل قیف قرار داده و آن را با اسید کلریدریک ۱/۰۱ نرمال شستشو داده و با آب مقطر یکبار شستشو انجام شد. عصاره ها را داخل کاغذ صافی ریخته و بعد از صاف شدن، کاغذ صافی را در آون (شرکت فن آزماگستر ایران، مدل BM120) در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد خشک نموده و کاغذ صافی را داخل کروزه چینی قرار داده و با ترازوی حساس وزن کرده و داخل کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴ ساعت قرار داده شد تا خاکستر شود و بعد از سرد شدن داخل دسیکاتور با ترازوی حساس وزن کرده و درصد سیلیس نمونه محاسبه گردید (Chapman and Pratt, 1961).

تجزیه داده ها با استفاده از نرم افزار SAS (9.1) و مقایسه میانگین ها از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

همان طور که شکل (۱) نشان می دهد سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ توانست به طور معنی داری غلظت سیلیس برگ را تا ۱۳/۷ میلی گرم بر گرم وزن خشک افزایش دهد این درحالیست که غلظت کمتر سیلیکات پتاسیم و غلظت های مختلف سیلیکات سدیم تفاوت معنی داری با شاهد (۸/۷ میلی گرم بر گرم وزن خشک) نداشتند. نتایج به دست آمده در این پژوهش تنها در تیمار سیلیکات پتاسیم ۱۰۰، می تواند ناشی از افزایش سیلیسیوم گیاه باشد و در سایر تیمارها باید علل دیگری را برای تغییرات دیده شده در نظر گرفت. اما در خصوص گیاهان شاهد که تیمار سیلیسیومی نشده بودند نیز میزان قابل ملاحظه ای سیلیسیوم وجود داشت.

سطح شامل بستر دوگانه (کوکوپیت + پرلیت با نسبت مساوی ۱:۱) و بستر سه گانه (کوکوپیت + پرلیت + پوسته برنج با نسبت مساوی ۱:۱:۱) بود. فاکتور تغذیه سیلیسیومی نیز در پنج سطح شامل محلول پاشی آب (شاهد)، ۵۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیوم از منبع سیلیکات سدیم، ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیوم از منبع سیلیکات سدیم، ۵۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیوم از منبع سیلیکات پتاسیم، ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر سیلیسیوم از منبع سیلیکات پتاسیم بود (Kamenidou et al. 2010).

تغذیه با محلول غذایی تجاری تهیه شده در آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (جدول ۱) به صورت کود آبیاری دوبار در هفته و به میزان مساوی برای هر بوته (۲۰۰ میلی لیتر) با آغاز رشد بهاره شروع شد. آبیاری نیز متناسب با افزایش دمای هوا و رشد بوته ها صورت می گرفت که حداقل هفته ای یکبار انجام می شد.

در این آزمایش عملکرد و اجزای عملکرد شامل تعداد میوه های تولیدی هر بوته، وزن کل میوه های تولیدی هر بوته، متوسط وزن و اندازه میوه مورد ارزیابی قرار گرفت (Asadi Gharneh et al., 2014). رشد رویشی بوته شامل تعداد برگ، وزن تر بوته، وزن خشک بوته، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، قطر طوقه به همراه غلظت سیلیسیوم برگ پس از پایان باردهی اندازه گیری شد. به منظور تعیین وزن خشک، ابتدا گیاه تر وزن شده سپس در آونی با دمای ۷۲ درجه سانتی گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شده و سپس مجدداً توزین گردید (Ghasemi et al., 2018).

جهت اندازه گیری سیلیسیوم یک گرم از نمونه گیاهی خشک و پودر شده را در ارلن مایر ریخته و به آن ۱۰ میلی لیتر مخلوط (۷۵۰ میلی لیتر اسید نیتریک + ۳۰۰ میلی لیتر پرکلریک + ۱۵۰ میلی لیتر سولفوریک) اضافه شد و سپس زیر هود قرار گرفت تا حداقل به مدت ۲ ساعت

Table 1. Nutrition formula for strawberry soilless culture used in experiment (mg.l⁻¹)

Boric acid	Ammonium molybdate	Copper sulfate	Manganese sulfate	Zink sulfate	Iron chelate 9%	Magnesium sulfate	Mono potassium phosphate	Potassium nitrate	Calcium nitrate
2	0.1	0.3	6	1	40	400	80	450	500

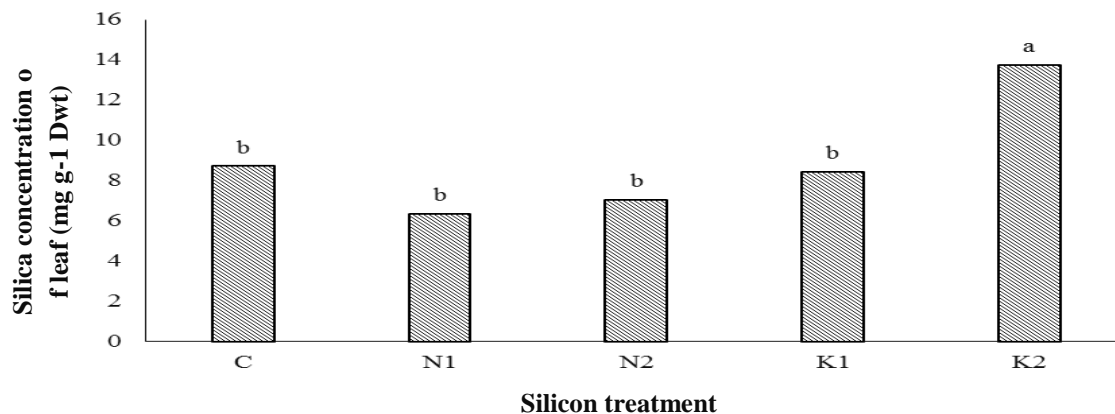


Figure 1. Effect of silicon treatment on silica concentration of leaf (C: Control, N1: Sodium Silicate 50 ppm, N2: Sodium Silicate 100 ppm, K1: Potassium Silicate 50 ppm, K2: Potassium Silicate 100 ppm)

مذکور بستر سه گانه (کوکوپیت، پرلیت و پوسته برنج) برتری معنی داری را نسبت به بستر دو گانه کوکوپیت و پرلیت نشان داد (شکل ۲ a و b).

کمترین وزن تر بخش هوایی مربوط به تیمار سیلیسیوم صفر در بستر دو گانه بود که اختلاف معنی داری با سیلیکات سدیم ۵۰، سیلیکات سدیم ۱۰۰ و سیلیکات پتاسیم ۵۰ در بستر دو گانه نداشت (جدول ۱). این بدان معناست که احتمالاً بستر کوکوپیت، پرلیت و پوسته برنج نسبت به بستر کوکوپیت و پرلیت از نظر وزن تر قسمت هوایی گیاه برتری دارد. همچنین سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ توانسته است نقیصه احتمالی موجود در بستر دو گانه را تا اندازه ای جبران نماید.

بکارگیری سیلیکات سدیم منجر به بیشترین افزایش وزن تر اندام هوایی بوته های توت فرنگی (۶۸/۹ گرم) گردید که اختلاف آن با سایر تیمارهای بستر سه گانه و همچنین سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ در بستر دو گانه معنی دار نبود (جدول ۱).

به نظر می رسد افزایش ظرفیت نگهداری آب گیاه موجب افزایش وزن تر قسمت هوایی در تیمار سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ در بستر دو گانه شده است چنانچه گزارش شده که سیلیسیوم نقش مثبتی را در افزایش ظرفیت نگهداری آب در گیاهان تنش دیده بازی می کند و احتمالاً

در پژوهشی بستر پرلیت و ورمیکلایت (۱:۱) در گیاهان شاهد توت فرنگی که محلول هو گلند دریافت کرده بودند حدود ۸ میلی گرم بر گرم وزن خشک، سیلیسیوم در برگ محاسبه گردید که مطابق با نتایج پژوهش ما می باشد (Fatemy et al., 2009). از آنجایی که سیلیسیوم عنصری است که در همه جا حضور دارد و دومین عنصر فراوان بعد از اکسیژن در خاک است که تقریباً ۲۸ درصد از پوسته خارجی زمین را شامل می شود (Richmond and Sussman, 2003)، لذا جذب آن در گیاهان شاهد از طریق بستر کاشت، آب آبیاری و حتی ناخالصی های موجود در کود صورت می گیرد. از دیگر سو به دلیل انتقال سیلیسیوم در آوند چوب، این عنصر شدیداً تحت تأثیر تعرق بوده و اندام هایی مانند برگ که تعرق بیشتری دارند میزان بیشتری از این عنصر را انباشت می کنند (Henriet et al., 2006).

نتایج و بحث

غلظت سیلیسیوم برگ

رشد رویشی

وزن اندام هوایی و تعداد برگ

اثر ساده بستر کاشت بر دو صفت رویشی شامل تعداد برگ بوته و وزن خشک قسمت هوایی بوته در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. در هر دو صفت

وزن تر و قطر طوقه

بررسی صفت وزن تر طوقه گیاه نشان داد که تیمار سیلیکات پتاسیم ۵۰ در بستر سه گانه بیشترین قطر طوقه را داشت ولی اختلاف آن با سیلیکات سدیم ۵۰ و ۱۰۰ در بستر سه گانه و سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ در بستر دو گانه معنی داری نبود (جدول ۲). نتایج بیانگر آن است که غلظت بالای سیلیکات پتاسیم در بستر سه گانه به طور معنی داری قطر طوقه کمتری نسبت به سیلیکات پتاسیم ۵۰ در همین بستر داشته است. این در حالی است که در بستر دو گانه سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ دارای قطر طوقه ای مناسب (بدون اختلاف معنی دار با حداکثر قطر طوقه) بوده است (شکل ۳). لذا در صورتی که قطر طوقه را ملاک رشد مطلوب بگیریم آنگاه سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ برای بستر دو گانه و سیلیکات پتاسیم ۵۰ برای بستر سه گانه ترجیح داده می شود.

بخشی از افزایش ظرفیت نگهداری آب توسط سیلیسیوم در شرایط تنش، به کاهش تعرق ناشی از رسوب سیلیس در سلول های اپیدرمی برگ ها و ساقه مرتبط است (Liang et al., 1999). در پژوهشی ضمن گزارش افزایش ارتفاع بوته توت فرنگی تیمار شده با سیلیکات سدیم، اعلام شد در این تیمار افزایش تجمع عناصر در برگ نیز رخ داده است (Park et al., 2018). در بستر سه گانه احتمالاً این افزایش رشد به ظرفیت بالای نگهداری آب بستر مربوط باشد و نه سیلیسیوم؛ زیرا در تمامی تیمارهای این بستر حتی سیلیسیوم صفر وزن تر اندام هوایی بالا بوده است. اثرات مثبت پوسته برنج علاوه بر داشتن سیلیسیوم می تواند مربوط به وزن کم، جذب سطحی و رهاسازی مواد غذایی، زهکشی و تهویه بیشتر بستر و تجزیه پذیری کمتر باشد (Jayawardana et al., 2016).

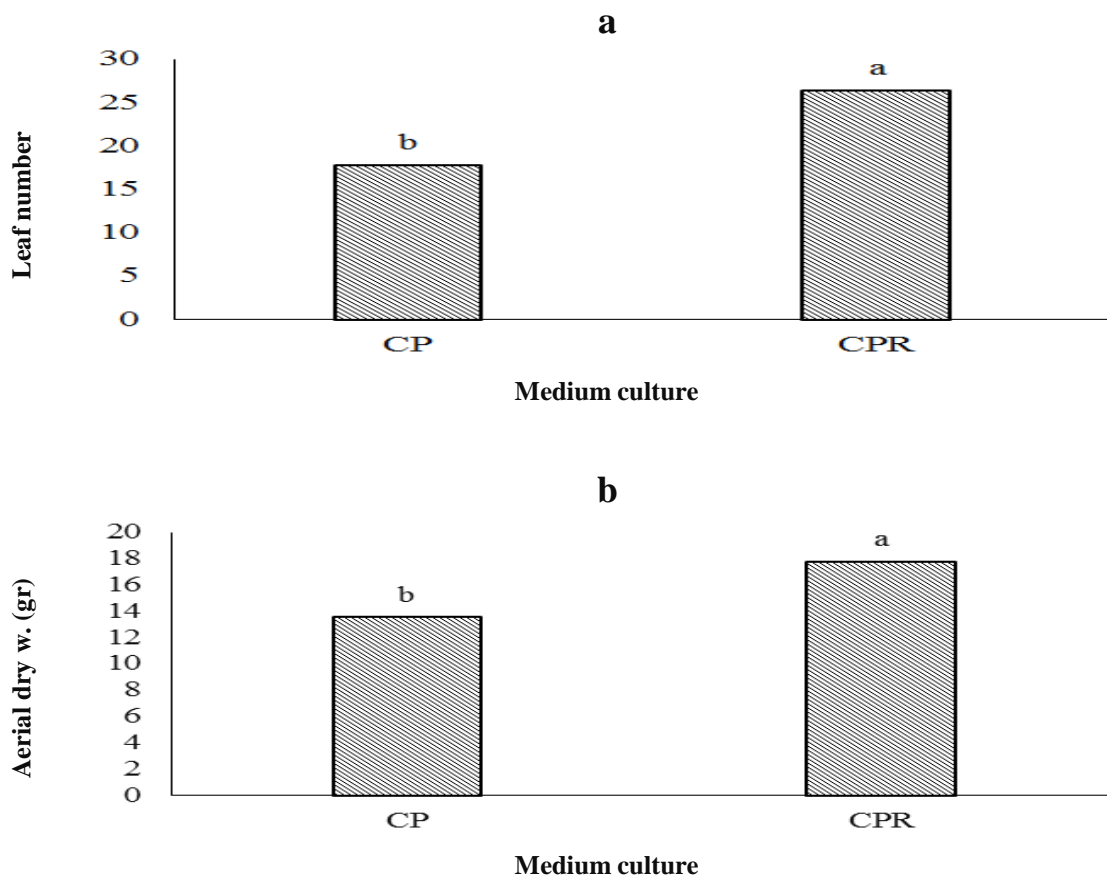


Figure 2. Effect of medium culture CPR (cocopeat, perlite, rice husk) and CP (cocopeat, perlite) on the a) leaf number and b) aerial dry matter of strawberry

Table 2. Interaction effect of medium and silicon spray on vegetative growth of strawberry

Medium	Silicon treatment (mg/L)	Fresh weight of aerial part*	Fresh weight of crown*	Dry weight of crown*	Fresh weight of root**	Dry weight of root**
Cocopeat + Perlite	Si (0)	47.90 ^c	22.77 ^{cb}	5.55 ^b	58.60 ^d	8.867 ^d
	Na ₂ SiO ₃ (50)	53.80 ^{bc}	20.93 ^{cb}	5.07 ^b	75.30 ^{cd}	12.20 ^{cd}
	Na ₂ SiO ₃ (100)	52.97 ^{bc}	19.83 ^{cb}	4.69 ^b	185.57 ^b	36.07 ^b
	K ₂ SiO ₃ (50)	46.07 ^c	22.23 ^{cb}	5.19 ^b	90.83 ^{cd}	14.07 ^{cd}
	K ₂ SiO ₃ (100)	66.20 ^{ab}	25.90 ^{ab}	5.75 ^{ab}	119.37 ^{cd}	21.83 ^c
Cocopeat + Perlite + rice husk	Si (0)	62.30 ^{ab}	21.67 ^{cb}	5.31 ^b	76.17 ^{cd}	13.23 ^{cd}
	Na ₂ SiO ₃ (50)	68.93 ^a	24.23 ^{abc}	4.52 ^b	108.50 ^{cd}	18.43 ^{cd}
	Na ₂ SiO ₃ (100)	63.57 ^{ab}	24.37 ^{abc}	5.83 ^{ab}	105.07 ^{cd}	16.60 ^{cd}
	K ₂ SiO ₃ (50)	63.53 ^{ab}	29.57 ^a	7.38 ^a	245.33 ^a	50.97 ^a
	K ₂ SiO ₃ (100)	56.60 ^{abc}	17.80 ^c	4.01 ^b	122.70 ^c	17.07 ^{cd}

Numbers followed by the same letter are not significantly different (P < 0.01).

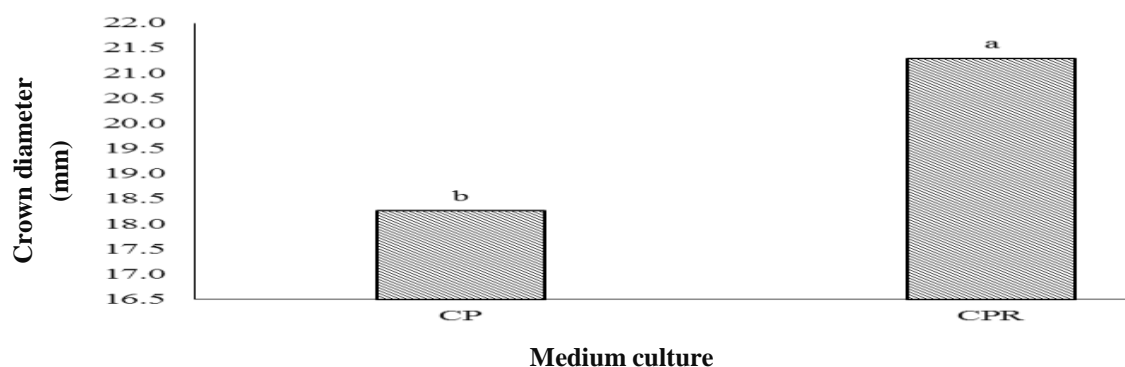


Figure 3. Effect of medium culture CPR (cocopeat, perlite, rice husk) and CP (cocopeat, perlite) on the crown diameter of strawberry

تأثیر مثبت داشته باشد. همچنین اعلام شده است که سیلیسیوم نه تنها بر تحریک رشد رویشی توت‌فرنگی تأثیر گزار است بلکه بر بیان پروتئین‌های مرتبط با فتوسنتز نیز مؤثر است. تأثیر منفی غلظت بالای سیلیکات پتاسیم در بستر سه گانه را می‌وان به وجود سیلیسیوم خیلی زیاد در بستر ناشی از پوسته برنج و قسمت هوایی ناشی از محلول‌پاشی تفسیر نمود. پژوهشگران ضمن بررسی پروفیل پروتئینی توت‌فرنگی‌های تیمار شده با انواع روش‌ها و منابع سیلیسیومی گزارش نمودند که اثر منفی سیلیسیوم بر صفات توت‌فرنگی را می‌توان به دلیل اثر منفی آن بر تجزیه پروتئین‌های دخیل در ساخت آنزیم‌ها دانست (Park et al., 2018).

وزن تر و خشک ریشه

از نظر دو صفت وزن تر و خشک ریشه تیمار سیلیکات پتاسیم ۵۰ در بستر سه گانه بیشترین مقدار را نشان داد و از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تمامی

از نظر وزن خشک طوقه نیز تیمار سیلیکات پتاسیم ۵۰ بیشترین مقدار را داشت که اختلافش با سیلیکات سدیم ۱۰۰ در همین بستر و سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ در بستر دو گانه معنی‌دار نبود. لذا نتایج وزن خشک طوقه هم‌راستای وزن تر طوقه بوده است (جدول ۲ و شکل ۳). اثر ساده بستر کاشت بر قطر طوقه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. در صفت مذکور بستر سه گانه کوکوپیت، پرلیت و پوسته برنج برتری معنی‌داری را نسبت به بستر دو گانه کوکوپیت و پرلیت نشان داد (شکل ۳). سیلیسیوم با اجزای دیواره نخستین سلولی مانند پکتین، همی سلولز و پلی‌فنل‌ها واکنش دارد. این پیوندهای متقابل به طور مشخصی خاصیت ارتجاعی دیواره سلولی را در زمان رشد سلول بالا می‌برد و از این طریق طویل شدن سلول‌ها به راحتی صورت می‌گیرد (Liang et al., 2015). لذا شاهد آن هستیم که سیلیسیوم در غلظت‌های بهینه می‌تواند در صفات مختلف رویشی از جمله رشد طوقه

سطح احتمال یک درصد، دارای تأثیر معنی دار بر طول و عرض میوه توت فرنگی بوده است (شکل های ۴a و ۴b).

عملکرد و وزن میوه

کمترین میزان عملکرد در تیمار سیلیکات سدیم ۵۰ در بستر سه گانه (کوکوپیت + پرلیت + پوسته برنج) دیده شد که اختلاف این تیمار با سایر تیمارها معنی دار نبود بجز سه تیمار سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ در بستر دو گانه (کوکوپیت + پرلیت)، سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ در بستر سه گانه و سیلیسیوم صفر در بستر سه گانه که به طور معنی داری عملکرد بیشتری را نشان دادند (جدول ۳). به نظر می رسد که سمیت یونی ناشی از سدیم در ترکیب سیلیکات سدیم، پایین بودن میزان مصرفی در سیلیکات پتاسیم ۵۰ و عدم وجود پوسته برنج در بستر از دلایل اصلی عدم افزایش عملکرد در این تیمارها باشد. لذا غلظت عناصر موجود در کود و همچنین عوامل ثانویه مثل خصوصیات فیزیکی بستر در اثرگذاری بر عملکرد نقش جدی دارد.

تیمارهای دیگر این آزمایش داشت. در این تیمار سه عامل پوسته برنج در بستر، تغذیه سیلیسیوم و پتاسیم در مجموع موجب رشد بیشتر ریشه گردید. بنابراین می توان گفت که سیلیسیوم می تواند روی رشد ریشه و در نتیجه تنظیم روابط آبی اثر بگذارد. نتایج یک پژوهش نشان داد که تیمار سیلیسیوم رشد ریشه را در شرایط خشکی افزایش می دهد؛ به طوری که طول ریشه کل، سطح ریشه، حجم ریشه و فعالیت ریشه همگی در گیاهان مورد آزمایش افزایش یافته است (Chen et al., 2011).

رشد زایشی

اثر متقابل بستر و تیمار سیلیسیوم بر سه صفت عملکرد، وزن میوه و درصد ماده خشک میوه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد. این در حالیست که تعداد میوه در بوته و طول میوه تحت تأثیر اثر ساده محلول پاشی سیلیسیوم قرار گرفت (به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد). همچنین بستر کاشت در

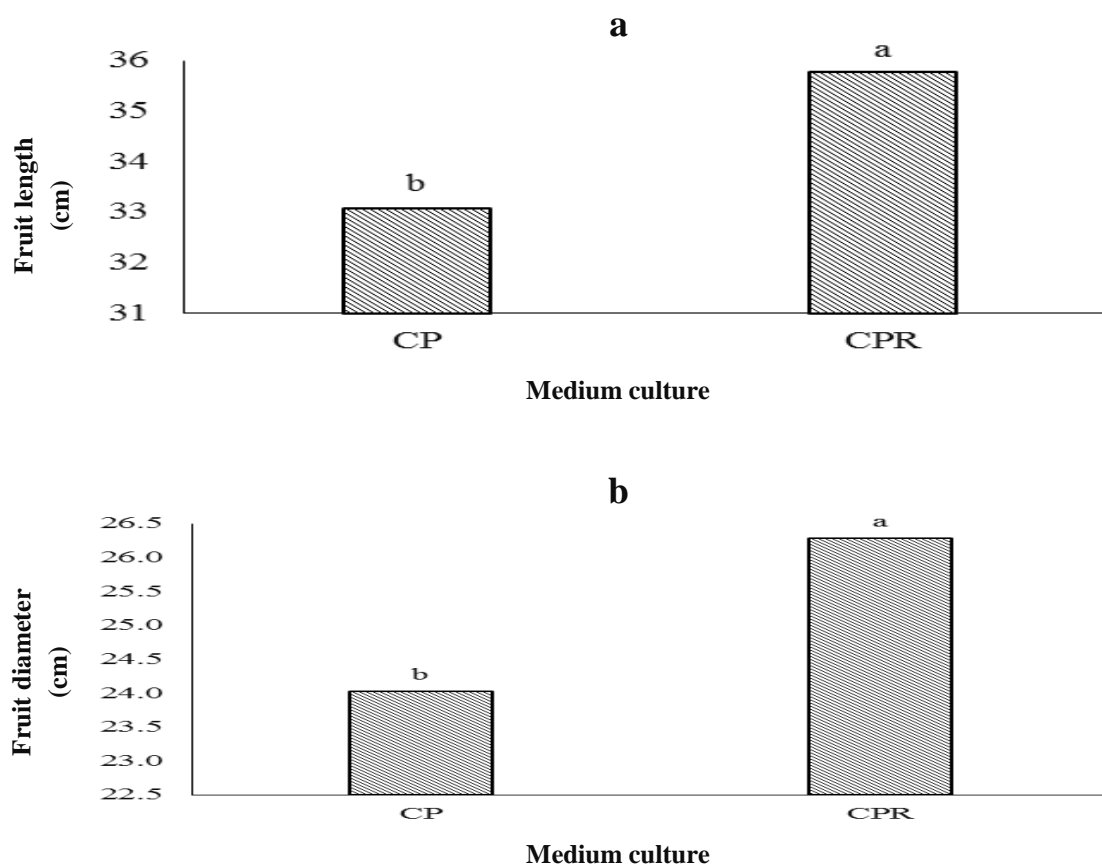


Figure 4. Effect of medium culture CPR (cocopeat, perlite, rice husk) and CP (cocopeat, perlite) on the a) length and b) width of strawberry fruit

Table 3. Interaction effect of medium and silicon spray on yield and yield components of strawberry

Medium	Silicon treatment (gr/L)	Yield per plant(g)*	Fruit weight (g)*	Fruit dry matter %*
Cocopeat + Perlite	Si (0)	41.267 ^{cb}	6.83 ^c	5.80 ^b
	Na ₂ SiO ₃ (50)	47.09 ^{abc}	9.19 ^{cb}	5.61 ^b
	Na ₂ SiO ₃ (100)	50.45 ^{abc}	13.53 ^a	6.07 ^b
	K ₂ SiO ₃ (50)	51.19 ^{abc}	8.46 ^c	9.18 ^a
	K ₂ SiO ₃ (100)	52.44 ^{ab}	8.79 ^c	5.75 ^b
Cocopeat + Perlite + rice husk	Si (0)	58.03 ^a	9.29 ^{cb}	5.19 ^b
	Na ₂ SiO ₃ (50)	42.71 ^{abc}	8.32 ^c	6.37 ^b
	Na ₂ SiO ₃ (100)	36.19 ^c	8.67 ^c	5.30 ^b
	K ₂ SiO ₃ (50)	43.67 ^{abc}	9.07 ^{cb}	5.24 ^b
	K ₂ SiO ₃ (100)	55.92 ^{ab}	13.01 ^{ab}	5.98 ^b

Numbers followed by the same letter are not significantly different (P < 0.01).

سیلیسیوم زیاد گردیده و نقش اسمزی این عنصر و جذب آب بر نقش انتقال کربوهیدراتی غالب گردیده باشد. همچنین در بستر سه گانه که پوسته برنج وجود داشت نقش اسمزی در این خصوص به حاشیه رفت که بیانگر اهمیت بستر کاشت در میزان اثر گذاری محلول پاشی می باشد.

گزارش شده است که تیمار گیاه توت فرنگی با سیلیکات کلسیم موجب افزایش محتوای قند میوه می گردد. به نظر می رسد که سیلیسیوم با افزایش سبزینه برگ، افزایش سوخت و ساز و افزایش نفوذ پذیری غشاء میزان فتوسنتز را افزایش داده و همچنین در تنظیم انتقال قند از محل تولید و یا برگ به محل مصرف مؤثر باشد (Mahmoudi et al., 2018).

اندازه و تعداد میوه

اثر ساده بستر کاشت بر اندازه طولی و قطری میوه بیانگر آن است که طول و قطر میوه توت فرنگی در بستر سه گانه حاوی کوکوپیت، پرلیت و پوسته برنج بیشتر از بستر دو گانه کوکوپیت و پرلیت بوده است (شکل های ۴a و ۴b). از آنجایی که تعداد برگ، وزن خشک قسمت هوایی و قطر طوقه نیز به طور معنی داری در بستر سه گانه بیشتر بودند لذا می توان اندازه درشت تر میوه را متناسب با افزایش رشد رویشی و در نتیجه تولید کربوهیدرات های بیشتر برای فاز زایشی تفسیر نمود. زیرا تولید کربوهیدرات بیشتر توسط گیاه ارتباط مستقیم با عملکرد توت فرنگی دارد (Cocco et al., 2016).

از نظر وزن تک میوه سیلیکات سدیم ۱۰۰ در بستر دو گانه بیشترین وزن تک میوه را داشت که اختلاف آن با سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ در بستر سه گانه معنی دار نبوده است (جدول ۳). به نظر می رسد که سدیم از طریق نقش اسمزی که دارد موجب افزایش آبیگری میوه شده و در نتیجه میوه هایی با وزن بیشتر تولید کرده است. با در نظر گرفتن همزمان عملکرد و وزن میوه می توان گفت که در مجموع سیلیکات پتاسیم در بستر سه گانه اثر گذاری بیشتری داشته است. به نظر می رسد سیلیسیوم از طریق افزایش فتوسنتز و همچنین تنظیم روابط منبع و مخزن موجب افزایش عملکرد شود (Mahmoudi et al., 2018). از دیگر سو پتاسیم موجود در سیلیکات پتاسیم برای رشد زایشی به شدت مهم است زیرا پتاسیم در بارگیری و انتقال کربوهیدرات ها در آوند آبکش نقش اساسی دارد به همین علت می تواند در افزایش رشد میوه و عملکرد تأثیر گذار باشد (Zorba et al., 2014).

درصد ماده خشک میوه

از نظر درصد ماده خشک تنها سیلیکات پتاسیم ۵۰ در بستر دو گانه از نظر آماری بیشترین مقدار را نسبت به بقیه تیمارها داشت و سایر تیمارها اختلاف معنی داری با هم نداشتند (جدول ۲). ماده خشک می تواند نشان دهنده ورود کربوهیدرات های بیشتر به میوه باشد. در این صورت به نظر می رسد که سیلیکات پتاسیم ۵۰ موجب انتقال کربوهیدرات بیشتر به میوه شده باشد. این در حالیست که سیلیکات پتاسیم در غلظت بالا (سیلیکات پتاسیم ۱۰۰) موجب تأمین

به طور معنی داری غلظت سیلیس برگ را بالا ببرد لذا احتمالاً به دلیل تنشی که سیلیسیوم زیاد بر بوته توت‌فرنگی دارد تعداد میوه کم شده است این در حالیست که کاهش تعداد میوه در تیمار سیلیکات سدیم ۱۰۰ می تواند ناشی از تنش عنصر سدیم تلقی گردد. سمیت متابولیکی سدیم عمدتاً در اثر رقابت آن با پتاسیم در فرآیندهای ضروری سلولی است زیرا حدود ۶۰ آنزیم مختلف توسط پتاسیم فعال می شود که سدیم نمی تواند جایگزین آن شود. همچنین پتاسیم برای اتصال tRNA به ریبوزوم ضروری است لذا تجمع یون سدیم سنتز پروتئین ها را مختل می سازد (Subbarao et al., 2003).

اثر ساده محلول پاشی سیلیسیوم بر صفت اندازه طولی میوه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد. در این رابطه سیلیکات پتاسیم ۵۰ برتری معنی داری داشت؛ هر چند اختلاف با سیلیکات سدیم ۱۰۰ معنی دار نبوده است (شکل ۵a). احتمالاً نقش اسمزی قوی سدیم و پتاسیم در جذب آب و رشد طولی میوه اهمیت زیادی در ایجاد این نتیجه داشته باشد.

تعداد میوه در بوته در دو تیمار سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ و سیلیکات سدیم ۱۰۰ کمتر از تیمارهای سیلیسیومی دیگر بوده است (شکل ۵b) همان طور که شکل (۱) نشان می دهد تنها سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ توانسته است

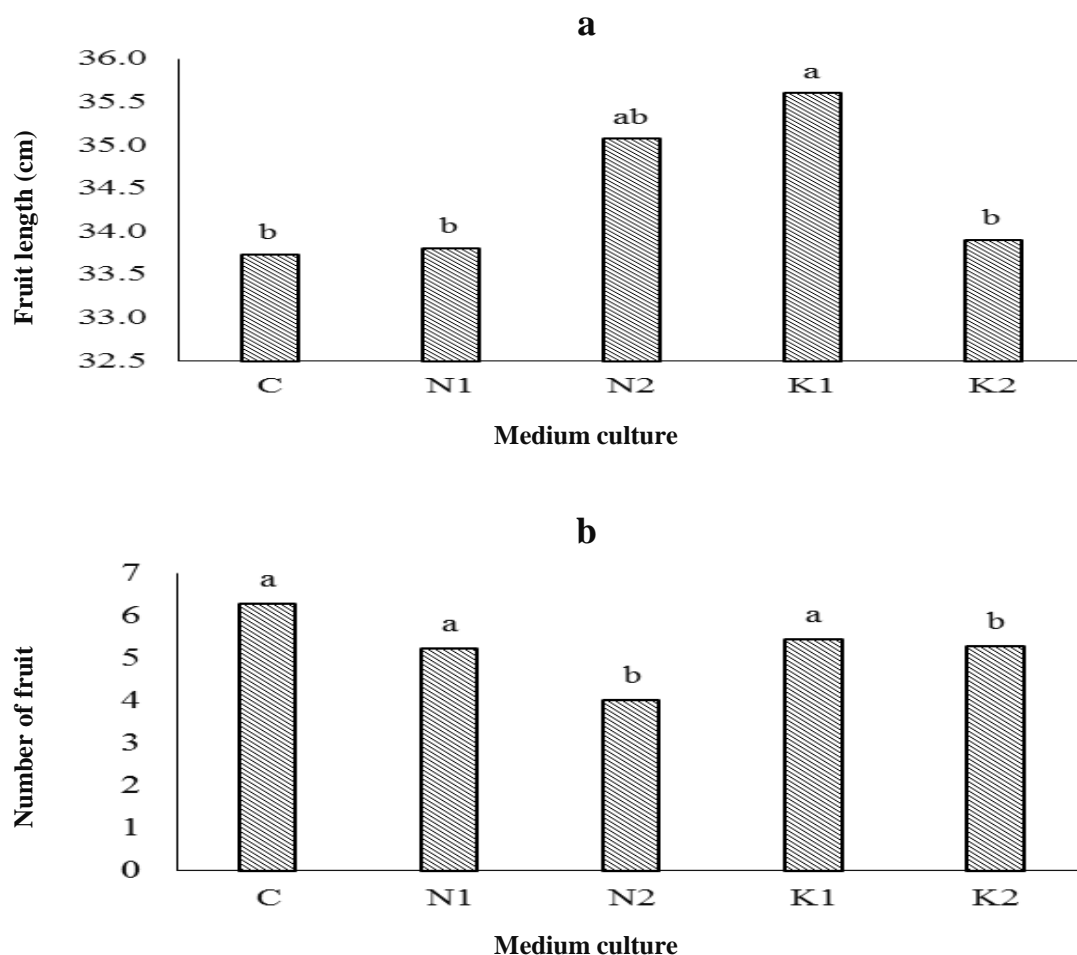


Figure 5. Effect of silicon treatment on a) number and b) length of the strawberry fruit (C: Control, N1: Sodium Silicate 50 ppm, N2: Sodium Silicate 100 ppm, K1: Potassium Silicate 50 ppm, K2: Potassium Silicate 100 ppm)

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش را می توان این گونه خلاصه نمود که اگر هدف تولید با عملکرد بالا و وزن تک میوه زیاد مدنظر باشد استفاده از سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ در بستر دو گانه مناسب است ولی باید توجه داشت که تیمار مذکور می تواند از تعداد میوه در هر بوته بکاهد. در صورتی که هدف رشد رویشی قوی باشد (مثلاً برای تولید گیاهان نشایی) سیلیکات پتاسیم ۵۰ در بستر سه گانه می تواند قطر طوقه مناسب و ریشه های قوی در بوته را موجب گردد. همچنین نتایج حاصله نشان داد که بستر سه گانه می تواند رشد رویشی مناسبی را برای گیاه توت فرنگی به وجود آورد ولی این رشد رویشی حاصل آزادسازی احتمالی سیلیسیوم از پوسته برنج به عنوان یک منبع آلی سیلیسیومی

نیست بلکه احتمالاً خواص فیزیکی و شیمیایی بستر کاشت را بهبود می بخشد. همچنین در بین تیمارهای مختلف محلول پاشی سیلیسیوم تنها سیلیکات پتاسیم ۱۰۰ توانست به غلظت سیلیس برگک بیافزاید لذا اثرات دیده شده در سایر تیمارها به اثر مستقیم سیلیسیوم مربوط نبوده و ممکن است ناشی از تأثیر غیرمستقیم سیلیسیوم باشد.

سپاس گزاری

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در قالب طرح پژوهشی به شماره کد ۰۱-۱۳۹۶-۰۲ انجام شده است لذا لازم می دانیم بدین وسیله از این معاونت و از همراهی پژوهشکده زیست فناوری طبرستان تشکر به عمل آوریم.

References

- Asadi Gharneh, H. A., Arzani, K., Shojaeiyan, A., Golparvar, A. R. and Sabaghnia, N. (2014). Evaluation of genetic diversity in some strawberry (*Fragaria × annanasa* Duch.) cultivars in Iran using morphological characteristics. *Plant Productions*, 37(4), 93-106.
- Chapman, H. D. and Pratt, P. F. (1961). *Methods of analysis for soils, plants and water*. Berkeley, CA, USA: University of California.
- Chen, W., Yao, X. Q., Cai, K. Z. and Chen, J. (2011). Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological Trace Element Research*, 142(1), 67-76.
- Cocco, C., Goncalves, M. A., Reisser J., Carlos, M., Anderson C. and Antunes, L. E. C. (2016). Carbohydrate content and development of strawberry transplants from Rio Grande do sul and imported. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38(4), 1-8.
- Fatemy, L. S., Tabatabaei, S. J. and Fallahi, E. (2009). The effect of silicon on the growth and yield of strawberry grown under saline conditions. *Journal of Horticultural Sciences*, 23(1), 88-95.
- Ghasemi, K., Emadi, S. M. and Ghasemi, Y. (2018). Effect of Different Culture Media on Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) Yield Components and Mineral Elements Concentration in Soilless Culture. *Journal of Horticultural Science*, 31(4), 694-704.
- Gunnarsson, I. and Arnorsson, S. (2000). Amorphous silica solubility and the thermodynamic properties of degrees in the range of 0 degrees to 350 degrees C at P-sat. *Geochim Cosmochim Acta*, 64(13), 2295-2307.
- Hadadinejad, M., Ghasemi, K. and Mohammadi, A. A. (2017). Evaluation of storage temperature and container material effects on summer wild blackberry postharvest. *Plant Productions*, 40(2), 99-112.
- Henriet, C., Draye, X., Oppitz, I., Swennen, R. and Delvaux, B. (2006). Effects, distribution and

- uptake of silicon in banana (*Musa spp.*) under controlled condition. *Plant and Soil*, 287(1), 359-374.
- Jayawardana, R. K., Weerahewa, D. and Saparamadu, J. (2016). The effect of rice hull as a silicon source on anthracnose disease resistance and some growth and fruit parameters of capsicum grown in simplified hydroponics. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5(1), 9-15.
- Kamenidou, S., Cavins, T. J. and Marek, S. (2010). Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. *Scientia Horticulturae*, 123(3), 390-394.
- Liang, Y. C., Ding, R. X. and Liu, Q. (1999). Effects of silicon on salt tolerance of barley and its mechanism. *Agricultural Sciences in China*, 32(6), 75-83.
- Liang, Y., Nikolic, M., Belanger, R., Gong, H. and Song, A. (2015). *Silicon in agriculture from theory to practice*. Dordrecht: Springer.
- Mahmoudi Soureh, N., Farokhzad, A. and Hassanpour, H. (2018). Effect of foliar application with calcium silicate on calcium amount, total antioxidant content and some qualitative and quantitative characteristics of two strawberry cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 48(3), 585-599. [In Farsi]
- Mali, M. and Airy, N. C. (2008). Silicon effects on nodule growth, dry-matter production, and mineral nutrition of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(6), 835-840.
- Mattas, K., Benets, M., Paroussi, G. and Tzouramani, I. (1997). Assessing the economic efficiency of a soilless culture system for off season strawberry production. *Hortscience*, 32(6), 1126-1129.
- Mollaei, H. (2018). *Interview with mazandran newspaper*. Retrieved from <https://www.yjc.ir/fa/news/7215728>.
- Nelwamondo, A. and Dakora, F. D. (1999). Silicon promotes nodule formation and nodule function in symbiotic cowpea (*Vigna unguiculata*). *New Phytologist Trust*, 142(3), 463-467.
- Nelwamondo, A., Jaffer, M. A. and Dakora, F. D. (2001). Subcellular organization of N₂-fixing nodules of cowpea (*Vigna unguiculata*) supplied with silicon. *Protoplasma*, 216(1), 94-100.
- Park, Y. G., Muneer, S., Kim, S., Hwang, S. J. and Jeong, B. R. (2018). Silicon application during vegetative propagation affects photosynthetic protein expression in strawberry. *Journal of Horticulture, Environment and Biotechnology*, 59(2), 167-177.
- Richmond, K. E. and Sussman M. (2003). Silicon, the non-essential beneficial plant nutrient. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(3), 268-272.
- Shadmehri, F., Chalavi, V. and Sadeghi, H. (2017). *Effect of planting time on yield and fruit quality of three strawberry (Fragaria × ananassa Duch.) cultivars*. MSc Thesis of Horticulture, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari. [In Farsi]
- Song, Z., Liu, H., Si, Y. and Yin, Y. (2012). The production of phytoliths in China's grasslands: Implications to the biogeochemical sequestration of atmospheric CO₂. *Global Change Biology*, 18(12), 3647-3653.
- Subbarao, G. V., Ito, O., Berry, W. L. and Wheeler, R. M. (2003). Sodium a functional plant nutrient. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(5), 391-416.
- Wang, S. Y. and Galletta, G. J. (1998). Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes

in strawberry plants. *Journal of Plant Nutrition*, 21(1), 157-167.

Zorba, C., Senbayram, M. and Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture - Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), 656-669.