Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2018.262582.667976

تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۳، مرداد ۱۳۹۸ (ص ۷۱۲-۷۰۱)

Study of Nnutritional Responses of Different Wheat Cultivars to Silicon in a Calcareous Soil

SOMAYEH SABERIYAN-Ranjbar[1,*] BABAK MOTESHAREZADEH[2*], FARHAD MOSHIRI[3], HOSSEIN MIR SEYED HOSSEINI[4] AND HOSSEIN ALI ALIKHANI[5]

1. Ph. D. Student, Soil Science Department, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Associate Professor, Soil Science Department, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
3. Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran
4. Associate Professor, Soil Science Department, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
5. Professor, Soil Science Department, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: July. 23, 2018- Revised: July. 30, 2018- Accepted: Aug. 4, 2018)

ABSTRACT

Due to growing population and the major role of wheat in producing energy and protein for population, there is a need for new approach in farm management. This approach can help agricultural producers to identify changes in the farm and manage them in order to increase crop yield and productivity. The purpose of this study was to investigate the effect of different levels and sources of silicon application on the dry-matter production, concentration and nutrients uptake by seven wheat cultivars in the greenhouse research station of the Soil Sciences Department of the University of Tehran. This study was conducted in a completely randomized design with a factorial arrangement with two factors including silicon at six levels (control, potassium silicate with application levels of 200, 400 and 1000 Mg of silicon from the potassium silicate source per kilogram of soil, and silicon nanoparticles with application levels of 50 and 100 mg kg^{-1} soil) and wheat cultivars (Gonbad, Shirodi, Shiraz, Mahdavi, Marvdasht, Bahar and Parsi) with three replications. The results showed that the application of silicon in various levels and sources, wheat cultivars and their interaction on potassium concentration in shoot and the total amount of phosphorus and potassium in the shoot were significant ($p \leq 0.01$). Also, the concentration of silicon and potassium in the shoot of different wheat varieties were the highest in the case of application of silicon nanoparticles at different levels of potassium-silicate which ranged from 0.14-0.32 and 0.16-0.76%, respectively. The average total amounts of silicon, phosphorus and potassium uptake by the shoot also increased by increasing silica-potassium application which ranged from 0.12-5.08, 0.43-1.16 and 8.7-14.2 %, respectively. Therefore, considering the role of silicon in the nutrients uptake, its use, along with the planting of higher-uptake cultivars, could help to improve wheat growth.

Keywords: Wheat, Potassium Silicate, Silicon Nanoparticles, Phosphorus, Potassium.

*Corresponding Author's Email: moteshare@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی پاسخ های تغذیه ای ارقام مختلف گندم به سیلیسیم در یک خاک آهکی

سمیه صابریان رنجبر[۱]، بابک متشرع زاده[۲*]، فرهاد مشیری[۳]، حسین میرسیدحسینی[۴]، حسینعلی علیخانی[۵]

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳. استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران

۴. دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۵. استاد، گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۱- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۵/۸- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۵/۱۳)

چکیده

با توجه به روند رو به رشد جمعیت کشور و نقش عمده گندم در تأمین انرژی و پروتئین آحاد جامعه، ضرورت نگرش جدید در مدیریت مزرعه به وجود می‌آید که به وسیله آن تولیدکنندگان کشاورزی بتوانند تغییرات داخل مزرعه را شناسایی نموده و با مدیریت این تغییرات در جهت افزایش محصولات زراعی و افزایش بهره وری گام بردارند. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر سطوح و منابع مختلف کاربرد سیلیسیم بر ماده‌خشک تولیدی، غلظت و جذب عناصر غذایی هفت رقم گندم در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران اجراء گردید. این پژوهش در قالب طرح کاملا تصادفی و به صورت فاکتوریل، با دو فاکتور شامل سیلیسیم در شش سطح (شاهد، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم از منبع سیلیکات پتاسیم بر کیلوگرم خاک و نانوذره سیلیسیم در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و ارقام گندم (گنبد، شیرودی، شیراز، مهدوی، مرودشت، بهار و پارسی) در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که کاربرد سیلیسیم در سطوح و منابع مختلف، رقم گندم و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه، غلظت سیلیسیم و پتاسیم در اندام‌هوایی و جذب کل سیلیسیم، فسفر و پتاسیم در اندام هوایی معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. غلظت سیلیسیم و پتاسیم در اندام هوایی در ارقام گندم در سطوح مختلف سیلیسیم در زمان کاربرد نانوذرات سیلیسیم به ترتیب در دامنه‌ای از ۰/۱۴-۰/۳۲ و ۰/۱۶-۰/۷۶ درصد نسبت به سطوح مختلف سیلیکات‌پتاسیم در بالاترین مقدار قرار داشت. میانگین جذب کل سیلیسیم، فسفر و پتاسیم به ترتیب در دامنه‌هایی از ۰/۱۲-۵/۰۸، ۰/۴۳-۱/۱۶ و ۸/۷-۱۴/۲میلی گرم در گلدان در اندام‌هوایی با افزایش سطح کاربرد سیلیکات‌پتاسیم، افزایش یافت. بنابراین با توجه به نقش سیلیسیم در جذب عناصرغذایی، استفاده از آن به همراه کاشت ارقام با توان جذب بالاتر می‌تواند به بهبود رشد گندم کمک کند.

واژه‌های کلیدی: گندم، سیلیکات پتاسیم، نانوذره سیلیسیم ، فسفر، پتاسیم

مقدمه

بر اساس اصلاحیه تعریف عناصر ضروری توسط پژوهشگران (Epstein and Bloon, 2005)، سیلیسیم به‌عنوان عنصر شبه عنصری ضروری برای گیاهان عالی در نظر گرفته شده است. صرف‌نظر از ضرورت سیلیسیم، نقش آن در کاهش تنش‌های زیستی و غیرزیستی و همچنین تعدیل عناصرغذایی در گیاهان در سال‌های اخیر بشدت مورد توجه قرار گرفته است (Kim *et al*., 2011; Van Bockhaven *et al*., 2013). بخش عمده سیلیسیم در خاک شامل سیلیسیم موجود در فاز جامد است که در ساختمان کانی‌های رسی و سیلیکات‌های بی‌شکل یافت می‌شود و مهم‌ترین منبع اولیه تأمین سیلیسیم مورد نیاز گیاه می‌باشد. اما فوری‌ترین منبع تأمین سیلیسیم محلول، سیلیسیم جذب شده سطحی است که از طریق تبادل لیگاندی یا نفوذ آنیونی نگهداری می‌شود و نهایتاً تأمین‌کننده سیلیسیم موجود در محلول خاک است که به شکل اسیدمونوسیلیسیک یا آنیون اسید جذب گیاه می‌گردد (Ranganathan *et al*., 2006). غلظت سیلیسیم در محلول خاک ۰/۱ تا ۰/۶ میلی‌مولار است و تغییرات اندکی در کل محدوده مقادیرpH فیزیولوژیکی دارد (Ma *et al*., 2006). پس از جذب سیلیسیم، انتقال این عنصر در گیاه از طریق آوند چوبی و به‌وسیله جریان تعرق از ریشه به شاخساره انجام می‌شود (Ma and Yamaji, 2008). سیلیسیم در

* نویسنده مسئول: moteshare@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

درون گیاه یک عنصر غیر متحرک است و درنهایت به‌صورت سیلیکات‌های بی‌شکل (اوپال، ژل سیلیکا یا فیتولیت‌ها) در گیاهان عالی در تمام قسمت‌های گیاه مانند دیواره سلولی، فضاهای بین‌سلولی، ریشه‌ها، برگ‌ها و اندام‌های تولیدمثلی رسوب می‌کند و برای گیاه غیرقابل استفاده می‌شود و تنها نقش استحکام و پایداری را خواهد داشت (Mazumdar, 2011; Cooke and Leishman, 2011).

بر اساس فرایند جذب و انتقال سیلیسیم که به‌صورت فعال، غیرفعال و جذب انتخابی می‌باشد گیاهان به انباشت‌گر زیاد، متوسط یا غیر انباشت‌گر سیلیسیم دسته‌بندی می‌شوند (Mitani and Ma, 2005). با توجه به جذب فعال سیلیسیم توسط گندم، این گیاه می‌تواند مقادیر زیادی از سیلیسیم را در خود انباشته کند و از آنجا که سیلیسیم تنها عنصری است که در غلظت‌های بسیار بالا نیز برای گیاهان سمی نیست (Ma *et al*.,2001)، کاربرد مقادیر بیشتر سیلیسیم متضمن رشد بهتر آن می‌باشد (Epstein, 1999). چگونگی وضعیت عناصر غذایی خاک در بررسی راهبردهای مؤثر بر توسعه و بهبود حاصلخیزی خاک و تعیین اثر آن‌ها در محیط‌زیست ضروری می‌باشد. ریشه‌ها اندام مهمی در جذب آب و عناصرغذایی می‌باشند و زیست‌توده آن‌ها حاصل بسیاری از عوامل اکولوژیکی و کشاورزی و بازتابی از حاصلخیزی خاک زیرین آن‌ها می‌باشد (Gao et al., 2004). افزایش رشد و توسعه حجمی و وزنی ریشه‌ها با تغذیه بهینه سیلیسیم می‌تواند منجر به افزایش سطح کل جذب‌کننده عناصر شود. سیلیسیم احتمالاً به دلیل افزایش توسعه‌پذیری دیواره-سلولی باعث افزایش کشیدگی سلول نیز می‌شود (Sun et al., 2005). سیلیسیم با کاهش میزان تعرق می‌تواند انتقال عناصر غذایی را در داخل گیاه همانند شرایط کفایت آب حفظ نماید (Pati *et al*., 2016). طی تحقیقی افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در صورت کاربرد کودهای NPK همراه با سیلیسیم گزارش شد (Chanchareon -sook *et al*., 2002)، همچنین افزایش جذب این عناصر با اضافه کردن سیلیسیم به محلول غذایی در تحقیقات دیگری نیز بیان شده است (Wang *et al*., 2001). افزایش جذب پتاسیم توسط برنج نیز در شرایط کاربرد سیلیسیم گزارش شد (Singh et al., 2005). مطالعات زیادی جذب سیلیکات را در ترکیب با فسفر یا بدون فسفر در خاک بررسی کردند. نتایج مشخص کردند که بهترین پاسخ گیاه به تغذیه فسفر در خاک‌هایی دیده شد که کود سیلیسیم دریافت کرده بودند که می‌تواند منجر به افزایش رشد ریشه و افزایش فراهمی فسفر خاک با کاربرد سیلیسیم، کاهش ظرفیت نگهداشت فسفر خاک و افزایش حلالیت فسفر و نهایتاً افزایش بهره‌وری کودهای فسفره شود (Subramanian and Gopalswamy, 1990). با توجه به کاهش سطوح سیلیسیم قابل‌دسترس گیاه طی کشت‌های مکرر، کاربرد کود سیلیسیم تکمیلی برای حداکثر تولید نیاز است (Datnoff *et al*., 2001). پیشرفت گسترده فناوری نانو در علوم مختلف و به تبع آن در مباحث تغذیه گیاه و افزودن نانوذرات به محلول‌غذایی گیاهان به‌عنوان کود، به دلیل داشتن اثرهای بی‌نظیر آن‌ها مانند نفوذ سریع‌تر و راحت‌تر به درون غشای سلولی، توجه زیادی را در بین تولیدکنندگان به خود جلب کرده است. برخی محققان بر این باورند که علاوه بر اسید سیلیسیک، مولکول اکسید سیلیسیم در خاک می‌تواند به طور مستقیم توسط گیاهان جذب شود (Fu et al., 2002). تحقیقات بسیاری نیز اثر نانوذره سیلیسیم را بر جوانه‌زنی بذر و عملکرد گیاه که احتمالا به‌علت نفوذ سریع‌تر و راحت‌تر نانوذره سیلیسیم به بافت گیاه و اثرهای مورفولوژیک آن می‌باشد، نشان داده است (Moussa, 2006). همچنین گزارش‌هایی مبنی بر کارایی غلظت‌های کم نانوسیلیسیم همانند غلظت زیاد سیلیکات پتاسیم وجود دارد (Jiang et al., 2004). با درنظر داشتن امکان تأمین سیلیسیم برای گیاه از ترکیبات مختلف طبیعی و سنتزی، کاربرد سیلیکات پتاسیم بواسطه محلول بودن در آب (Barker and Pilbeam, 2006) می‌تواند در مقایسه با استفاده از نانوذره سیلیسیم با توجه به افزایش نسبت سطح خارجی به حجم ذرات نانو و اثر بر افزایش واکنش‌پذیری این ترکیبات در این پژوهش مورد بررسی قرار گیرد.

گندم اهمیت بسیار زیادی در تأمین امنیت غذایی کشور ایران دارد و با اختصاص بیش از ۷۰ درصد از سطح زیر کشت غلات به خود، رتبه اول را در بین غلات مورد کشت در ایران دارا است (Ghaffarpour, 1995). همچنین طبق آمار فائو (۲۰۱۲)، ایران دوازدهمین کشور تولیدکننده گندم است. با توجه به روند رو به رشد جمعیت کشور و نقش عمده گندم در تأمین انرژی و پروتئین، جمعیتی که در آینده به جمعیت فعلی کشور اضافه خواهد شد، برنامه‌ریزی همه جانبه به منظور ارتقای کمی و کیفی تولید گندم ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است و توجه به جزئی-ترین مسائل در رابطه با گندم به‌عنوان یک محصول راهبردی مؤثر در تأمین امنیت غذایی کشور ایران، اهمیت بسیار زیادی در حفظ استقلال کشور دارد. از آنجا که تاکنون مطالعات مستندی مبنی بر اثر سیلیسیم بر جذب سایر عناصرغذایی توسط گندم صورت نگرفته است، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی کاربرد منابع و سطوح مختلف تأمین‌کننده سیلیسیم (سیلیکات پتاسیم، نانوذره سیلیسیم) بر پاسخ‌های تغذیه‌ای گندم طراحی و اجرا شد.

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و در سه تکرار به‌منظور بررسی اثر سطوح و منابع مختلف سیلیسیم بر غلظت و جذب عناصرغذایی هفت رقم گندم در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران اجرا گردید. تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل هفت رقم گندم (گنبد، شیرودی، شیراز، مهدوی، مرودشت، بهار و پارسی) و شش سطح سیلیسیم (شاهد، سیلیکات‌پتاسیم با سطح کاربرد ۲۰۰، ۴۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و نانوسیلیسم با سطح کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بود (Malmir et al., 2017). برای اطمینان از اندازه ذرات و همچنین خلوص نانوذرات سیلیسیم، تصویر میکروسکوپ الکترونی و طیف پراش انرژی پرتو ایکس در پژوهشگاه مواد و انرژی رازی تهیه شد (شکل ۱).

خاک مورد نیاز برای کشت گلخانه‌ای از مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج نمونه-برداری شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک موردنظر مشخص و نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده‌است. بافت‌خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) با دستگاه صفحه فشاری[1](Sparks, 1996)، واکنش خاک (pH) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در شرایط اشباع و گنجایش تبادل‌کاتیونی خاک (CEC) (Haluschak, 2006)، درصد کربن و نیتروژن‌آلی به روش والکلی و بلک (Walkley and Black, 1934)، کربنات‌کلسیم معادل[2](CCE) به روش خنثی‌سازی کربنات‌های خاک با اسید (Loppert and Suarez, 1996) و کربنات‌کلسیم فعال[3](ACC) از راه واکنش با اگزالات و تیتر با پرمنگنات‌پتاسیم (Bashour and Sayegh 2007)، سیلیسیم قابل‌استخراج با اسیداستیک ۰/۵ مولار (Narayanaswamy and Prakash, 2009)، فسفر قابل‌استخراج با بی‌کربنات سدیم ۰/۵ مولار به روش اولسن، پتاسیم قابل‌جذب به روش استخراج با استات‌آمونیوم نرمال و مقدار قابل‌جذب روی، مس، منگنز و آهن به روش استخراج با DTPA (Sparks, 1996) اندازه‌گیری شد.

برای آزمایش گلدانی، خاک‌ها از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد، تیمارهای سیلیسیم هشت هفته قبل از کاشت جهت گذراندن چند دوره خشک و مرطوب شدن به گلدان‌ها اعمال شد و تفاوت پتاسیم اضافه شده از طریق سیلیکات‌پتاسیم محاسبه و توسط سولفات‌پتاسیم تعدیل گردید. با توجه به نتایج آزمون خاک کمبود نیتروژن، آهن و روی به‌ترتیب از منبع اوره، سکوسترین‌آهن و سولفات‌روی تأمین و به حد بهینه آن رسید (Malakouti and Tehrani, 1999). بذر ۷ رقم گندم از موسسه تحقیقات اصلاح بذر و نهال کرج تهیه گردید و ضدعفونی گردید سپس تعداد ۱۰ بذر در گلدان‌های پلاستیکی سه کیلوگرمی کاشته و پس از یک هفته تعداد جوانه‌ها به ۶ عدد در هر گلدان کاهش یافت. آبیاری گلدان‌ها در طول دوره داشت به‌صورت وزنی و در حدود ۷۰ درصد رطوبت مزرعه به‌وسیله آب مقطر انجام گردید. برداشت گیاه پس از گذشت ۸ هفته از جوانه‌زنی، در پایان دوره رویشی و قبل از ورود به دوره زایشی انجام شد. گیاهان از ناحیه طوقه قطع و ریشه‌ها نیز به‌وسیله شستشو با آب مقطر به آرامی از خاک جدا گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام‌هوایی[4](SDW) و ریشه‌ها[5](RDW)، پس از شسته شدن آن‌ها با آب مقطر در آون تهویه‌دار با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک گردید و جهت انجام تجزیه گیاه آسیاب شدند. برای تجزیه‌های شیمیایی به روش اکسیداسیون خشک، ابتدا یک گرم از ماده خشک گیاهی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره الکتریکی قرار گرفت و سپس خاکستر حاصل در ۲۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک نرمال حل و پس از عبور از کاغذ صافی مناسب با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد (Aliehyaee and Behbahanizadeh, 1993). برای محاسبه غلظت سیلیسیم در اندام‌هوایی[6](SSC) از روش رنگ-سنجی آمینومولیبدات آبی استفاده شد، به این‌صورت که پس از تهیه عصاره نمونه مورد نظر غلظت سیلیسیم در آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدلSchimadzo UV- 3100 در طول موج ۶۵۰ نانومتر تعیین شد (Elliot and Snyder, 1991). غلظت فسفر در عصاره حاصل از اندام‌هوایی[7](SPC) نیز به روش آمونیوم مولیبدات وانادات (Rayan et al., 2001) به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتری مدل Schimadzo UV- 3100 در طول موج ۴۳۰ نانومتر و غلظت پتاسیم موجود در اندام‌هوایی[8](SKC) با استفاده از دستگاه شعله نورسنج (Rayan et al., 2001) تعیین شد. مقدار کل عناصر جذب شده در اندام‌هوایی نیز از حاصل‌ضرب غلظت عنصر در وزن خشک اندام‌هوایی

1. Pressure Plate
2. Calcium Carbonat Equivalent: CCE
3. Active Calcium Carbonat: ACC
4. Shoot Dry Weight: SDW
5. Root Dry Weight: RDW
6. Shoot Silicon Concentration: SSC
7. Shoot Phosphorus Concentration: SPC
8. Shoot Potassium Concentration: SKC

www.SID.ir

Archive of SID

محاسبه گردید.

آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (۹/۴) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱ درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۰ انجام گردید.

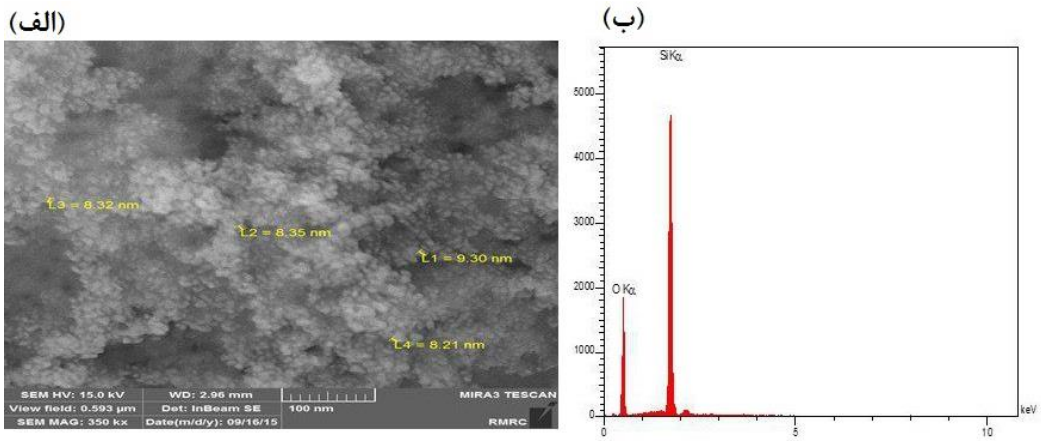
نتایج و بحث

نتایج مربوط به تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۱) ارائه شده است. بر این اساس خاک مذکور با بافت سبک و با سیلیسیم کمتر از سطح بحرانی (۵۴ میلی‌گرم سیلیسیم قابل‌استخراج با اسیداستیک ۰/۵ مولار در هر کیلوگرم خاک) دارای شرایط مناسب برای طراحی آزمایش مذکور بوده و محدودیت خاصی ندارد و بافت آن برای کشت گندم مناسب می‌باشد (Narayanaswamy and Prakash, 2009). همچنین نتایج شکل (۱) با تأیید اندازه نانوذرات (کمتر از ۱۰ نانومتر) و خالص بودن آن‌ها نشان می‌دهد ابعاد نانوذرات سیلیسیم در اندازه نانو بوده و امکان جذب توسط گیاه را دارد (Fu *et al*., 2002).

نتایج تجزیه واریانس مربوط به تمامی صفات مورد بررسی در جدول (۲) نشان داده شده‌است. داده‌های این جدول نشان می‌دهد که هر سه اثر کاربرد سیلیسیم در سطوح و منابع مختلف، رقم گندم و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه، غلظت سیلیسیم و پتاسیم در اندام‌هوایی و جذب کل سیلیسیم، فسفر و پتاسیم در اندام‌هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده

کلاس بافت خاک	شن	سیلت	رس	FC	pH	EC	CEC	CCE	ACC	OC	ON	K	P	Si	Fe	Cu	Mn	Zn
	%					dS /m	$cmol_c/kg$	%				قابل جذب			قابل استخراج با DTPA			
												mg/kg						
لوم شنی	۵۹	۲۴	۱۷	۲۱/۴۳	۸/۵	۲/۳۱	۱۵/۰۶	۱۱/۸۳	۴	۰/۷۹	۰/۰۹	۸۹/۲	۱۸/۲	۲۰/۱۶	۳/۱۲	۱/۰۲	۷/۶	۰/۶



شکل ۱. تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) (الف) و طیف پراش انرژی پرتو ایکس (EDS) (ب) نانوذرات سیلیسیم

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس تأثیر ارقام گندم و منابع و سطوح مختلف سیلیسیم بر ویژگی‌های مورد بررسی

منابع دگرگونی	DF	میانگین مربع‌ها							
		SDW	RDW	SSC	TSS	SPC	TSP	SKC	TSK
کود سیلیسیم	۵	۱/۴۷۳**	۰/۱۱۳**	۰/۳۷۱**	۲۳۷/۴**	۰/۰۰۱^{ns}	۲/۳۴**	۸/۲۱**	۲۲۹۳/۹**
رقم گندم	۶	۱/۶۰۳**	۰/۸۰۴**	۰/۰۱۳**	۴۹/۹۴**	۰/۰۱۳**	۰/۶۴**	۳/۵۳**	۳۳۸۵/۲**
رقم گندم× کود سیلیسیم	۳۰	۰/۲۵۹**	۰/۱۴۰**	۰/۰۰۷**	۱۱/۷۱**	۰/۰۰۵**	۰/۳۳**	۴/۱۵**	۴۴۵/۹**
خطا	۸۴	۰/۰۹۲	۰/۰۳۴۵	۰/۰۰۰۹	۲/۶۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۶	۰/۶۶	۲۲۶/۸
ضریب تغییرات		۱۳/۵	۲۰/۸	۵/۹۱	۱۴/۰۲	۸/۷	۴/۹۷	۱۴/۲	۱۳/۴

SDW، وزن خشک اندام هوایی؛ RDW، وزن خشک ریشه؛ SSC، غلظت سیلیسیم اندام هوایی؛ TSS، جذب کل سیلیسیم اندام هوایی؛ SPC، غلظت فسفر اندام هوایی ؛ TSP، جذب کل فسفر اندام هوایی ؛ SKC، غلظت پتاسیم اندام هوایی ؛ TSK، جذب کل پتاسیم اندام هوایی

www.SID.ir

Archive of SID

پاسخ‌های رشدی گیاه

با توجه به نتایج موجود در جدول (۳- الف)، اعمال تیمارهای مختلف سیلیسیم تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی ارقام گندم داشت به‌طوری‌که وزن خشک آن از ۱/۱۹ گرم تا ۳/۲۰ گرم متغیر بود. اما به‌طور متوسط بیشترین مقدار اندام-هوایی در بین ارقام مختلف گندم مربوط به رقم گنبد (۳/۲۰ گرم) و کمترین آن مربوط به رقم مرودشت (۱/۱۹ گرم) بود (جدول ۳- الف). مطابق جدول (۳- الف)، وزن خشک اندام-هوایی در شرایط عدم‌کاربرد سیلیسیم، اختلاف آماری معنی-داری را نسبت به کاربرد آن به جز در تیمارهای ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سیلیکات‌پتاسیم و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذره سیلیسیم نشان نداد که علت آن، نقش سیلیسیم در تولید بایومس بیشتر از طریق افزایش عملکرد و پارامترهای رشدی و همچنین افزایش فراهمی سایر عناصر برای گیاهان و تعدیل کمبود سایر مواد غذایی می‌باشد (Lux et al., 2002; Hattori et al., 2005; Ahmad et al., 2013). همچنین تأثیر نانوذره سیلیسیم به علت اندازه نانوذره نسبت به سایر منابع سیلیسیم قابل توجیه است (Moussa, 2006). اما زیاد بودن بایومس تولیدی اندام‌هوایی در شرایط عدم کاربرد سیلیسیم نسبت به کاربرد آن ممکن است به علت افزایش پنجه‌دهی و مقاومت به شرایط کمبود سیلیسیم این ارقام باشد، در واقع می-توان پدیده افزایش پنجه را به‌عنوان یکی از شاخص‌های کارایی در نظر گرفت (Moshiri et al., 2010).

نتایج جدول (۳- ب) نشان‌دهنده اثر معنی‌دار تیمارهای مختلف سیلیسیم بر وزن خشک ریشه می‌باشد، مقدار وزن خشک ریشه از ۰/۳۷ تا ۱/۵۵ گرم گزارش شده است. به‌طور متوسط بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در بین ارقام مختلف گندم مربوط به رقم مهدوی (۱/۵۵ گرم) و کم‌ترین آن مربوط به رقم مرودشت (۰/۳۷ گرم) بود (جدول ۳- ب). تفاوت میانگین‌های وزن خشک ریشه در شرایط عدم‌کاربرد سیلیسیم و فراهمی آن اختلاف آماری معنی‌داری را نشان نداد. ریشه‌ها اندام مهمی در جذب آب و عناصرغذایی می‌باشند و زیست‌توده آن‌ها حاصل بسیاری از عوامل اکولوژیکی و کشاورزی و بازتابی از حاصلخیزی خاک زیرین آن‌ها می‌باشد (Guo *et al.*, 2005). اگرچه اثر سیلیسیم بر رشد ریشه همچنان مورد بحث است و اثرات متفاوتی از کاربرد سیلیسیم بر رشد ریشه مشاهده شده است، با این‌حال گزارشاتی مبنی بر اثر مثبت تغذیه سیلیسیم بر وزن خشک ریشه ارائه شده است (Zhu *et al.*, 2004; Mali *et al.*, 2009; Dehghanipoodeh *et al.*, 2016). مرفولوژی و معماری ریشه عوامل مهمی در جذب کارآمد سیلیسیم و سایر عناصرغذایی در خاک و همچنین آماده‌سازی گیاهان به شرایط کمبود آب و موادغذایی در خاک می‌باشند. تغییرات مرفولوژی ریشه از طریق افزایش حجم خاک در دسترس ریشه یا افزایش سطوح جذب‌کننده، افزایش ترشحات ریشه‌ای و همچنین افزایش وزن یا طول ریشه باعث افزایش جذب عناصرغذایی از جمله سیلیسیم و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه می‌شود (Ma and Yamaji, 2006; Mann, 2006).

غلظت و جذب عناصر غذایی

نتایج مقایسه اثرات ساده و متقابل سطوح و منابع مختلف سیلیسیم و ارقام گندم بر میانگین مربوط به غلظت سیلیسیم (الف)، فسفر (ب) و پتاسیم (ج) در اندام‌هوایی در جدول (۴) آورده شده است.

تیمارهای مختلف سیلیسیم تأثیر معنی‌داری بر غلظت عناصرغذایی در اندام‌هوایی ارقام گندم داشت به‌طوری که غلظت سیلیسیم از ۰/۲۹ تا ۰/۷۷ درصد، فسفر از ۰/۲۰ تا ۰/۴۸ درصد و پتاسیم از ۴/۰۱ تا ۶/۱۴ درصد در اندام‌هوایی متغیر بود (جدول ۴). نتایج مربوط به غلظت عناصر غذایی در اندام‌هوایی نشان‌دهنده‌ی افزایش مقادیر سیلیسیم و کاهش فسفر و پتاسیم با کاربرد سیلیسیم می‌باشد. به‌طوری‌که غلظت سیلیسیم در اندام‌هوایی با افزایش سطح کاربرد سیلیکات‌پتاسیم تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (۰/۴۹ درصد) نسبت به سطوح پایین‌تر آن و حتی عدم‌کاربرد آن افزایش معنی‌داری را نشان داد، اگرچه در برابر سطوح مختلف نانوذره سیلیسیم، میزان کاهش همچنان معنی‌دار می‌باشد که با درنظر گرفتن امکان جذب سریع‌تر و راحت‌تر نانوذرات، این تفاوت قابل‌توجیه می-باشد (جدول ۴- الف) (Moussa, 2006). نتایج جدول (۴- الف) در ارتباط با غلظت فسفر و پتاسیم متفاوت بود به‌طوری‌که با افزایش سطح کاربرد سیلیکات‌پتاسیم تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، غلظت آن‌ها (به‌ترتیب ۰/۲۵ و ۴/۵۳ درصد) نسبت به سطوح پایین‌تر آن و حتی عدم‌کاربرد آن کاهش معنی‌داری را نشان داد و در برابر سطوح مختلف نانوذره سیلیسیم، میزان کاهش معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴- ب و ج).

غلظت اکثر عناصرغذایی در بافت‌های گیاه به دامنه‌های نسبتاً باریکی محدود می‌شود چراکه تغییرپذیری قابل‌ملاحظه در غلظت عناصرغذایی در محیط رشد سبب تغییرات اندکی در غلظت عناصرغذایی در بافت گیاه می‌شود (Fajeria and Baligar, 2005). از سوی دیگر، اثر رقیق‌سازی که حاصل کاهش غلظت عناصرغذایی در بافت هم‌زمان با افزایش سن گیاه و مرتبط با عملکرد افزایش یافته ماده‌خشک آن می‌باشد، نتایج

www.SID.ir

Archive of SID

سایر مطالعات را در ارتباط با مفید نبودن غلظت عنصر در گیاهان به‌عنوان پارامتری برای تشخیص ژنوتیپ‌های مقاوم به کمبود عناصر تأیید می‌نماید. درواقع مقادیر کل عنصر جذب‌شده در اندام‌هوایی بهتر از غلظت آن عنصر می‌تواند اختلاف بین ژنوتیپ‌ها را نشان دهد (Hacisalihoglu *et al*., 2004; Singh *et al*., 2005; Khoshgoftar *et al*., 2006). بدین‌ترتیب نتایج، تفاوت معنی‌داری درتوانایی ارقام مختلف گندم در تجمع عناصر غذایی در دو حالت تغذیه با سیلیسیم و بدون آن نشان داده است. در این مطالعه نتایج مربوط به مقدار کل سیلیسیم جذب‌شده در اندام‌هوایی از ۴/۸۲ تا ۱۳/ ۱۹ میلی‌گرم در گلدان، فسفر جذب‌شده در اندام‌هوایی از ۳/۳۹ تا ۹/۶۳ میلی‌گرم در گلدان و پتاسیم جذب‌شده در اندام‌هوایی از ۶۰/۲ تا ۱۴۶/۶ میلی‌گرم در گلدان متغیر بود (جدول ۵).

نتایج مربوط به میانگین مقادیر کل عناصرغذایی جذب‌شده در اندام‌هوایی نیز نشان‌دهنده‌ی افزایش مقادیر آن‌ها با کاربرد سیلیسیم می‌باشد. با افزایش سطح کاربرد سیلیکات-پتاسیم تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نسبت به سطوح پایین‌تر آن و حتی عدم‌کاربرد آن، افزایش معنی‌داری در مقادیر کل سیلیسیم، فسفر و پتاسیم جذب‌شده در اندام‌هوایی (۱۳/۵۷، ۶/۸۴ و ۱۲۲/۹ میلی‌گرم در گلدان) مشاهده شد. اگرچه مقادیر فوق هم‌چنان در برابر سطوح مختلف نانوذره سیلیسیم کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهند (جدول ۵). با توجه به نتایج جدول (۵) بیشترین مقادیر کل سیلیسیم، فسفر و پتاسیم جذب‌شده در ارقام مختلف گندم، به ترتیب مربوط به رقم شیراز (۱۳/۱۹ میلی‌گرم در گلدان) و گنبد (۶/۴۶ و ۱۲۵/۶ میلی‌گرم در گلدان) و کمترین مقادیر آن‌ها به‌ترتیب مربوط به رقم مرودشت (۸/۵۸ ، ۵/۲۷ و ۸۴/۷ میلی‌گرم در گلدان) گزارش شده است.

جدول ۳. مقایسه اثر ساده و متقابل میانگین‌های وزن خشک اندام‌هوایی (الف) و ریشه (ب)

الف) وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان) (SDW)

ارقام گندم	سطوح سیلیسیم: شاهد		سیلیکات پتاسیم ۲۰۰		سیلیکات پتاسیم ۴۰۰		سیلیکات پتاسیم ۱۰۰۰		نانو سیلیسیم ۵۰		نانو سیلیسیم ۱۰۰		میانگین
	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	
گنبد	۲/۲۹$^{c-l}$	۰/۲۷	۲/۳۵$^{c-k}$	۰/۴۲	۲/۵۴$^{b-h}$	۰/۰۸	۳/۰۶^{ab}	۰/۳۸	۲/۵۲$^{b-i}$	۰/۳۴	۲/۷۴$^{a-e}$	۰/۲۳	۲/۵۸^{A}
شیرودی	۱/۶۸^{lmn}	۰/۰۹	۱/۶۸^{lmn}	۰/۰۵	۱/۹۰$^{j-m}$	۰/۳۱	۳/۰۲^{ab}	۰/۱۵	۲/۰۳$^{f-l}$	۰/۰۰	۲/۲۵$^{d-l}$	۰/۰۷	۲/۰۹^{D}
شیراز	۱/۷۴^{klm}	۰/۲۵	۲/۱۵$^{e-l}$	۰/۳۶	۲/۵۵$^{b-h}$	۰/۳۶	۲/۹۵^{ab}	۰/۲۵	۱/۹۹$^{h-l}$	۰/۰۶	۲/۷۶$^{a-d}$	۰/۱۴	۲/۳۵^{BC}
مهدوی	۲/۴۹$^{b-j}$	۰/۰۵	۲/۱۵$^{e-l}$	۰/۲۳	۲/۲۲$^{d-l}$	۰/۰۴	۲/۶۱$^{b-g}$	۰/۳۷	۲/۰۹$^{f-l}$	۰/۱۷	۲/۶۳$^{a-f}$	۰/۱۸	۲/۳۶^{BC}
مرودشت	۲/۰۲$^{g-l}$	۰/۱۷	۱/۷۵^{klm}	۰/۳۰	۱/۱۹^{n}	۰/۱۳	۲/۰۱$^{g-l}$	۰/۰۷	۱/۳۷^{mn}	۰/۱۱	۱/۷۵^{klm}	۰/۰۶	۱/۶۸^{E}
بهار	۱/۹۳$^{i-m}$	۰/۶۵	۲/۳۳$^{c-k}$	۰/۲۴	۲/۲۸$^{c-l}$	۰/۱۳	۳/۲۰^{a}	۰/۳۴	۲/۲۳$^{d-l}$	۰/۲۲	۲/۸۵^{abc}	۰/۳۹	۲/۴۷^{AB}
پارسی	۲/۴۸$^{b-j}$	۰/۲۷	۲/۰۱$^{g-l}$	۰/۱۳	۲/۰۳$^{f-l}$	۰/۲۱	۲/۱۹$^{d-l}$	۰/۱۶	۲/۵۲$^{b-i}$	۰/۲۹	۱/۹۱$^{j-m}$	۰/۱۱	۲/۱۹^{CD}
میانگین	۲/۰۹^{C}		۲/۰۶^{C}		۲/۱۰^{C}		۲/۷۲^{A}		۲/۰۱^{C}		۲/۴۱^{B}		

ب) وزن خشک ریشه (گرم در گلدان) (RDW)

ارقام گندم	سطوح سیلیسیم: شاهد		سیلیکات پتاسیم ۲۰۰		سیلیکات پتاسیم ۴۰۰		سیلیکات پتاسیم ۱۰۰۰		نانو سیلیسیم ۵۰		نانو سیلیسیم ۱۰۰		میانگین
	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	
گنبد	۰/۹۸$^{c-k}$	۰/۱۱	۰/۹۷$^{c-l}$	۰/۰۶	۱/۲۵$^{a-d}$	۰/۱۹	۰/۹۶$^{c-m}$	۰/۰۲	۰/۷۱$^{h-r}$	۰/۰۱	۱/۲۵^{abc}	۰/۰۴	۱/۰۲^{B}
شیرودی	۰/۸۷$^{e-n}$	۰/۱۲	۰/۶۰$^{l-r}$	۰/۱۲	۰/۹۱$^{c-n}$	۰/۲۳	۱/۰۰$^{c-j}$	۰/۰۸	۱/۰۲$^{c-j}$	۰/۱۷	۰/۹۵$^{c-n}$	۰/۰۶	۰/۸۹^{BC}
شیراز	۰/۶۵$^{j-r}$	۰/۰۰	۰/۹۷$^{c-l}$	۰/۱۱	۱/۲۴$^{a-e}$	۰/۳۳	۰/۷۸$^{g-p}$	۰/۱۵	۰/۷۹$^{g-p}$	۰/۰۷	۱/۰۶$^{b-h}$	۰/۱۵	۰/۹۱^{BC}
مهدوی	۱/۱۶$^{b-f}$	۰/۰۶	۰/۸۸$^{d-n}$	۰/۰۲	۱/۳۹^{ab}	۰/۳۴	۱/۰۲$^{c-j}$	۰/۱۰	۰/۹۹$^{c-j}$	۰/۱۴	۱/۵۲^{a}	۰/۲۸	۱/۱۵^{A}
مرودشت	۰/۵۹$^{m-r}$	۰/۰۸	۰/۴۹$^{o-r}$	۰/۰۶	۰/۳۷^{r}	۰/۰۶	۰/۵۸$^{n-r}$	۰/۰۳	۰/۴۱^{qr}	۰/۰۸	۰/۴۳^{pqr}	۰/۱۶	۰/۴۷^{D}
بهار	۱/۱۴$^{b-g}$	۰/۴۵	۰/۶۱$^{k-r}$	۰/۰۴	۰/۹۴$^{c-n}$	۰/۲۱	۰/۶۸$^{i-r}$	۰/۱۳	۰/۷۴$^{h-q}$	۰/۰۴	۰/۸۸$^{d-n}$	۰/۰۴	۰/۸۳^{C}
پارسی	۰/۶۸$^{i-r}$	۰/۰۴	۱/۵۵^{a}	۰/۱۸	۰/۸۴$^{f-o}$	۰/۱۳	۰/۸۹$^{c-n}$	۰/۱۷	۱/۰۴$^{b-i}$	۰/۰۴	۰/۷۸$^{g-p}$	۰/۰۶	۰/۹۶^{BC}
میانگین	۰/۸۶^{AB}		۰/۸۶^{AB}		۰/۹۸^{A}		۰/۸۴^{B}		۰/۸۱^{B}		۰/۹۸^{A}		

حروف بزرگ انگلیسی در جدول، نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی را در سطح ۵ درصد و حروف کوچک انگلیسی، نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل را در سطح ۵ درصد نشان می‌دهند، حداقل یک حرف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. مقایسه اثر ساده و متقابل میانگین‌های غلظت سیلیسیم (الف)، فسفر (ب) و پتاسیم (ج) در اندام‌هوایی

الف) غلظت سیلیسیم در اندام هوایی (درصد) (SSC)

ارقام گندم	سطوح سیلیسیم												میانگین
	شاهد		سیلیکات پتاسیم ۲۰۰		سیلیکات پتاسیم ۴۰۰		سیلیکات پتاسیم ۱۰۰۰		نانو سیلیسیم ۵۰		نانو سیلیسیم ۱۰۰		
	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	
گنبد	۰/۳۹^{nop}	۰/۰۳	۰/۲۹^{r}	۰/۰۱	۰/۳۷^{pq}	۰/۰۴	۰/۴۷$^{i-l}$	۰/۰۴	۰/۷۶^{a}	۰/۰۰	۰/۶۸^{bcd}	۰/۰۱	۰/۴۹^{C}
شیرودی	۰/۳۲^{qr}	۰/۰۱	۰/۲۹^{r}	۰/۰۱	۰/۵۰$^{h-k}$	۰/۰۴	۰/۴۳$^{l-p}$	۰/۰۲	۰/۷۷^{a}	۰/۰۱	۰/۶۴^{cde}	۰/۰۱	۰/۴۸^{C}
شیراز	۰/۴۸$^{i-l}$	۰/۰۱	۰/۵۱^{ghi}	۰/۰۴	۰/۴۴$^{k-o}$	۰/۰۰	۰/۵۶^{fg}	۰/۰۳	۰/۷۴^{a}	۰/۰۱	۰/۶۴^{cde}	۰/۰۱	۰/۵۶^{A}
مهدوی	۰/۴۷$^{i-l}$	۰/۰۵	۰/۴۵$^{j-m}$	۰/۰۵	۰/۴۵$^{i-l}$	۰/۰۱	۰/۵۱^{ghi}	۰/۰۲	۰/۷۳^{ab}	۰/۰۱	۰/۶۲^{de}	۰/۰۱	۰/۵۳^{B}
مرودشت	۰/۳۹^{nop}	۰/۰۱	۰/۴۳$^{l-p}$	۰/۰۴	۰/۴۶$^{i-l}$	۰/۰۲	۰/۴۹$^{h-k}$	۰/۰۱	۰/۷۳^{ab}	۰/۰۱	۰/۶۳^{cde}	۰/۰۳	۰/۵۳^{B}
بهار	۰/۳۲^{qr}	۰/۰۳	۰/۳۹$^{m-p}$	۰/۰۰	۰/۴۴$^{k-o}$	۰/۰۲	۰/۵۴^{gh}	۰/۰۵	۰/۶۹^{bc}	۰/۰۲	۰/۶۰^{ef}	۰/۰۱	۰/۴۹^{C}
پارسی	۰/۴۴$^{k-o}$	۰/۰۴	۰/۴۹$^{h-k}$	۰/۰۳	۰/۴۴$^{k-n}$	۰/۰۲	۰/۵۰$^{g-j}$	۰/۰۲	۰/۶۸^{bcd}	۰/۰۱	۰/۶۲^{de}	۰/۰۱	۰/۵۲^{B}
میانگین	۰/۴^{E}		۰/۴^{E}		۰/۴۴^{D}		۰/۴۹^{C}		۰/۷۲^{A}		۰/۶۳^{B}		

ب) غلظت فسفر در اندام‌هوایی (درصد) (SPC)

ارقام گندم	سطوح سیلیسیم												میانگین
	شاهد		سیلیکات پتاسیم ۲۰۰		سیلیکات پتاسیم ۴۰۰		سیلیکات پتاسیم ۱۰۰۰		نانو سیلیسیم ۵۰		نانو سیلیسیم ۱۰۰		
	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	
گنبد	۰/۲۲^{ijk}	۰/۰۲	۰/۲۵$^{d-j}$	۰/۰۳	۰/۲۵$^{c-j}$	۰/۰۳	۰/۲۷$^{b-i}$	۰/۰۱	۰/۲۶$^{c-j}$	۰/۰۱	۰/۲۵$^{d-j}$	۰/۰۱	۰/۲۵^{CD}
شیرودی	۰/۲۴$^{g-k}$	۰/۰۳	۰/۳۱^{b}	۰/۰۱	۰/۲۷$^{b-i}$	۰/۰۱	۰/۲۸$^{b-f}$	۰/۰۱	۰/۲۷$^{b-g}$	۰/۰۲	۰/۲۸$^{b-f}$	۰/۰۱	۰/۲۷^{B}
شیراز	۰/۲۴$^{e-k}$	۰/۰۱	۰/۲۷$^{b-h}$	۰/۰۱	۰/۲۴$^{d-j}$	۰/۰۱	۰/۲۴$^{f-k}$	۰/۰۱	۰/۲۸$^{b-g}$	۰/۰۱	۰/۲۲$^{h-k}$	۰/۰۱	۰/۲۵^{CD}
مهدوی	۰/۲۵$^{d-j}$	۰/۰۱	۰/۲۹^{bcd}	۰/۰۲	۰/۲۶$^{c-j}$	۰/۰۲	۰/۲۸$^{b-g}$	۰/۰۲	۰/۲۶$^{c-i}$	۰/۰۰	۰/۲۴$^{e-j}$	۰/۰۲	۰/۲۶^{CD}
مرودشت	۰/۴۸^{a}	۰/۰۴	۰/۲۵$^{d-j}$	۰/۰۰	۰/۲۹$^{b-e}$	۰/۰۰	۰/۲۶$^{c-i}$	۰/۰۱	۰/۲۸$^{b-g}$	۰/۰۱	۰/۳۰^{bc}	۰/۰۲	۰/۳۱^{A}
بهار	۰/۲۴$^{d-j}$	۰/۰۲	۰/۲۱^{jk}	۰/۰۲	۰/۲۰^{k}	۰/۰۲	۰/۲۰^{k}	۰/۰۳	۰/۲۴$^{e-k}$	۰/۰۱	۰/۲۴$^{f-k}$	۰/۰۲	۰/۲۲^{E}
پارسی	۰/۲۳$^{g-k}$	۰/۰۲	۰/۲۲^{ijk}	۰/۰۲	۰/۲۵$^{c-j}$	۰/۰۲	۰/۲۵$^{c-j}$	۰/۰۲	۰/۲۵$^{d-j}$	۰/۰۱	۰/۲۷$^{b-g}$	۰/۰۲	۰/۲۵^{D}
میانگین	۰/۲۷^{A}		۰/۲۶^{B}		۰/۲۵^{B}		۰/۲۵^{B}		۰/۲۶^{AB}		۰/۲۶^{AB}		

ج) غلظت پتاسیم در اندام‌هوایی (درصد) (SKC)

ارقام گندم	سطوح سیلیسیم												میانگین
	شاهد		سیلیکات پتاسیم ۲۰۰		سیلیکات پتاسیم ۴۰۰		سیلیکات پتاسیم ۱۰۰۰		نانو سیلیسیم ۵۰		نانو سیلیسیم ۱۰۰		
	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	
گنبد	۵/۳۳$^{c-i}$	۰/۲۴	۴/۸۵$^{i-p}$	۰/۱۱	۴/۵۷$^{o-r}$	۰/۳۳	۴/۷۸$^{k-r}$	۰/۰۸	۴/۹۱$^{h-p}$	۰/۲۰	۴/۷۹$^{k-r}$	۰/۱۲	۴/۸۷^{D}
شیرودی	۵/۴۰$^{c-h}$	۰/۳۵	۵/۰۱$^{g-p}$	۰/۲۰	۴/۷۶$^{l-r}$	۰/۰۸	۴/۶۵$^{n-r}$	۰/۱۴	۵/۲۷$^{d-k}$	۰/۲۵	۵/۲۷$^{d-k}$	۰/۱۴	۵/۰۶^{BC}
شیراز	۵/۶۵$^{b-e}$	۰/۰۴	۴/۸۲$^{k-q}$	۰/۰۷	۴/۸۳$^{j-q}$	۰/۰۷	۴/۳۲^{rs}	۰/۰۷	۵/۱۸$^{e-l}$	۰/۱۸	۵/۰۱$^{g-p}$	۰/۱۵	۴/۹۷^{CD}
مهدوی	۵/۵۹$^{b-f}$	۰/۱۳	۵/۱۹$^{e-l}$	۰/۰۶	۵/۱۵$^{f-m}$	۰/۰۳	۴/۷۵$^{l-r}$	۰/۲۰	۵/۰۶$^{g-o}$	۰/۲۳	۵/۲۲$^{d-l}$	۰/۰۵	۵/۱۶^{B}
مرودشت	۵/۲۳$^{d-l}$	۰/۱۱	۴/۵۲^{pqr}	۰/۰۸	۵/۰۹$^{g-n}$	۰/۳۴	۴/۳۲^{rs}	۰/۲۰	۵/۴۶$^{c-g}$	۰/۰۶	۵/۸۰^{abc}	۰/۳۲	۵/۰۷^{BC}
بهار	۶/۱۴^{a}	۰/۲۰	۴/۳۵^{qrs}	۰/۱۶	۴/۶۷$^{m-r}$	۰/۳۰	۴/۰۱^{s}	۰/۱۱	۴/۸۲$^{k-q}$	۰/۳۵	۴/۸۸$^{i-p}$	۰/۱۶	۴/۸۱^{D}
پارسی	۵/۰۴$^{g-o}$	۰/۲۲	۵/۳۲$^{d-j}$	۰/۱۳	۵/۷۰$^{a-d}$	۰/۰۶	۴/۹۱$^{h-p}$	۰/۱۴	۵/۲۴$^{d-l}$	۰/۵۱	۶/۰۳^{ab}	۰/۳۴	۵/۳۷^{A}
میانگین	۵/۴۸^{A}		۴/۸۷^{C}		۴/۹۷^{C}		۴/۵۳^{D}		۵/۱۳^{B}		۵/۲۹^{B}		

حروف بزرگ انگلیسی در جدول، نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی را در سطح ۵ درصد و حروف کوچک انگلیسی، نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل را در سطح ۵ درصد نشان می‌دهند، حداقل یک حرف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است.

در مورد روابط بین کاربرد سیلیسیم و جذب فسفر گزاراشات متناقضی وجود دارد. اوایل ۱۸۶۲، پژوهشی در رتامستد نشان داد که افزودن سیلیسیم (به صورت سدیم سیلیکات) عملکرد را در گلدان‌هایی که فسفر دریافت نکرده بودند افزایش داد، این مسئله نشان داد که سیلیسیم ممکن است فراهمی فسفر را افزایش دهد (Rothamsted, 2013). در همین راستا Liang *et al.* (1999) گزارش کردند که غلظت فسفر و مقدار کل فسفر جذب شده در گیاه با افزودن سیلیسیم تحت تنش شوری افزایش یافته است و علت احتمالی آن را افزایش فعالیت‌های ریشه تحریک‌شده با سیلیسیم در اثر افزایش فعالیت دهیدروژناز ریشه و همچنین رقابت بین آنیون فسفات و سیلیکات در محل‌های جذب و تبادل عنوان کردند. در مقابل Miyake (1993) گزارش نمود که تأمین سیلیسیم، جذب فسفر را کاهش می‌دهد. Gao *et al.* (2004) نیز دریافتند که افزودن

www.SID.ir

Archive of SID

سیلیسیم، غلظت فسفر را به‌طور قابل توجهی در شیره آوند چوبی ذرت کاهش می‌دهد. در ادامه مطالعات، Eneji *et al.*, (2008) دریافتند که همبستگی منطقی بین سیلیسیم و جذب فسفر وجود دارد و پیشنهاد نمودند که سیلیسیم علت افزایش غلظت فسفر محلول در خاک می‌باشد. افزایش جذب پتاسیم در حضور سیلیسیم نیز توسط Kaya *et al.*, (2006) گزارش گردید. در این بین سطح پتاسیم ارتباط مستقیمی با تنظیم فشار اسمزی در گیاهان دارد (Ashraf *et al.*, 2001). همچنین گزارش دیگری مبنی بر افزایش غلظت پتاسیم در اندام‌هوایی گندم تحت تنش کمبود آب توسط Pei et al. (2010) ارائه گردید، این نتایج هم‌راستا با یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد.

جدول ۵. مقایسه اثر ساده و متقابل میانگین‌های مقدار کل جذب شده سیلیسیم (الف)، فسفر (ب) و پتاسیم (ج) در اندام‌هوایی

الف) جذب سیلیسیم در اندام‌هوایی (میلی‌گرم در گلدان) (TSS)

ارقام گندم	سطوح سیلیسیم: شاهد		سیلیکات پتاسیم ۲۰۰		سیلیکات پتاسیم ۴۰۰		سیلیکات پتاسیم ۱۰۰۰		نانو سیلیسیم ۵۰		نانو سیلیسیم ۱۰۰		میانگین
	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	
گنبد	۸/۸۵$^{j-n}$	۰/۴۴	۶/۹۰$^{m-p}$	۱/۲۹	۹/۵۱$^{j-n}$	۱/۰۵	۱۴/۳۵$^{d-g}$	۲/۰۳	۱۹/۱۳^{a}	۲/۵۶	۱۸/۵۶^{ab}	۱/۶۹	۱۲/۸۸^{A}
شیرودی	۵/۴۶^{op}	۰/۳۹	۴/۸۲^{p}	۰/۱۰	۹/۵۶$^{j-n}$	۲/۳۸	۱۲/۹۲$^{e-i}$	۱/۲۰	۱۵/۵۶$^{b-e}$	۰/۱۶	۱۴/۳۷$^{d-g}$	۰/۳۴	۱۰/۴۴^{C}
شیراز	۸/۳۵$^{k-o}$	۱/۱۵	۱۰/۸۵$^{h-l}$	۱/۷۰	۱۱/۱۵$^{h-k}$	۱/۵۴	۱۶/۴۱$^{a-d}$	۱/۳۷	۱۴/۷۶$^{c-f}$	۰/۶۱	۱۷/۶۴^{abc}	۱/۰۴	۱۳/۱۹^{A}
مهدوی	۱۱/۶۸$^{g-j}$	۱/۳۱	۹/۶۶$^{j-m}$	۱/۵۸	۱۰/۰۶$^{i-m}$	۰/۱۲	۱۳/۲۸$^{e-h}$	۱/۳۷	۱۵/۱۶^{cde}	۱/۰۱	۱۶/۴۲$^{a-d}$	۰/۹۴	۱۲/۸۸^{AB}
مرودشت	۷/۷۹$^{l-p}$	۰/۵۶	۷/۴۶$^{m-p}$	۱/۰۷	۵/۴۲^{op}	۰/۶۷	۹/۸۵$^{i-m}$	۰/۳۹	۹/۹۵$^{i-m}$	۰/۹۲	۱۱/۰۸$^{h-k}$	۰/۶۷	۸/۵۸^{D}
بهار	۶/۴۳^{nop}	۲/۷۱	۹/۱۵$^{j-n}$	۰/۸۸	۱۰/۰۵$^{i-m}$	۰/۶۳	۱۷/۱۹$^{a-d}$	۲/۳۴	۱۵/۳۳^{cde}	۱/۲۳	۱۷/۲۴$^{a-d}$	۲/۳۱	۱۲/۵۶^{AB}
پارسی	۱۰/۹۳$^{h-l}$	۱/۰۱	۹/۸۵$^{i-m}$	۱/۱۰	۹/۰۶$^{j-n}$	۱/۳۳	۱۱/۰۵$^{h-k}$	۱/۲۳	۱۷/۰۳$^{a-d}$	۱/۷۹	۱۱/۸۶$^{f-j}$	۰/۸۹	۱۱/۶۳^{B}
میانگین	۸/۴۹^{C}		۸/۳۸^{C}		۹/۲۵^{C}		۱۳/۵۷^{B}		۱۵/۲۷^{A}		۱۵/۳۰^{A}		

ب) جذب فسفر در اندام‌هوایی (میلی‌گرم در گلدان) (TSP)

ارقام گندم	سطوح سیلیسیم: شاهد		سیلیکات پتاسیم ۲۰۰		سیلیکات پتاسیم ۴۰۰		سیلیکات پتاسیم ۱۰۰۰		نانو سیلیسیم ۵۰		نانو سیلیسیم ۱۰۰		میانگین
	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	
گنبد	۵/۱۱$^{g-m}$	۱/۱۲	۵/۸۳$^{d-j}$	۱/۲۷	۶/۴۳$^{d-h}$	۰/۷۷	۸/۱۱^{bc}	۰/۶۹	۶/۴۷$^{d-h}$	۰/۶۱	۶/۷۹$^{c-f}$	۰/۶۳	۶/۴۶^{A}
شیرودی	۳/۹۴^{lmn}	۰/۳۵	۵/۱۸$^{f-m}$	۰/۱۳	۵/۰۷$^{h-m}$	۰/۸۶	۸/۵۳^{a}	۰/۴۴	۵/۵۲$^{d-l}$	۰/۳۷	۶/۳۶$^{d-h}$	۰/۱۴	۵/۷۷^{BC}
شیراز	۴/۱۸$^{k-n}$	۰/۵۳	۵/۷۳$^{d-k}$	۰/۹۸	۶/۱۸$^{d-i}$	۰/۴۰	۷/۰۵^{cde}	۰/۵۰	۵/۵۰$^{e-l}$	۰/۲۷	۶/۲۰$^{d-i}$	۰/۳۸	۵/۸۱^{BC}
مهدوی	۶/۲۰$^{d-i}$	۰/۱۷	۶/۲۷$^{d-h}$	۱/۱۲	۵/۷۱$^{d-k}$	۰/۴۸	۷/۱۵^{bcd}	۰/۶۹	۵/۴۶$^{e-l}$	۰/۴۰	۶/۴۳$^{d-h}$	۰/۸۷	۶/۲۰^{AB}
مرودشت	۹/۶۳^{a}	۰/۸۲	۴/۳۱$^{j-n}$	۰/۶۹	۳/۳۹^{n}	۰/۳۷	۵/۳۰$^{f-m}$	۰/۳۳	۳/۸۱^{mn}	۰/۱۴	۵/۱۹$^{f-m}$	۰/۴۶	۵/۲۷^{C}
بهار	۴/۵۷$^{i-n}$	۱/۱۳	۵/۰۰$^{h-m}$	۰/۷۱	۴/۵۳$^{j-n}$	۰/۶۸	۶/۲۸$^{d-h}$	۰/۸۶	۵/۳۶$^{f-m}$	۰/۲۸	۶/۷۳$^{c-g}$	۰/۴۱	۵/۴۱^{C}
پارسی	۵/۸۲$^{d-j}$	۰/۹۵	۴/۴۷$^{j-n}$	۰/۶۲	۵/۱۸$^{f-m}$	۱/۰۹	۵/۴۸$^{e-l}$	۰/۱۹	۶/۲۴$^{d-h}$	۰/۵۴	۵/۱۹$^{f-m}$	۰/۴۶	۵/۴۰^{C}
میانگین	۵/۶۴^{BC}		۵/۲۶^{C}		۵/۲۱^{C}		۶/۸۴^{A}		۵/۴۸^{C}		۶/۱۳^{B}		

ج) جذب پتاسیم در اندام‌هوایی (میلی‌گرم در گلدان) (TSK)

ارقام گندم	سطوح سیلیسیم: شاهد		سیلیکات پتاسیم ۲۰۰		سیلیکات پتاسیم ۴۰۰		سیلیکات پتاسیم ۱۰۰۰		نانو سیلیسیم ۵۰		نانو سیلیسیم ۱۰۰		میانگین
	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد	
گنبد	۱۲۲/۷$^{a-d}$	۱۹/۱	۱۱۳/۴$^{b-g}$	۱۷/۷	۱۱۶/۱$^{b-f}$	۷/۵	۱۴۶/۶^{a}	۲۰/۶	۱۲۲/۹$^{a-d}$	۱۲/۱	۱۳۱/۵^{abc}	۱۲/۵	۱۲۵/۶^{A}
شیرودی	۹۰/۷$^{e-i}$	۴/۰	۸۴/۱$^{g-j}$	۱/۵	۹۰/۷$^{e-i}$	۱۴/۶	۱۴۰/۷^{ab}	۱۰/۹	۱۰۷/۱$^{c-h}$	۵/۰	۱۱۸/۶$^{a-e}$	۵/۷	۱۰۵/۳^{B}
شیراز	۹۸/۴$^{d-i}$	۱۴/۲	۱۰۳/۳$^{c-i}$	۱۶/۹	۱۲۳/۱$^{a-d}$	۱۶/۵	۱۲۷/۶$^{a-d}$	۱۲/۹	۱۰۳/۱$^{c-i}$	۶/۳	۱۳۸/۱^{ab}	۳/۰	۱۱۵/۶^{A}
مهدوی	۱۳۹/۲^{ab}	۲/۶	۱۱۱/۷$^{b-g}$	۱۲/۷	۱۱۴/۴$^{b-f}$	۱/۸	۱۲۳/۶$^{a-d}$	۱۴/۸	۱۰۵/۵$^{c-h}$	۶/۳	۱۳۷/۳^{ab}	۹/۲	۱۲۲/۰^{A}
مرودشت	۱۰۵/۵$^{c-h}$	۶/۸	۷۹/۰^{hij}	۱۲/۱	۶۰/۲^{j}	۴/۹	۸۶/۸$^{f-j}$	۴/۶	۷۴/۹$^{i-j}$	۶/۴	۱۰۱/۸$^{c-i}$	۸/۰	۸۴/۷^{C}
بهار	۱۱۸/۴$^{a-e}$	۴۰/۳	۱۰۱/۲$^{c-i}$	۸/۳	۱۰۶/۷$^{c-h}$	۱۲/۱	۱۲۸/۱$^{a-d}$	۱۱/۷	۱۰۷/۰$^{c-h}$	۷/۱	۱۳۸/۶^{ab}	۱۴/۴	۱۱۶/۷^{A}
پارسی	۱۲۴/۴$^{a-d}$	۹/۲	۱۰۷/۱$^{c-h}$	۵/۲	۱۱۵/۶$^{b-f}$	۱۰/۵	۱۰۷/۱$^{c-h}$	۴/۵	۱۳۱/۵^{abc}	۱۲/۱	۱۱۵/۰$^{b-f}$	۴/۶	۱۱۶/۸^{A}
میانگین	۱۱۴/۲^{BC}		۱۰۰/۰^{D}		۱۰۳/۸^{D}		۱۲۲/۹^{AB}		۱۰۷/۴^{CD}		۱۲۵/۸^{A}		

حروف بزرگ انگلیسی در جدول، نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی را در سطح ۵ درصد و حروف کوچک انگلیسی، نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل را در سطح ۵ درصد نشان می‌دهند، حداقل یک حرف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری کلی

سیلیسیم نقش مهمی در تعادل جذب، انتقال، و توزیع عناصر معدنی در گیاهان ایفا می‌کند. سیلیسیم با افزایش سطح و طول ریشه، مکان‌های در معرض بیشتری برای جذب یون‌های قابل-انتشار فراهم می‌سازد. اگرچه نتایج برخی مطالعات حاکی از آن است که سیلیسیم رشد ریشه را تحریک نکرده است و کاربرد آن با افزایش جذب آب باعث افزایش جذب عناصر شده است، لذا تحقیقات بیشتری جهت تعیین اینکه سیلیسیم چطور جذب آب توسط ریشه را تنظیم می‌کند و بر خصوصیات آناتومیکی ریشه اثر می‌گذارد مورد نیاز است تا متابولیسم رشد بهبود یافته گیاه توسط سیلیسیم بهتر درک شود. با عنایت به نقش دو عامل مهم سطح ریشه و تغییرات حاصل از فعالیت ریشه‌ها بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی، آگاهی از تغییرات فراهمی عناصرغذایی در محیط رشد ریشه و سهولت جذب و انتقال آن‌ها برای درک رفتار سیلیسیم در خاک ضروری است. به نظر می‌رسد سیلیسیم بر روی جذب و انتقال مواد مغذی ضروری مانند فسفر و پتاسیم مؤثر بوده‌است درنتیجه سبب بهبود رشد گیاهان می‌شود.

نتایج حاصل از این پژوهش استدلالی بر افزایش غلظت سیلیسیم در اندام‌هوایی و به‌تبع آن افزایش مقدار کل سیلیسیم جذب‌شده با افزایش غلظت سیلیسیم در محلول خاک تحت کاربرد سیلیسیم می‌باشد که هم‌راستا با یافته‌های سایر مطالعات است. اگرچه نتایج در ارتباط با غلظت پتاسیم و فسفر در اندام هوایی با فرضیات این مطالعه در تضاد بود اما با توجه به اثر رقت و ارجحیت گزارش مقدار کل عنصر جذب شده در اندام هوایی به جای غلظت آن، مقادیر کل فسفر و پتاسیم جذب شده در اندام هوایی با کاربرد سیلیسیم افزایش یافت.

کاربرد نانوذرات سیلیسیم نسبت به سطوح مختلف سیلیکات‌پتاسیم باعث افزایش مقدار غلظت سیلیسیم و پتاسیم و همچنین جذب سیلیسیم و پتاسیم در اندام‌هوایی شد. بنابراین به نظر می‌رسد که استفاده بهینه از نانوذرات سیلیسیم به دلیل اندازه کوچک، سطح ویژه بالا و واکنش‌پذیری بالا می‌تواند به بهبود رشد گندم کمک کند.

REFERENCES

Ahmad, A., Afzal, M., Ahmad, A.U.H. and Tahir, M. (2013). Effect of foliar application of silicon on yield and quality of rice (*Oryza sativa* L.). *Ceecetari Agronomice*, 10(3), 21-28.

Ali-Ehyaee A, and Behbahanizadeh A. A. (1993). Methods of soil analysis. *Echnical bulletin No.983, SWRI*, Tehran, Iran. (in Farsi with English Summary).

Barker, A. V., and Pilbeam, D. J. (2006). Handbook of plant nutrition. *Taylor & Francis*. 1-662.

Bashour, I. and Sayegh, A.A. (2007). Methods of Analysis for Soils of Arid and Semi-Arid Regions. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, 49-53.

Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy journal*, 54(5), 464-465.

Chanchareonsook, J., Suwannnarat, C., Thongpae, S., Chanchareonsook, S. and Thinyai, P. (2002) Effects of application of chemical fertilizer in combination with silicon on yield and nutrient uptake of rice in an acid sulfate soil. *Paper presented in Symposium on 17th WCSS, 14–21st August 2002*, Thailand.

Cooke, J. and Leishman, M.R. (2011). Is plant ecology more siliceous than we realise? *Trends in plant science*, 16(2), 61-68.

Datnoff, L.E., Snyder, G.H. and Korndorfer, G.H. (2001). Silicon in Agriculture Studies in Plant Science. *Amsterdam: Elsevier*, 1-403.

Elliott, C. and Snyder, G.H. (1991). Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39(6), 1118-1119.

Epstein, E., Bloom, AJ. (2005). Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. *Sinauer*, Sunderland.

Epstein. E. (1999). Annual Review of Plant Physiollogy and Plant Molecular Biology. *Silicon*, 50, 641–664.

FAO. (2012). FAOSTAT database: FAO, Rome, Italy. http://faostat.fao.org.

Fu, F., Akagi, T. and Yabuki, S. (2002). Origin of silica particles found in the cortex of Matteuccia roots. *Soil Science Society of America Journal*, 66(4), 1265-1271.

Gao, X., Zou, C., Wang, L. and Zhang, F. (2005). Silicon improves water use efficiency in maize plants. *Journal of plant nutrition*, 27(8), 1457-1470.

Ghaffarpour, M. (1995). The portion of bread in supplying people's nutritional needs. Proceedings of the specialized forum, Institute of Nutrition Research and Food Industry of the country, 1-20.

Guo, W., Hou, Y.-L., Wang, S.-G. and Zhu, Y. G. (2005). Effect of silicate on the growth and arsenate uptake by rice (Oryza sativa L.) seedlings in solution culture. *Plant and Soil*, 272(1-2), 173-181.

Hacisalihoglu, G., Ozturk, L., Cakmak, I., Welch, R.M. and Kochian, L. (2004). Genotypic variation in common bean in response to zinc deficiency in calcareous soil. *Plant and Soil*, 259(1-2), 71-83.

Haluschak, P. (2006). Laboratory methods of soil analysis. *Canada-Manitoba soil survey*, 3-133.

Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., An, P., Morita, S., Luxová, M. and Lux, A. (2005). Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. *Physiologia Plantarum*, 123(4), 459-466.

Jiang, H., Manolache, S., Wong, A.C.L. and Denes,

www.SID.ir

Archive of SID

F.S. (2004). Plasma-enhanced deposition of silver nanoparticles onto polymer and metal surfaces for the generation of antimicrobial characteristics. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(3), 1411-1422.

Kaya, C., Tuna, L. and Higgs, D. (2006). Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 29(8), 1469-1480.

Khoshgoftar, A., Shariatmadari, H., Karimian, N. and Khajehpour, M. (2006). Responses of wheat genotypes to zinc fertilization under saline soil conditions. *Journal of plant nutrition*, 29(9), 1543-1556.

Kim, Y.-H., Khan, A.L., Hamayun, M., Kang, S.M., Beom, Y.J. and Lee, I.-J. (2011). Influence of short-term silicon application on endogenous physiohormonal levels of Oryza sativa L. under wounding stress. *Biological trace element research*, 144(1-3), 1175-1185.

Liang, YC., Ding, RX. and Liu, Q. (1999) Effects of silicon on salt tolerance of barley and its mechanism. *Science Agriculture*, 32(6), 75–83 (In Chinese with English abstract).

Lux, A., Luxová, M., Hattori, T., Inanaga, S. and Sugimoto, Y. (2002). Silicification in sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars with different drought tolerance. *Physiologia Plantarum*, 115(1), 87-92.

Ma, J., Miyake, Y. and Takahashi, E. (2001). Silicon as a beneficial element for crop plants. *Studies in plant Science. Elsevier*, pp. 17-39.

Ma, J. and Yamaji, N. (2008). Functions and transport of silicon in plants. *Cellular and molecular life sciences*, 65, 3049–3057.

Ma, J.F. and Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*. 11, 392–397.

Ma, J.F., Tamai, K. and Yamaji, N. (2006). A silicon transporter in rice. *Nature*, 440, 688–691.

Malakouti, M.J. and Tehrani, M.M. (1999). Effect of nutrients on the yield and quality of agricultural products. *Tarbiayat Modarres Press*, Tehran, 1-301.

Mali, M., and Aery, N. C. (2009). Effect of silicon on growth, biochemical constituents, and mineral nutrition of cowpea. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40, 1041–1052.

Malmir, R., Motesharezadeh, B. and Tabrizi, L. (2017) Effect of silicon sources and Nano silicon on some morphophysiologic responses of Stevia rebaudiana Bertoni, *4th conference of Nanotechnology in agriculture*, Karaj. Iran.

Mann, S. (2006). Nanotechnology and construction. *Nanoforum report*, 1-55.

Mazumdar, J. (2011). Phytoliths of pteridophytes. *South African Journal of Botany*, 77(1), 10-19.

Mitani, N. and Ma, J.F.. (2005). Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of Experimental Botany*, 56,1255–1261.

Moshiri, F., Ardalan, M.M., Tehrani, M.M. and Savaghebi, Gh. R. (2010). Zinc efficiency in wheat cultivars, *Water and Soil Journal*, 24(1), 145-153.

Moussa, H.R. (2006). Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt- stressed maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Agriculture and Biology*, 8 (3), 293–7.

Narayanaswamy, C. and Prakash, N. (2009). Calibration and categorization of plant available silicon in rice soils of south India. *Journal of plant nutrition*, 32 (8), 1237-1254.

Pei, Z., Ming, D., Liu, D., Wan, G., Geng, X., Gong, H. and Zhou, W. (2010) Silicon improves the tolerance to water-deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (Triticum aestivum L.) seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29 (1),106–115.

Ranganathan, S., Suvarchala, V., Rajesh, Y., Prasad, M.S., Padmakumari, A. and Voleti, S. (2006). Effects of silicon sources on its deposition, chlorophyll content, and disease and pest resistance in rice. *Biologia Plantarum*, 50 (4), 713-716.

Rothamsted Research (2013) Rothamsted research's classical experiment "Hoos barley—started in 1852". http://www.rothamsted.ac.uk/ Content-Section=Resources&Page=ClassicalExperiments. html. accessed 19 September 2013.

Dehghanipoodeh, S., Ghobadi, C., Baninasab, B., Gheysari, M. and Bidabadi, S.S. (2016). Effects of potassium silicate and nanosilica on quantitative and qualitative characteristics of a commercial strawberry (fragaria × ananassa cv. 'camarosa'). *Journal of Plant Nutrition*, 39 (4), 502-507.

Pati, S., Pal, B., Badole, S., Hazra, G.C. and Mandal, B. (2016). Effect of Silicon Fertilization on Growth, Yield, and Nutrient Uptake of Rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(3), 284-290.

Singh, B., Kumar, S., Natesan, A., Singh, B. K. and Usha, K. (2005). Improving zinc efficiency of cereals under zinc deficiency. *Current Science*, 10(1), 36-44.

Sparks, D.L. (1996). Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. *Soil science society, American society of Agronomy*, Amercican Inc.

Sun, C. W., Liang, Y. C. and Romheld, V. (2005). Effects of foliar- and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildow in *cucumissativus*. *Plant Pathology*, 54, 678-685.

Van Bockhaven, J., De Vleesschauwer, D. and Höfte, M. (2013). Towards establishing broad-spectrum disease resistance in plants: silicon leads the way. *Journal of Experimental Botany*, 64,1281–1293.

Walkley, A. and Black, IA. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.

Wang, G., Dobermann, A., Witt, C., Sun, Q. and Fu, R.

www.SID.ir

Archive of SID

(2001). Performance of site- specific nutrient management for irrigated rice in southeast china. *Agronomy journal*, 93, 869-878.

Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q. and Yu, J. (2004). Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymesactivity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*, 167, 527-533.

www.SID.ir