محور مقاله: فناوری‌های نوین در علوم خاک

جذب و انباشت سیلیسیم در گیاه گندم در اثر کاربرد سیلیکات پتاسیم و نانوذرات سیلیس

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

[۱] دانش آموخته دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

[۲] دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

[۳] استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

[۴] استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

چکیده

با پیشرفت علم، بهره‌گیری از فناوری نانو در مباحث تغذیه گیاه به دلیل کارایی بالای نانوذرات در جذب توسط گیاه مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. از این‌رو مطالعه‌ای با هدف مقایسه اثر سیلیکات پتاسیم و نانوذرات سیلیس بر جذب و انتقال عنصر سیلیسیم توسط گندم در گلخانه تحقیقاتی گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران صورت گرفت. این پژوهش در قالب طرح کاملا تصادفی و به صورت فاکتوریل، با دو فاکتور شامل سیلیسیم در شش سطح (شاهد، سیلیکات پتاسیم با سطح کاربرد۲۰۰، ۴۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و نانوذرات سیلیس با سطح کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و هفت رقم 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، غلظت سیلیسیم در اندام‌هوایی و ریشه و فاکتور انتقال سیلیسیم ($p\leq$۰/۰۱) معنی‌دار شد. هم‌چنان افزایش جذب سیلیسیم توسط ریشه و انتقال آن به اندام‌هوایی در صورت بهره‌گیری از نانوسیلیس در برابر سیلیکات پتاسیم مشاهده گردید. چنان‌که افزودن ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذره سیلیس باعث افزایش غلظت سیلیسیم در ریشه و اندام-هوایی به‌ترتیب به میزان ۲۸/۵ و ۱۰ درصد نسبت به کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سیلیکات‌پتاسیم شد.

کلمات کلیدی: سیلیسیم، سیلیکات پتاسیم، نانوذرات سیلیس، جذب، فاکتور انتقال

مقدمه

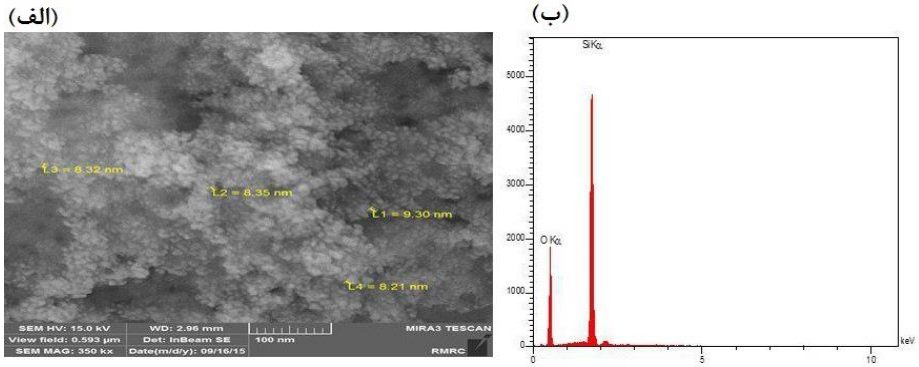
پیشرفت های گسترده فناوری نانو در علوم مختلف و به تبع آن در مباحث تغذیه گیاه و افزودن نانوذرات به محلول غذایی گیاهان به عنوان کود به دلیل داشتن اثر بی‌نظیر آنها مانند نفوذ سریع‌تر و راحت‌تر به درون غشای سلولی توجه زیادی را در بین تولیدکنندگان به خود جلب کرده‌است. نانوذرات بر اساس ویژگی‌های اختصاصی که دارند رفتارهای کاملا جدید و متفاوتی در مقایسه با ذرات درشت‌تر توده‌ی موادی که از آن ساخته شده‌اند از خود بروز می‌دهند (Perez et al., 2004). اکثر اتم‌های نانوذرات غیراشباع بوده و در سطح قرار دارند که می‌توانند به آسانی با یون‌های دیگر پیوند برقرار کرده و دارای واکنش‌پذیری قابل‌توجهی باشند. نانوذرات سیلیس شامل مجموعه‌ای از ذرات کوچک مولکول اکسیدسیلیسیم است که دارای نفوذ سریع و راحت به درون غشای سلولی می‌باشند، برخی محققان بر این باورند که علاوه بر اسیدسیلیسیک، مولکول اکسیدسیلیسیم در خاک می‌تواند به-طور مستقیم توسط گیاهان جذب شود (Fu et al., 2002)، چنان‌که گزارشاتی مبنی بر کارایی غلظت‌های کم نانوذرات سیلیس همانند غلظت زیاد سیلیکات‌پتاسیم وجود دارد (Jiang et al., 2004). اگرچه برخی تحقیقات اثر نانوذرات سیلیس را بر جوانه‌زنی بذر و عملکرد گیاه که احتمالا به‌علت

* ایمیل نویسنده مسئول: saberian@ut.ac.ir

نفوذ سریع‌تر و راحت‌تر آن‌ها به بافت گیاه به واسطه اثرات مورفولوژیک نانوذرات نشان داده‌است (Moussa, 2006; Haghighi et al., 2012) با این حال تاکنون توجه جدی به اثرات این ماده در اندازه نانو بر روی خصوصیات بیوشیمیایی محیط رشد گیاه صورت نگرفته است. پژوهشگران در بررسی کاربرد سیلیسیم در خصوصیات رشدی گیاه گندم با استفاده از سیلیکات پتاسیم بیشترین تأثیر را در غلظت سیلیسیم اندام‌هوایی مشاهده کردند (کرملاچعب و قرینه، ۱۳۹۲). از آن‌جا که سیلیسیم تنها عنصری است که در غلظت‌های بسیار بالا نیز برای گیاهان سمی نیست در نتیجه کاربرد مقادیر بیشتر سیلیسیم متضمن رشد بهتر آن می‌باشد (Epstein, 1999). همچنین با توجه به جذب فعال سیلیسیم توسط گندم (Nikolic et al., 2007) این گیاه می‌تواند مقادیر زیادی از سیلیسیم را در خود انباشته کند، بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور دستیابی به درک تفاوت کاربرد سیلیکات‌پتاسیم و نانوذرات سیلیس در جذب، انتقال و انباشت سیلیسیم توسط گیاه گندم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر، به‌صورت فاکتوریل در قالب کاملا تصادفی با دو فاکتور و در سه تکرار به‌منظور بررسی اثر منابع مختلف سیلیسیم بر جذب و انباشت سیلیسیم توسط هفت رقم گندم ایرانی در شرایط گلخانه ای اجراء 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 کاربرد۲۰۰، ۴۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و نانوسیلیس با سطح کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بود. برای اطمینان از اندازه‌ذرات و همچنین خلوص نانوذرات سیلیس، تصویر میکروسکوپ الکترونی و طیف پراش انرژی پرتوایکس در پژوهشگاه مواد و انرژی رازی تهیه شد (شکل ۱).



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

خاک مورد نیاز برای کشت گلخانه‌ای از مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج نمونه‌برداری شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک موردنظر مشخص و نتایج آن در جدول (۱) ارائه گردیده‌است. 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. بذر ارقام گندم از موسسه تحقیقات اصلاح بذر و نهال کرج تهیه گردید. برداشت گیاه پس از گذشت ۸ هفته از جوانه‌زنی، در پایان دوره رویشی و قبل از ورود به دوره زایشی انجام شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک اندام‌هوایی، گیاه پس از شسته شدن با آب مقطر در آون تهویه‌دار با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و جهت انجام تجزیه شیمیایی آسیاب گردید.

سیلیسیم قابل‌استخراج از خاک با اسیداستیک ۰/۵ مولار (Narayanaswamy and Prakash, 2009) عصاره‌گیری و اندازه‌گیری شد. جهت محاسبه غلظت سیلیسیم در اندام‌هوایی و ریشه از روش رنگ‌سنجی آمینومولیبدات آبی استفاده شد، به این‌صورت که پس از تهیه عصاره نمونه مورد نظر طبق روش Elliot و Snyder (۱۹۹۱) غلظت سیلیسیم در آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۵۰ نانومتر تعیین شد. فاکتور انتقال نیز از تقسیم غلظت عنصر مورد نظر در اندام‌هوایی به غلظت آن در ریشه محاسبه گردید.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۱) ارائه شده است. بر این اساس خاک مذکور دارای شرایط مناسب برای طراحی آزمایش بوده و محدودیت خاصی برای کشت گندم ندارد (Narayanaswamy and Prakash, 2009). همچنین نتایج شکل (۱) با تأیید اندازه نانوذرات و خالص بودن آن‌ها نشان می‌دهد ابعاد این ذرات در اندازه نانو بوده و امکان جذب توسط گیاه را دارد (Fu et al., 2002).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

بافت خاک	pH	EC	CEC	K	P	Si	Fe	Cu	Mn	Zn
				قابل جذب			قابل استخراج با DTPA			
		dS/m	$cmol^+/kg$	mg/kg						
لوم شنی	۸/۵	۲/۳۱	۱۵/۰۶	۸۹/۲	۱۸/۲	۲۰/۱۶	۳/۱۲	۱/۰۲	۷/۶	۰/۶

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، غلظت سیلیسیم در اندام‌هوایی و ریشه و فاکتور انتقال سیلیسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر سطوح سیلیسیم و ارقام گندم بر صفات مورد بررسی

منابع دگرگونی	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	غلظت سیلیسیم اندام هوایی	غلظت سیلیسیم ریشه	فاکتور انتقال سیلیسیم
سیلیسیم سطوح	۵	۱/۴۷۳**	۰/۳۷۱**	۰/۰۳۲**	۰/۲۳۹**
رقم گندم	۶	۱/۶۰۳**	۰/۰۱۳**	۰/۲۸۳**	۰/۰۷۲**
رقم گندم× سطوح سیلیسیم	۳۰	۰/۲۵۹**	۰/۰۰۷**	۰/۰۶۹**	۰/۰۲۱**
خطا	۸۴	۰/۰۹۲	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات	-	۱۳/۵	۵/۹۱	۸/۹۱	۱۰/۷

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ns غیر معنی‌دار

نتایج مقایسه اثر کاربرد سیلیکات پتاسیم و نانوذرات سیلیس بر میانگین مربوط به وزن خشک اندام‌هوایی، غلظت سیلیسیم در اندام‌هوایی و ریشه، مقدار کل سیلیسیم جذب شده در اندام‌هوایی و فاکتور انتقال سیلیسیم در جدول (۳) آورده شده است. با توجه به نتایج موجود در این جدول، وزن خشک اندام‌هوایی در شرایط عدم‌کاربرد سیلیسیم، اختلاف آماری معنی‌داری را نسبت به کاربرد آن به جز در تیمارهای ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سیلیکات‌پتاسیم و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذره سیلیس نشان نداد که به‌علت نقش سیلیسیم در تولید بیوماس بیشتر از طریق افزایش عملکرد و پارامترهای رشدی و همچنین افزایش فراهمی سایر عناصر برای گیاهان و تعدیل کمبود سایر موادغذایی، نتایج کاملا منطقی می‌باشد (Ahmad et al., 2013).

جدول ۳- اثر منبع تأمین سیلیسیم بر صفات مورد بررسی

	شاهد	سیلیکات پتاسیم ۲۰۰	سیلیکات پتاسیم ۴۰۰	سیلیکات پتاسیم ۱۰۰۰	نانو سیلیس ۵۰	نانو سیلیس ۱۰۰
وزن خشک اندام هوایی (گرم)	۲/۰۹^{C}	۲/۰۶^{C}	۲/۱۰^{C}	۲/۷۲^{A}	۲/۰۱^{C}	۲/۴۱^{B}
غلظت سیلیسیم در اندام هوایی (درصد)	۰/۴^{E}	۰/۴^{E}	۰/۴۴^{D}	۰/۴۹^{C}	۰/۷۲^{A}	۰/۶۳^{B}
غلظت سیلیسیم در ریشه (درصد)	۰/۸۷^{C}	۰/۸۸^{C}	۱/۰^{B}	۱/۰^{B}	۱/۱^{A}	۱/۱^{A}
فاکتور انتقال سیلیسیم	۰/۴۶^{C}	۰/۴۵^{C}	۰/۴۴^{C}	۰/۵۱^{B}	۰/۶۶^{A}	۰/۵۸^{B}

حروف انگلیسی در جدول نشان‌دهنده‌ی اثر منبع تأمین سیلیسیم در سطح ۵ درصد می‌باشند.

نتایج مربوط به غلظت سیلیسیم در اندام‌هوایی نشان‌دهنده‌ی افزایش مقادیر سیلیسیم با کاربرد سیلیکات پتاسیم و نانوذرات سیلیس 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 نانوسیلیس همچنان نشان‌دهنده‌ی کاهش معنی‌داری می‌باشد. در مورد غلظت سیلیسیم در ریشه نتایج مشابه روند تغییرات غلظت سیلیسیم در اندام‌هوایی بود چنان‌که بررسی نتایج غلظت سیلیسیم در ریشه نیز نشان داد که نانوذرات سیلیس در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مقدار غلظت سیلیسیم ریشه را به‌ترتیب به میزان ۲۶ و ۱۰ درصد نسبت به شاهد و بالاترین سطح کاربرد سیلیکات پتاسیم به طور معنی‌داری افزایش دادند. توانایی نانوسیلیس نسبت به سایر سیلیکات پتاسیم در تغییر غلظت سیلیسیم در اندام‌های هوایی و ریشه به سبب اندازه‌ی نانوذرات و داشتن سطح ویژه بالا، ذرات فعال و واکنش‌پذیر، قابل توجیه است.

میانگین مقادیر فاکتور انتقال سیلیسیم که معرف نسبت غلظت سیلیسیم در اندام‌هوایی به ریشه گیاه می‌باشد نیز در جدول (۳) ارائه گردیده است. نتایج این جدول افزایش این شاخص را در سطح کاربرد ۱۰۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم در کیلوگرم خاک از منبع سیلیکات‌پتاسیم (۰/۵۱) نسبت به سطوح پایین‌تر و عدم کاربرد آن نشان داد با این‌حال همچنان مقادیر مربوط به کاربرد نانوسیلیس نسبت به سطوح مختلف سیلیکات‌پتاسیم در بالاترین سطح قرار داشت.

نتیجه‌گیری

سیلیسیم نقش مهمی در تعادل جذب، انتقال و توزیع عناصر معدنی در گیاهان ایفا می‌کند به طوری‌که می‌تواند سبب بهبود رشد گیاهان شود. با این حال تحقیقات بیشتری برای درک رفتار سیلیسیم و چگونگی اثر آن بر بهبود متابولیسم رشد گیاه به واسطه‌ی سهولت جذب سیلیسیم از خاک و انتقال آن در گیاه ضروری است. نتایج حاصل از این پژوهش در تأیید یافته‌های سایر مطالعات، استدلالی بر افزایش غلظت سیلیسیم در اندام‌هوایی با افزایش غلظت سیلیسیم در محلول خاک می‌باشد. نتایج نشان داد که کاربرد سطوح مناسب سیلیسیم می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های عملکردی از جمله افزایش زیست‌توده گیاه در بخش اندام‌هوایی گردد. همچنین با افزودن سطوح سیلیسیم افزایش جذب سیلیسیم توسط ریشه مشاهده گردید که به تبع موجب افزایش غلظت سیلیسیم اندام‌هوایی شد. در همین راستا فاکتور انتقال سیلیسیم نیز با کاربرد بالاترین سطح سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیس افزایش یافت. نظر به اینکه بهره‌گیری از نانوسیلیس اثر قابل مشاهده‌ای بر غلظت سیلیسیم در ریشه و اندام‌هوایی و همچنین انتقال آن از ریشه به اندام هوایی نسبت به سیلیکات پتاسیم نمایان نمود چنین استنباط می‌گردد که کارایی نانوسیلیس حتی در غلظت‌های کم با غلظت زیاد سیلیکات‌پتاسیم قابل مشاهده و جایگزینی می‌باشد. در مورد تأثیر نانوسیلیس تحقیقات اندکی انجام شده است و از آنجا که مکانیزم اصلی اثر نانوذرات هنوز ناشناخته است، پژوهش‌های بیشتری نیاز است که به بررسی مکانیزم جذب و انتقال نانوذرات در گیاه بپردازد.

منابع

کرملاچعب، ع. و قرینه، م. ح. (۱۳۹۳). تأثیر کمبود آب قابل دسترس و غلظت سیلیسیم محلول غذایی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و رشد گیاه گندم. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، سال پنجم، شماره ۲۰.

Ahmad, A., Afzal, M., Ahmad, A., Tahir, M. 2013. Effect of foliar application of silicon on yield and quality of rice (Oryza Sativa L). Cercetari agronomice in Moldova. 46(3), 21-28.

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

Epstein. E. 1999. Annual review of plant physiollogy and plant molecular biology. Silicon. 50, 641–664.

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

Haghighi, M., Afifipour, Z. and Mozafariyan, M. 2012. The effect of N-Si on tomato seed germination under salinity levels. Journal of Biological and Environmental Sciences. 6(16), 87-90.

Jiang, H., Manolache, S., Wong, A. C. L. and Denes, 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, 1411-1422.

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, 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.

Nikolic, M., Nikolic, N., Liang, Y., Kirkby, E. A. and Römheld, V. 2007. Germanium-68 as an adequate tracer for silicon transport in plants. Characterization of silicon uptake in different crop species. Plant Physiology. 143, 495–503.

Perez, J., Bax, L., Escolano, C. 2004. Roadmaps at 2015 on nanotechnology application in the sectors of: materials, health and medical systems, energy. Report prepared by Willems &van den Wildenberg.

16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019

Topic for submission: Novel Technologies in Soil Science

Absorption and Accumulation of Silicon in wheat by Application of Potassium Silicate and Silica Nanoparticles

Saberian Ranjbar [*1], S., Motesharezadeh [2], B., Moshiri, F.[3] Alikhani, H.A.[4]

[1] PhD graduated, Soil Science Department University of Tehran
[2] Associate Prof., Soil Science Department University of Tehran
[3] Assistant prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Extension and Education Organization
[4] Professor, Soil Science Department University of Tehran

Abstract

With the advent of science, the use of nanotechnology in plant nutrition issues has attracted researchers due to the high efficiency of nanoparticles absorbed by the plant. Therefore, a study was conducted to compare the effect of potassium Silicate and silica nanoparticles on the absorption and transfer of the element of silicon by wheat in the research greenhouse of the Department of Soil Science Engineering, University of Tehran. This study was conducted in a completely randomized design with a factorial arrangement with two factors including silicon in six levels (control, potassium silicate with application levels of 200, 400 and 1000 mg/kg soil, and silica nanoparticles with application levels of 50 and 100 mg/kg soil) and seven wheat cultivars (Gonbad, Shiroudi, Shiraz, Mahdavi, Marvdasht, Bahar and Parsi) were carried out in three replications. The results showed that the application of silicon in different levels and sources, wheat cultivars and their interaction was significant on dry weight of shoot, silicon concentration in the shoot and root and transfer factor of silicon ($p \leq 0.01$). Increasing the absorption of silicon by roots and transferring it to the shoot was observed by using nanosilica against potassium silicate. As the addition of 100 mg/kg of silica nanoparticle increased the concentration of silicon in the root and the shoot was 28.5% and 10%, respectively, compared to the application of 1000 mg/kg of potassium silicate.

Keywords: Silicon, Potassium Silicate, Silica Nanoparticles, Absorption, Transfer Factor

[*] Corresponding author, Email: saberian@ut.ac.ir