نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و دوم، شماره یکم، ۱۳۹٤
http://jopp.gau.ac.ir

بررسی نقش تغذیه‌ای نانو ذرات سیلیسیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و تولید ریزغده سیب‌زمینی

***بیژن سعادتیان[۱] و محمد کافی[۲]**

[۱]دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
[۲]استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۲٦

چکیده

آزمایشی به‌منظور بررسی نقش تغذیه‌ای نانو ذرات سیلیسیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و تولید ریز غده سیب‌زمینی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در محیط آبکشت (هیدروپونیک) در دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیمارها شامل اندازه ذرات سیلیکات سدیم (نانو و میکرو) و غلظت‌های صفر، ۰/۳، ۰/٦ و ۰/۹ میلی‌مولار بود. در صفات هدایت روزنه‌ای، حداکثر فلورسانس کلروفیل، عملکرد کوانتومی فتوسیستم Π، عملکرد و تعداد ریزغده در بوته، تیمار ۰/۳ میلی‌مولار سیلیکات سدیم به‌ترتیب سبب افزایش ۸/۳، ٦/۱، ۲/٦، ۲٦/٦ و ۳٤/۵ درصدی شد، و از این نظر در بین تیمارها بیشترین تاثیر مثبت را دارا بود. اما شاخص کلروفیل برگ تا سطح ۰/٦ میلی‌مولار افزایش معنی‌دار داشت. در غلظت‌های ۰/٦ و ۰/۹ میلی‌مولار، مصرف نانو ذرات بر عملکرد کوانتومی فتوسیستم Π اثر منفی داشت. در هر سطح غلظت، تاثیر مثبت نانو ذرات بر شاخص پایداری غشا بیشتر از ذرات میکرو بود و تنها در بالاترین غلظت، بین دو ذره تفاوت آماری مشاهده نشد. عملکرد ریزغده با افزایش غلظت ذرات میکرو به‌طور معنی‌داری بیشتر شد. اما تاثیر مثبت ذرات نانو بر صفت یاد شده تا سطح ۰/۳ میلی‌مولار بود. به‌طورکلی اثرات مثبت کاربرد نانو ذرات به دلیل کارایی جذب بالا، در غلظت‌های پایین ظهور یافت. اما در سطوح بالاتر، بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد سیب‌زمینی اثرات فیتوتوکسینی داشت.

واژه‌های کلیدی: پایداری غشا، عملکرد کوانتومی، محتوای رطوبت نسبی، هدایت روزنه‌ای.

*نویسنده مسئول: bijan.saadatian@stu-um.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

سیلیسیم دومین عنصر معدنی موجود در پوسته زمین است، به گونه‌ای که در حدود ۲۷/۳ درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهد (اپشتاین، ۱۹۹۹). در محلول خاک، سیلیسیم به‌صورت اسید مونوسیلیسیک یافت می‌شود و به همین شکل نیز جذب گیاه می‌گردد (راون، ۱۹۸۳؛ ریچموند و سوسمان، ۲۰۰۳). تاکنون نقش سیلیسیم در زیست‌شناسی گیاهی به‌طور کامل روشن نشده است و مطالعاتی برای کشف ارتباط سیلیسیم با فعالیت‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی در حال انجام می‌باشد (تونا و همکاران، ۲۰۰۸). هرچند سیلیسیم در بسیاری از گیاهان زراعی عنصری ضروری برای رشد محسوب نمی‌شود، اما اثرات سودمندی بر رشد و نمو گیاهان دارد (اپشتاین، ۱۹۹۹؛ حقیقی و پسرکلی، ۲۰۱۳).

تاثیر سیلیسیم در تعدیل بسیاری از تنش‌های محیطی از جمله شوری (هو و اشمیدهالتر، ۲۰۰۵؛ رومرو–آراندا و همکاران، ۲۰۰٦؛ تونا و همکاران، ۲۰۰۸؛ حقیقی و پسرکلی، ۲۰۱۳) و خشکی (هو و اشمیدهالتر، ۲۰۰۵؛ شن و همکاران، ۲۰۱۰) به اثبات رسیده است. همچنین در بهبود کارایی مصرف آب گیاه (هو و اشمیدهالتر، ۲۰۰۵؛ رومرو–آراندا و همکاران، ۲۰۰٦؛ حقیقی و پسرکلی، ۲۰۱۳)، مقاومت به آفات و بیماری‌ها (چریف و بلانگر،۱۹۹۲؛ اپشتاین، ۱۹۹۹؛ سان و همکاران، ۲۰۰۵) و افزایش فتوسنتز و کاهش اختلالات فیزیولوژیک (تونا و همکاران، ۲۰۰۸؛ رومرو–آراندا و همکاران، ۲۰۰٦؛ شن و همکاران، ۲۰۱۰؛ حقیقی و پسرکلی، ۲۰۱۳) نقش موثری ایفا می‌نماید. به نظر می‌رسد که رسوب سیلیسیم در دیواره سلولی موجب افزایش استحکام و تقویت دیواره می‌گردد (اپشتاین، ۱۹۹۹). و به دنبال آن پایداری غشاهای زیستی را موجب می‌شود (لیانگ و همکاران، ۱۹۹٦؛ حقیقی و پسرکلی، ۲۰۱۳). به‌طوری‌که یافته‌های تونا و همکاران (۲۰۰۸) حاکی از تاثیر معنی‌دار سیلیسیم بر کاهش درصد نشت الکترولیت و افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ گندم (*Triticum aestivum* L.) در هر دو شرایط تنش و عدم تنش بود. هرچند مصرف سیلیسیم توسط شن و همکاران (۲۰۱۰) در شرایط عدم تنش تاثیر معنی‌داری بر محتوای رطوبت نسبی برگ سویا (*Glycine max* L.) نداشت، اما در شرایط تنش خشکی و اشعه UV-B سیلیسیم سبب افزایش محتوای آب برگ نسبت به تیمارهای فاقد سیلیسیم گردید. همچنین گزارش‌ها نشان داده که سیلیسیم باعث افزایش ضخامت، سفتی و ایستادگی برگ‌های گیاه شده و نفوذ نور به تاج پوشش را تسهیل می‌نماید (ساموئلز و همکاران، ۱۹۹۳؛ رافی و اپشتاین، ۱۹۹۷).

Archive of SID

www.SID.ir

در بررسی انجام شده پیرامون اثر سیلیسیم بر ارقام گندم، محتوای کلروفیل a، b و مجموع آنها در برگ به طور معنی‌داری افزایش یافت و بیشترین تاثیر سیلیسیم در شرایط عدم تنش در غلظت ۰/۲۵ میلی‌مولار سیلیسیم حاصل گردد. اما با اعمال تنش شوری، سطح ۰/۵ میلی‌مولار سیلیسیم بر صفات یاد شده بیشترین تاثیر را داشت (تونا و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین مطالعه حقیقی و پسرکلی (۲۰۱۳) بر روی گیاه گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) نشان داد که در شرایط شور و غلظت ۰/۱ میلی‌مولار، نانو ذرات سیلیسیم در مقایسه با ذرات میکرو تاثیر مثبت بیشتری بر محتوای کلروفیل برگ داشت.

محقق و همکاران (۲۰۱۰) دریافتند که با افزودن سیلیسیم به محلول غذایی در محیط آب کشت صفات وزن خشک ریشه و شاخساره، طول ریشه و ارتفاع خیار (*Cucumis sativus* L.) نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. همچنین تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم در صفات مورد بررسی وجود نداشت. از این رو آنان غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم را برای بهبود رشد و عملکرد خیار مطلوب دانستند. سان و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که تغذیه بهینه سیلیسیم سبب افزایش رشد و توسعه حجمی و وزنی ریشه‌ها می‌شود که در نهایت، سطح کل جذب کننده عناصر افزایش می‌یابد. چریف و بلانگر (۱۹۹۲) نیز گزارش کردند که کاربرد ۱۰۰ الی ۲۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم در لیتر به طور قابل ملاحظه‌ای عملکرد خیار را افزایش داد.

تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) به دلیل توسعه بیماری‌های ویروسی از طریق کشت غده‌های بذری آلوده، با نقصان شدید روبرو شده است (سلیمی و همکاران، ۲۰۱۰). در حال حاضر ریز ازدیادی یکی از روش‌های جدید برای تکثیر غده‌های بذری است که بسیار انعطاف‌پذیر بوده و منجر به تولید مقدار زیادی ریزغده سیب‌زمینی عاری از بیماری‌های خاکزی می‌شود (سلیمی و همکاران، ۲۰۱۰؛ اُزترک و یلدیرم، ۲۰۱۰). این روش با توجه به آنکه در محیط کنترل شده و استریل انجام می‌گیرد، قابلیت تولید گیاهچه‌های عاری از ویروس با ۱۰۰ درصد اطمینان را داراست (کانوال و همکاران، ۲۰۰۶). ریزغده‌ها برای تولید بذر کلاس برتر سیب‌زمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند و با تکثیر آنها، غده‌های بذری تولید می‌گردد (اُزترک و یلدیرم، ۲۰۱۰). پرورش گیاهچه‌های سیب‌زمینی جهت تولید ریزغده در محیط هیدروپونیک و بسترهای کشت صورت می‌گیرد. در این روش، هرچند بوته‌های سیب‌زمینی با محلول‌های غذایی تغذیه شده و تمامی عناصر ضروری برای رشد آنها تامین می‌گردد، اما مصرف عنصر سیلیسیم در محلول‌های غذایی جایگاهی ندارد.

Archive of SID

www.SID.ir

امروزه توسعه فن‌آوری موجب توسعه کاربرد مواد نانو در رشته‌های مختلف علمی و صنعتی شده است. اما در بخش کشاورزی به‌دلیل احتیاط‌های موجود، پیشرفت با روند کندی همراه است (دایتز و هرس، ۲۰۱۱؛ حقیقی و پسرکلی، ۲۰۱۳). چون ریزغده‌های سیب‌زمینی مصرف خوراکی توسط انسان و دام ندارند و بذرهای تولیدی پس از چند نسل تکثیر در مزرعه در اختیار کشاورزان قرار خواهند گرفت، از این رو استفاده از ترکیبات نانو در فرایند تولید بذر اولیه می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به اثرات سودمند سیلیسیم در افزایش مقاومت و توانایی گیاه برای تولید، به نظر می‌رسد که استفاده از آن در محلول غذایی برای تولید ریزغده سیب‌زمینی مفید خواهد بود. هدف از این تحقیق بررسی اثر کاربرد سیلیسیم در محلول غذایی بر شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد ریزغده سیب‌زمینی و همچنین مقایسه کارایی ذرات نانو و میکرو سیلیسیم در تولید سیب‌زمینی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۲ انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل اندازه ذرات نمک سیلیکات سدیم در دو سطح نانو و میکرو و غلظت متاسیلیکات سدیم (Na_2SiO_3) در چهار سطح صفر، ۰/۳، ۰/٦ و ۰/۹ میلی‌مولار بود.

از طریق کشت گره‌های دارای جوانه جانبی سیب‌زمینی رقم آگریا در محیط درون شیشه‌ای، گیاهچه‌های عاری از عوامل بیماری‌زا و یکسان از نظر اندازه تهیه شد. جهت تطابق گیاهچه‌های تولیدی با محیط طبیعی، پس از خارج کردن از محیط کشت، آنها را در بستر کوکوپیت تهیه شده قرار داده و ضمن تامین رطوبت مورد نیاز، به مدت یک هفته در محیط گلخانه قرار گرفتند. سپس به بستر کشت با ترکیب پرلیت، کوکوپیت و ماسه به نسبت‌های ٤:۳:۳ منتقل شدند. نیمی از بستر در زمان نشاء و نیم دیگر آن در دو مرحله به منظور خاک‌دهی پای بوته استفاده شد. هر بوته در یک گلدان پلاستیکی با قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر قرار گرفت و هر تکرار شامل چهار گیاهچه بود.

در طول فصل رشد هر هفته یک بار گیاهچه‌های سیب‌زمینی با محلول غذایی هوگلند تصحیح شده حاوی تیمارهای غلظت سیلیکات سدیم، تغذیه شدند. دمای روز و شب گلخانه به‌ترتیب ۲±۲٤ و

Archive of SID

www.SID.ir

۱۸±۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ٤٠ درصد تنظیم شده بود (حقیقی و پسرکلی، ۲۰۱۳). جهت تنظیم نور مورد نیاز از سیستم خودکار سایه‌بان گلخانه‌ای استفاده شد.

فرایند تولید نانو ذرات سیلیکات سدیم در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی انجام شد. تعیین اندازه ذرات نمونه اولیه و خرد شده با دستگاه اندازه‌گیری ذرات[1] مدل $VASCO_3$ ساخت شرکت Cor Douan فرانسه (دقت اندازه‌گیری در بازه ٦ میکرون تا ۱ نانومتر) انجام شد. از آب به‌عنوان حلال قطبی در این فرایند استفاده شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری ذرات در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج تعیین میانگین اندازه ذرات نانو و میکرو سیلیکات سدیم

نوع ذره	میانگین اندازه ذرات (نانومتر)
نانو	٦٨/٧
میکرو	۲۳۷۱

در پایان هفته ششم همزمان با آغاز مرحله غده‌دهی، اندازه‌گیری متغیرهای فیزیولوژیک انجام شد. شاخص کلروفیل چهار برگ فوقانی توسعه یافته هر گیاهچه توسط دستگاه کلروفیل‌متر (Konica Minolta Spad-502) ثبت و میانگین اعداد چهار گیاهچه برای هر واحد آزمایشی منظور گردید. اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل برگ‌ها توسط دستگاه فلورومتر مدل OS1-FL در شرایط نوری انجام و متغیرهای حداقل فلورسانس کلروفیل (F_s)، حداکثر فلورسانس کلروفیل (F_{ms}) و عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو ($\Phi PS\Pi$) در شرایط تطابق نوری از طریق معادله ۱ بدست آمد (مکسول و جانسون، ۲۰۰۰).

$$\Phi PS\Pi = \frac{Fms - Fs}{Fms}$$ معادله (۱)

هدایت روزنه‌ای برگ‌ها نیز توسط دستگاه پرومتر دستی مدل SC-1 تعیین شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۰ تا ۱۲ انجام گرفت. محتوای رطوبت نسبی برگ توسط معادله ۲ تعیین شد (محسن زاده و همکاران، ۲۰۰٦).

$$RWC = \frac{Wf - Wd}{Wt - Wd} \times 100$$ معادله (۲)

1- Particle Size

Archive of SID

www.SID.ir

در این معادله Wf وزن تر اولیه برگ، Wd وزن خشک برگ پس از ٤٨ ساعت قرار گرفتن در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد و Wtوزن تر برگ در حالت تورژسانس پس از ۲٤ ساعت غوطه ور شدن در آب مقطر بود.

جهت تعیین شاخص پایداری غشای سلولی از هر بوته یک برگ جوان توسعه یافته جدا و به مدت ۲٤ ساعت در داخل ویال‌های حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفت. سپس هدایت‌الکتریکی اولیه (EC_1) توسط دستگاه EC متر ساخت شرکت جنوی[1] مدل٤٥١٠، اندازه‌گیری شد. در ادامه ویال‌ها به مدت یک ساعت در دمای ۱۲۳ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۵ بار اتوکلا شده و پس از سردشدن، هدایت‌الکتریکی ثانویه (EC_2) قرائت شد. در نهایت شاخص پایداری غشاء توسط معادله ۳ بدست آمد (سایرام، ۱۹۹٤).

$$MI = [(1-(EC2-EC1)] \times 100$$ معادله (۳)

پس از ۹۰ روز از کاشت، بوته‌ها برداشت شدند و صفات تعداد استولن و ریزغده در بوته، میانگین وزن ریزغده، میانگین طول و عرض و عملکرد ریزغده در بوته تعیین شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین صفات با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده (FLSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. رسم نمودارها با صفحه‌گستر Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

اثر اندازه ذرات سیلیکات سدیم در صفات حداکثر فلورسانس کلروفیل (F_{ms})، عملکرد کوانتومی فتوسیستم Π (ΦPSΠ) و شاخص پایداری غشای سلولی معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقادیر F_{ms} و عملکرد کوانتومی فتوسیستم Π در تیمار ذرات میکرو بدست آمد (جدول ۳). اما پایداری غشای برگ‌های تیمار شده با ذرات نانو سیلیکات سدیم در مقایسه با ذرات میکرو، ۲/۹ درصد بیشتر بود و از این نظر تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). کاربرد غلظت‌های مختلف سیلیکات سدیم در صفات شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، F_{ms}، عملکرد کوانتومی و شاخص پایداری غشای برگ سیب‌زمینی تاثیر معنی‌داری به همراه داشت (جدول ۲).

1- Jenway

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، فلورسانس کلروفیل، عملکرد کوانتومی، محتوای رطوبت نسبی و شاخص پایداری غشای سلولی برگ سیب زمینی تحت تاثیر اندازه ذره و غلظت سیلیکات سدیم.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)						
		شاخص کلروفیل	هدایت روزنه‌ای	F_s	F_{ms}	عملکرد کوآنتومی	محتوای رطوبت نسبی	شاخص پایداری غشای سلولی
تکرار	۲	۱۸/۵۱*	۹۹/۸۳**	۹۸/٦۷^{ns}	۲۳۵۷**	۰/۰۰۱۲**	٤/۵۸^{ns}	۳/۰۵^{ns}
اندازه ذرات (D)	۱	۲/۱۰^{ns}	۰/۳۸^{ns}	۱/۲٦^{ns}	۱۷۳٤*	۰/۰۰۰٤*	۱/۲٤^{ns}	۵۰/٦٦**
غلظت (M)	۳	۱۳/۳۳*	۲٦/٤٦*	۷/۰۱^{ns}	۱۵۲۰*	۰/۰۰۰٤*	۳٤/۳٦^{ns}	۲٤٤/۱۸**
D×M	۳	۱/۷۷^{ns}	۱/۸۲^{ns}	۱۷/۹۵^{ns}	۳۰۰^{ns}	۰/۰۰۰۲*	۵/۰٦^{ns}	۱۳/۱٦*
خطا	۱٤	۲/۵٦	۸/٦٤	۲۸/۲۸	۳۵۲	۰/۰۰۰۰۷	۲۱/۹۹	۲/۵۷
C.V (درصد)	-	٤/۸	٤/٦	۳/۰	۳/۱	۱/۲	٦/۲	۲/۵

ns، * و ** به‌ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشد.

شاخص کلروفیل برگ در غلظت ۰/٦ میلی‌مولار سیلیکات سدیم نسبت به شاهد (سطح صفر) افزایش معنی‌داری نشان داد. اما مصرف بالاترین غلظت سیلیکات سدیم، سبب افت شاخص کلروفیل برگ نسبت به این تیمار شد، به‌طوری‌که با شاهد تفاوت آماری نداشت (جدول ۳). محققان سیلیسیم را عامل موثر در افزایش تولید آنزیم رابیسکو دانسته‌اند (آدتینا و همکاران، ۱۹۸٦). همچنین تاثیر مثبت سیلیسیم بر محتوای کلروفیل برگ به اثبات رسیده است (تونا و همکاران، ۲۰۰۸؛ شن و همکاران، ۲۰۱۰؛ حقیقی و پسرکلی، ۲۰۱۳). از این رو به احتمال زیاد افزایش فعالیت چرخه کالوین در اثر افزایش آنزیم رابیسکو، کمبود سوبسترای لازم برای چرخه را به دنبال داشته که در پی آن ساخت رنگدانه‌های فتوسنتزی و در راس آن‌ها محتوای کلروفیل در واحد سطح برگ برای تامین انرژی لازم، افزایش یافته است. رومرو-آراند و همکاران (۲۰۰٦) گزارش کردند که مصرف سیلیسیم در شرایط عدم تنش، محتوای آب گیاه را کاهش می‌دهد. از این رو وجود همبستگی منفی و معنی‌دار (*۰/٤۹-) بین شاخص کلروفیل و رطوبت نسبی برگ (جدول ۵) می‌تواند نشان دهنده کاهش رطوبت نسبی برگ در اثر مصرف سیلیسیم و به دنبال آن افزایش غلظت رنگدانه‌ها در واحد سطح باشد. به نظر می‌رسد که دو عامل فوق به تنهایی یا همراه با هم بر بهبود این شاخص تاثیر گذار بوده‌اند. در بالاترین غلظت سیلیسیم، کلروفیل برگ کاهش یافت. از این نتایج چنین بر می‌آید که خاصیت فیتوتوکسینی مصرف بیش از حد سیلیسیم سبب نقصان در ساخت رنگدانه‌های فتوسنتزی شده و در پی آن، این شاخص با

Archive of SID

www.SID.ir

کاهش همراه بوده است. نتایج بررسی محتوای کلروفیل گوجه فرنگی در شرایط طبیعی توسط حقیقی و پسرکلی (۲۰۱۳) نیز حاکی از اثر منفی ذرات سیلیسیم و به خصوص نانو ذرات آن بر صفت مزبور بود که با یافته‌های حاصل از این آزمایش مطابقت داشت.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده برگ سیب‌زمینی تحت تاثیر اندازه ذره و غلظت سیلیکات سدیم.

	صفت				
تیمار	شاخص کلروفیل	هدایت روزنه‌ای (میلی‌مول آب بر مترمربع بر ثانیه)	F_{ms}	عملکرد کوآنتومی	پایداری غشای سلولی (درصد)
اندازه ذره					
میکرو	۳۲/۷۵	٦٤/٤	٦۲۲/۱	۰/۷۱۷	٦۲/۸
نانو	۳۳/۳۵	٦٤/۲	٦۰۵/۱	۰/۷۰۸	٦۵/۷
LSD- 5%	۲/۱٤	۲/٦	۱٦/٤	۰/۰۰۷	۱/٤
غلظت‌سیلیکات‌سدیم (mM)					
۰	۳۱/۹۷	٦۱/٦	۵۹۵/۳	۰/۷۰۵	۵۵/۹
۰/۳	۳۳/۸۵	٦٦/۷	٦۳۱/۷	۰/۷۲٤	٦۳/۳
۰/٦	۳٤/۷۵	٦٤/۲	٦۰٦/۷	۰/۷۰۹	٦۷/۳
۰/۹	۳۱/٦۵	٦٤/٦	٦۲۰/۷	۰/۷۱۲	۷۰/۷
LSD- 5%	۱/۹۸	۳/٦	۲۳/۲	۰/۰۱۰	۱/۹

هدایت روزنه‌ای برگ در غلظت ۰/۳میلی‌مولار بیشترین مقدار بود و با شاهد (سطح صفر) اختلاف داشت. اما با افزایش غلظت سیلیسیم از سطح یاد شده، هدایت روزنه‌ای برگ تقلیل یافت، به‌طوری که تفاوت آماری بین سطوح ۰/٦، ۰/۹ و شاهد از این نظر مشاهده نشد (جدول ۳). برخلاف نتایج مثبت بدست آمده در این پژوهش، پژوهشگران بین غلظت ۲/۵ میلی‌مولار سیلیسیم و شاهد از نظر هدایت روزنه‌ای برگ گوجه فرنگی تفاوت آماری مشاهده نکردند (رومرو-آراندا و همکاران، ۲۰۰٦). شن و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که مصرف سیلیسیم در گیاه سویا علی‌رغم افزایش هدایت روزنه‌ای، در شرایط طبیعی تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت. مشاهدات حقیقی و پسرکلی (۲۰۱۳) حاکی از اثر منفی غلظت‌های بالای سیلیسیم بر هدایت روزنه‌ای برگ گوجه فرنگی بود. افزایش هدایت روزنه‌ای نشان دهنده توانایی گیاه برای تبادل گازی و انجام فتوسنتز در شرایط عدم تنش است

Archive of SID

www.SID.ir

(حقیقی و پسرکلی، ۲۰۱۳). همان‌طور که در نتایج نشان داده شده، همراه با افزایش شاخص کلروفیل، تبادلات گازی برگ نیز در واحد سطح افزایش یافته است. با توجه به آنکه افزایش رنگدانه‌های کلروفیلی، امکان تثبیت بیشتر دی‌اکسید کربن را فراهم می‌آورد، از این رو بهبود تبادل گازی و به دنبال آن ورود بیشتر دی‌اکسید کربن به برگ دور از انتظار نخواهد بود.

بالاترین مقادیر فلورسانس اولیه (F_{ms}) و عملکرد کوانتومی فتوسیستم Π در غلظت ۰/۳ میلی‌مولار سیلیکات سدیم بدست آمد و از این نظر افزایش معنی‌داری نسبت به شرایط عدم مصرف سیلیسیم نشان داد. اما کاربرد غلظت‌های بالاتر سیلیسیم تاثیر منفی بر صفات یاد شده داشت (جدول۳). قابلیت حداکثر فلورسانس کلروفیل بیشتر در برگ‌ها نشان‌دهنده وجود ظرفیت بالای فتوسیستم Π در آزادسازی الکترون تحت یک پالس نوری شدید است. به گونه‌ای که ظرفیت احیاء گیرنده الکترونی مانند کوئینن A (Q_A) در مقایسه با الکترون‌های آزاد شده کمتر بوده است. همچنین عملکرد کوانتومی بالا در فتوسیستم Π نشان دهنده ظرفیت بالای آزادسازی الکترون جهت تولید انرژی در چرخه نوری است (مکسول و جانسون، ۲۰۰۰). لذا از این نتایج چنین استنباط می‌شود که مصرف ۰/۳ میلی‌مولار سیلیکات سدیم سبب افزایش ظرفیت فتوسیستم Π شده است. اما غلظت‌های بالاتر آن به دلیل اثرات فیتوتوکسینی احتمالی ناشی از افزایش غلظت سیلیسیم در گیاه، عملکرد کوانتومی را کاهش داده است.

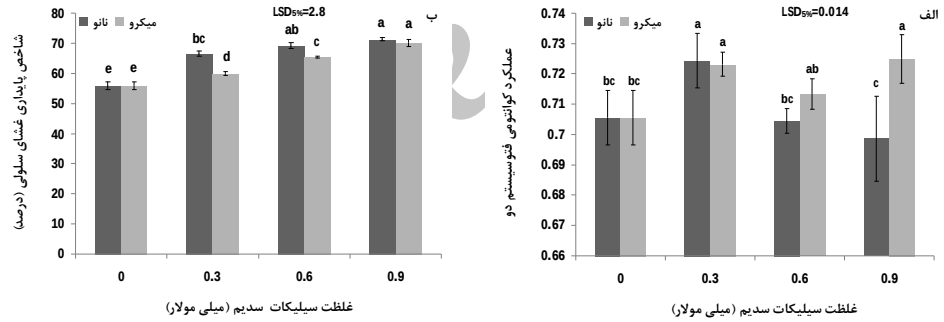
افزایش غلظت سیلیسیم سبب بهبود پایداری غشای سلولی شد. به‌طوری‌که تیمارهای ۰/۳، ۰/٦ و ۰/۹ میلی‌مولار سیلیکات سدیم نسبت به شاهد (سطح صفر) به‌ترتیب ۷/٤، ۱۱/٤ و ۱٤/۸ درصد پایداری غشای سلولی برگ را افزایش دادند (جدول ۳). افزایش پایداری غشاء سلولی با مصرف سیلیسیم در سایر مطالعات نیز گزارش شده است (تونا و همکاران، ۲۰۰۸؛ شن و همکاران، ۲۰۱۰). یافته‌ها نشان داده که سیلیسیم توسط ریشه به طور فعال با فرم مونوسیلیسیک اسید جذب شده و با جریان تعرق (غیرفعال) در گیاه حرکت کرده و به‌صورت دی اکسید سیلیسیم هیدراته[1] در دیواره سلولی و دیوارهای داخلی اندامک‌های سلولی تمامی بافت‌های گیاهی رسوب می‌کند (ریچموند و سوسمان، ۲۰۰۳). از این رو افزایش پایداری غشاء سلولی گیاهچه‌ها در اثر مصرف سیلیسیم به دلیل رسوب آن در دیواره بوده است.

1- SiO_2-nH_2O

Archive of SID

www.SID.ir

اثرات متقابل اندازه ذرات و غلظت سیلیسیم در دو صفت عملکرد کوانتومی و شاخص پایداری غشای سلولی معنی‌دار شد (جدول ۲). کاربرد غلظت ۰/۳ میلی‌مولار هر دو تیمار ذرات سیلیسیم، عملکرد کوانتومی فتوسیستم Π را نسبت به شاهد (سطح صفر) به‌طور معنی‌داری افزایش داد. اما با افزایش غلظت از سطح یاد شده، ذرات نانو تاثیر منفی معنی‌دار بر عملکرد کوانتومی داشتند، در حالی که تفاوت آماری در ذرات میکرو از این نظر مشاهده نشد و همچنان اثر مثبت و معنی‌دار استفاده از ذرات میکرو در مقایسه با شاهد وجود داشت (شکل ۱، الف). به نظر می‌رسد که ذرات نانو به دلیل کارایی جذب بالاتر، در غلظت‌های بیش از ۰/۳ میلی‌مولار موجب تاثیر فیتوتوکسینی در گیاه شده و تاثیر نامطلوب در عملکرد کوانتومی فتوسیستم Π برجای گذاشته است. همچنین می‌توان عنوان داشت که هرچند ذرات میکرو در غلظت‌های به کاربرده شده همواره تاثیر آماری مثبتی بر عملکرد کوانتومی داشت، اما غلظت ۰/۳ میلی‌مولار سیلیکات سدیم حد بهینه مصرف هر دو اندازه ذرات در صفت یاد شده بوده است.



شکل ۱- اثر متقابل اندازه ذره و غلظت سیلیکات سدیم بر عملکرد کوانتومی فتوسیستم Π (الف) و شاخص پایداری غشای سلولی برگ سیب‌زمینی (میله‌های عمودی نشان دهنده خطای استاندارد است).

اگرچه شاخص پایداری غشای سلولی با مصرف هر دو نوع ذرات سیلیسیم بهبود یافت، اما غلظت‌های پایین‌تر نانو ذرات در مقایسه با ذرات میکرو تاثیر بیشتری بر پایداری غشا داشت. به‌طوری که شاخص پایداری غشای سلولی در غلظت‌های ۰/۳ و ۰/٦ میلی‌مولار نانو ذرات نسبت به سطح صفر (شاهد) به ترتیب ٦/۷ و ۳/۸ درصد بیشتر بود و از این نظر در هر یک از سطوح یاد شده، نانو

www.SID.ir

ذرات برتری آماری داشتند (شکل ۱، ب). در بالاترین سطح تیماری، تفاوت معنی‌داری بین دو نوع ذره در صفت پایداری غشای سلولی مشاهده نشد (شکل۱، ب). از نتایج بدست آمده چنین استنباط می‌شود که غلظت‌های پایین ذرات نانو نسبت به ذرات میکرو در بهبود پایداری غشای سلولی برگ سیب‌زمینی کاراتر بوده است. نتایج حقیقی و پسرکلی (۲۰۱۳) برخلاف یافته‌های این تحقیق، حاکی از عدم تاثیر هر دو اندازه ذره (میکرو و نانو) بر پایداری غشای سلولی بود. به احتمال زیاد تفاوت در نوع ماده مورد استفاده در دو مطالعه یکی از دلایل تفاوت در نتایج حاصله بوده است.

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات تعداد استولن، تعداد ریزغده، وزن، طول و قطر ریزغده و عملکرد ریزغده در بوته سیب‌زمینی تحت تاثیر اندازه ذره و غلظت سیلیکات سدیم.

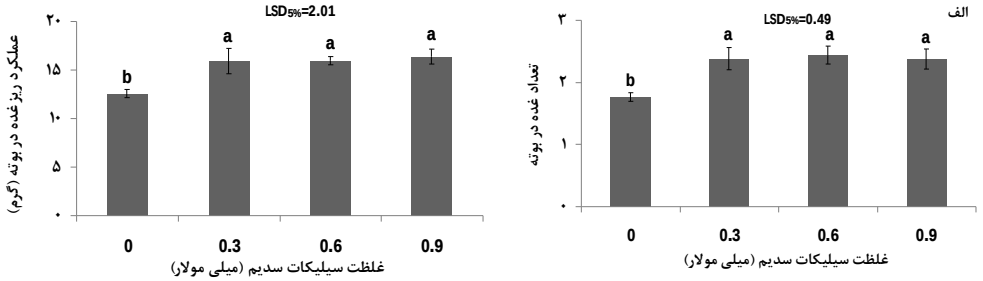
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)					
		تعداد استولن	تعداد ریزغده در بوته	وزن ریزغده	طول ریزغده	قطر ریزغده	عملکرد ریزغده در بوته
تکرار	۲	۰/۸۱^{ns}	۰/۰۵٦^{ns}	۰/۱۸۷^{ns}	۰/۰٦٤^{ns}	۰/۰٦۷^{ns}	۱/۷۳^{ns}
اندازه ذرات (D)	۱	۱/۵۱^{ns}	۰/۰۱۸^{ns}	۰/۵۱۵^{ns}	۰/۲۵۰^{ns}	۰/۰۱٦^{ns}	٦/٦۱^{ns}
غلظت (M)	۳	۰/۳۱^{ns}	۰/۵۹٦*	۰/۲٤۸^{ns}	۰/۰۳۲^{ns}	۰/۰٤۸^{ns}	۱۹/۱**
D×M	۳	۰/۲۱^{ns}	۰/۰۳۱^{ns}	۲/۰٦٤**	۰/۰٤۲^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۱۰/۷*
خطا	۱٤	۰/۷۲	۰/۱٦۱	۰/٦۳۰	۰/۱۱۸	۰/۰٤۲	۲/٦
C.V (درصد)	–	۲۵/٤	۱۷/۸	۱۱/٦	۱۱/۸	۱۰/۰	۱۰/٦

^{ns} * و ** به‌ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشد.

تیمارهای آزمایش در هیچ یک از صفات تعداد استولن، طول و قطر ریزغده اثر معنی‌داری نداشتند (جدول٤). اثر سطوح غلظت سیلیسیم تنها در صفات تعداد و عملکرد ریزغده در بوته معنی‌دار بود (جدول٤). در هر دو صفت یاد شده مصرف غلظت ۰/۳ میلی‌مولار سیلیسیم نسبت به شاهد تاثیر مثبت و معنی‌دار در پی داشت. اما با افزایش سطح سیلیسیم، تفاوت آماری بین تیمارهای سیلیسیم در صفات تعداد (شکل۲، الف) و عملکرد ریزغده در بوته (شکل۲، ب) مشاهده نشد. از این رو غلظت ۰/۳ میلی‌مولار سیلیسیم، تیمار بهینه در بهبود صفات یاد شده بود.

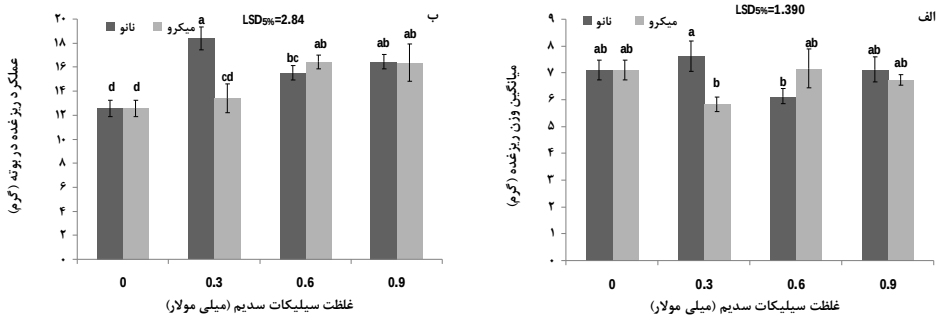
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- اثر غلظت سیلیکات سدیم بر صفات تعداد (الف) و عملکرد ریزغده در بوته (ب) سیب‌زمینی. (میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین‌ها است).

اثر متقابل اندازه ذرات و غلظت سیلیسیم در صفات وزن و عملکرد ریزغده در بوته معنی‌دار بود (جدول٤). وزن ریزغده روند خاصی را در سطوح غلظت ذرات نانو و میکرو نشان نداد و در تمامی تیمارها نسبت به شاهد (سطح صفر) تفاوت آماری مشاهده نشد (شکل ۳-الف) و تنها در تیمارهای ۰/٦ میلی‌مولار نانو و ۰/۳ میلی‌مولار میکرو نسبت به غلظت ۰/۳ میلی‌مولار نانو ذرات، کاهش آماری وجود داشت (شکل۳-الف). صفت وزن ریزغده در سیب‌زمینی تابعی از زمان ظهور استولن و مکان آن است. چون صفت مزبور دارای واریانس در بوته می‌باشد و ریزغده‌ها از نظر وزن با یکدیگر تفاوت زیاد دارند، از این رو نتایج بدست آمده می‌تواند با توجه به شرایط توصیف شده قابل توجیه باشد.



شکل۳- اثر متقابل اندازه ذره و غلظت سیلیکات سدیم بر وزن ریزغده (الف) و عملکرد ریزغده سیب‌زمینی. (میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین‌ها است).

www.SID.ir

کاربرد ذرات نانو و میکرو سیلیکات سدیم، افزایش معنی‌داری را در عملکرد ریزغده سیب‌زمینی در پی داشت (شکل۳، ب). یافته‌های سایر محققان نیز نشان دهنده تاثیر مثبت مصرف سیلیسیم بر عملکرد ماده خشک و تولید محصول بوده است (چریف و بلانگر، ۱۹۹۲؛ سان و همکاران، ۲۰۰۵؛ محقق و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین ساموئلز و همکاران (۱۹۹۳) افزایش رشد و عملکرد گیاه در حضور سیلیسیم را در نتیجه بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها در جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه مربوط دانستند. بیشترین اثر مثبت نانو ذرات سیلیسیم در تیمار ۰/۳ میلی‌مولار بدست آمد. به‌طوری‌که با افزایش غلظت از سطح یاد شده، کاربرد نانو ذرات اثر منفی در عملکرد ریزغده داشت و در تیمار ۰/٦ میلی‌مولار این اختلاف معنی‌دار بود (شکل۳، ب). هر چند با افزایش غلظت ذرات میکرو روند افزایشی در صفت عملکرد ریزغده وجود داشت، اما تنها در سطوح ۰/٦ و ۹/ میلی‌مولار نسبت به شاهد (سطح صفر) تفاوت آماری مشاهده شد (شکل۳، ب). به‌غیر از سطح ۰/۳ میلی‌مولار، در سایر غلظت‌ها بین دو اندازه ذره از نظر عملکرد ریزغده اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۳- ب).

صفات حداکثر فلورسانس کلروفیل و عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II با هدایت روزنه‌ای برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشتند (جدول۵). فلورسانس اولیه کلروفیل با عملکرد کوانتومی رابطه منفی و معنی‌داری داشت. اما حداکثر فلورسانس کلروفیل با عملکرد کوانتومی همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول۵). این نتایج با توجه به رابطه متغییرها در معادله ۱، دور از انتظار نبود. شاخص پایداری غشای سلولی با رطوبت نسبی برگ همبستگی منفی داشت. اما با صفات تعداد ریزغده در بوته و عملکرد ریزغده همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول۵). با توجه به آنکه در این پژوهش شاخص پایداری غشای سلولی با مصرف سیلیسیم افزایش نشان داد. از این رو به نظر می‌رسد که سیلیسیم از طریق بهبود این صفت، سبب افزایش عملکرد ریزغده سیب‌زمینی شده است. رطوبت نسبی برگ با صفت تعداد استولن همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. همچنین صفت تعداد استولن در بوته با تعداد ریزغده تولیدی همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول۵). با توجه به آنکه ریزغده‌ها از استولن‌ها تشکیل می‌شوند، از این رو افزایش تعداد استولن در بوته می‌تواند به طور مستقیم بر تعداد ریزغده تاثیر گذار باشد. بین طول ریزغده‌های تولیدی با عرض آنها همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول۵). همچنین صفات طول و عرض ریزغده با وزن آن نیز رابطه مثبتی در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. تعداد ریزغده در بوته با طول ریزغده و وزن آن همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. اما عملکرد ریزغده با تعداد آن همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول۵).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۵- همبستگی بین صفات فیزیولوژیک و اجزای عملکرد ریزغده سیب‌زمینی.

صفت	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
شاخص کلروفیل برگ (۱)	۱												
هدایت روزنه ای برگ (۲)	۰/۱۸^{ns}	۱											
فلورسانس اولیه (۳)	۰/۲۲^{ns}	-۰/۲۰^{ns}	۱										
حداکثر فلورسانس (٤)	-۰/۳۰^{ns}	۰/۵۰*	-۰/۰۱^{ns}	۱									
عملکرد کوانتومی (٥)	-۰/۳۷^{ns}	۰/٤٦*	-۰/۵۹**	۰/۷۹**	۱								
شاخص پایداری غشاء سلولی(٦)	۰/۱۷^{ns}	۰/۲٦^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۱۸^{ns}	۰/۰٤^{ns}	۱							
رطوبت نسبی برگ (۷)	-۰/٤۹*	-۰/۰۷^{ns}	۰/۰۳^{ns}	-۰/۱۱^{ns}	-۰/۰٤^{ns}	-۰/٤٦**	۱						
تعداد استولن در بوته (۸)	-۰/۲۳^{ns}	۰/۱۷^{ns}	-۰/۲۹^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۰/۲۱^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۰/٤٦*	۱					
طول ریز غده (۹)	۰/۱۰^{ns}	-۰/۰۱^{ns}	-۰/۰٤^{ns}	-۰/۲۲^{ns}	-۰/۱۷^{ns}	-۰/۱۱^{ns}	-۰/۰۹^{ns}	-۰/۲۸^{ns}	۱				
عرض ریزغده (۱۰)	-۰/۰۵^{ns}	۰/۳٦^{ns}	-۰/۳۱^{ns}	۰/۱۵^{ns}	۰/۲۵^{ns}	۰/۰۲^{ns}	-۰/۱٦^{ns}	-۰/۰۱^{ns}	۰/۷۳**	۱			
تعداد ریزغده در بوته (۱۱)	۰/۱۳^{ns}	۰/۳۱^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۰/۳۳^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۰/۵۸**	-۰/۰٤^{ns}	۰/٤۷*	-۰/۵۸**	-۰/۲۸^{ns}	۱		
میانگین وزن ریزغده (۱۲)	-۰/۱۵^{ns}	-۰/۱۲^{ns}	-۰/۱۷^{ns}	-۰/۰۹^{ns}	۰/۰۲^{ns}	-۰/۰۳^{ns}	-۰/۰۹^{ns}	-۰/۲۰^{ns}	۰/۷۰**	۰/٦۰**	-۰/۵۳**	۱	
عملکرد ریزغده در بوته (۱۳)	۰/۰۳^{ns}	-۰/۲٦^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۳۵^{ns}	۰/۲۵^{ns}	۰/٦۸**	-۰/۱۲^{ns}	۰/۳۸^{ns}	-۰/۱۲^{ns}	۰/۱۲^{ns}	۰/۷۵**	۰/۱۵^{ns}	۱

ns، * و ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشد.

www.SID.ir

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این پژوهش حاکی از اثر مثبت کاربرد سیلیسیم همراه با محلول هوگلند بر صفات فیزیولوژیک برگ و عملکرد ریزغده گیاهچه‌های سیب زمینی بود. در غالب موارد، غلظت‌های بالای سیلیسیم تاثیر منفی بر صفات مورد بررسی داشت و باتوجه به یافته‌ها، غلظت ۰/۳ میلی‌مولار سیلیکات سدیم حد بهینه برای تولید ریزغده سیب‌زمینی بود. ذرات نانو در مقایسه با ذرات میکرو از اثر گذاری بیشتری بر صفات اندازه‌گیری شده برخوردار بود و حتی در غلظت‌های بالا سبب کاهش در صفات عملکرد کوانتومی و عملکرد ریزغده گردید. در حالی که ذرات میکرو در غلظت‌های بالا نیز همچنان دارای تاثیر مثبت بر صفات یادشده بودند. باتوجه به نتایج چنین به نظر می‌رسد که مصرف سیلیسیم همراه با محلول غذایی در کشت هیدروپونیک گیاهچه‌های سیب‌زمینی اثر مثبت بر عملکرد ریزغده را به همراه داشته باشد و در این بین کاربرد ذرات نانو می‌تواند در افزایش کارایی جذب و اثر بر گیاه نقش موثری ایفا نماید. همچنین با توجه به کارایی بالاتر ذرات نانو کاربرد آن مستلزم دقت بیشتری است.

منابع

1.Adtina, M.H., and Beasford, R.T. 1986. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. J. Ann. Bot. 58: 343-351.

2.Cherif, M., and Belanger, R.R. 1992. Use of potassium silicate amendments in re-circulating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* on long English cucumber. J. Plant Dis. 76(10): 1008-1011.

3.Dietz, K.J., and Herth, S. 2011. Plant nanotoxicology. Trends in Plant Sci. 16 (11): 582-589.

4.Epstein, E. 1999. Silicon, Annual Review. Plant Physiol. Plant Molecular Biol. 50: 641-664.

5.Haghighi, M., and Pessarakli, M. 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherrytomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Sci. Hort. 161: 111–117.

6.Hu, Y., and Schmidhalter, U. 2005. Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. J. Plant Nut. Soil Sci. 168: 541-549.

7.Kanwal, A., Ali, A., and Shoaib, K. 2006. In vitro microtuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivar kuroda- A new variety in Pakistan. Int. J. Agri Biol. 8 (3): 337-340.

8.Liang, Y., Shen, Q., Shen, Z., and Tongsheng, M. 1996. Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. Plant Nut. 19(1):173-179.

Archive of SID

www.SID.ir

9.Maxwell, K., and Johnson, G. N. 2000. Chlorophyll fluorescence- a practical guide. J. Exp. Bot. 51: 659-668.
10.Mohaghegh, P., Shirvani, M., and Ghasemi, S. 2010. Silicon application effects on yield and growth of two cucumber genotypes in hydroponics system. J. Sci. Technol. Greenhouse Culture. 1 (1):35-40 (In Persian)
11.Mohsenzadeh, S., Malboobi, M. A., Razavi, K., and Farrahi-Aschtiani, S. 2006. Physiological and molecular responses of Aeluropuslagopoides (Poaceae) to water deficit. Environ. Exp. Bot. 56: 314–322.
12.Ozturk, G., and Yildirim, Z. 2010. A comparison of field performances of minitubers and micro tubers used in seed potato production. Turk. J. Field Crops. 15(2): 141-147.
13.Rafi, M.M., and Epstein, E. 1997. Silicon deprivation causes physical abnormalities in wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Plant Physiol. 151: 497-501.
14.Raven, J.A. 1983. The transport and function of silicon in plants. Biol. Rev. 58(2): 179-207.
15.Richmond, K.E., and Sussman, M. 2003. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. Curr. Opin. Plant Biol. 6:268-72.
16. Romero-Aranda M. R., Jurado, O., and Cuartero, J. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. J. Plant Physiol. 163: 847-855.
17.Sairam, R.K. 1994. Effect of moisture stress on physiological activities of two con-trasting wheat genotypes. Ind. J. Exp. Biol. 32: 594-597.
18.Salimi, K., Tavakol Afshari, R., and Gohari, J. 2010. Evaluation of the response of potato cultivars and various size of minitubers to the dormancy breaking methods. J. Iranian Crop Sci. 41: 163-169. (In Persian)
19.Samuels, A.L., Glass, A.D.M., Ehret, D.L., and Menzies, J.G. 1993. The effects of silicon supplementation on cucumber fruit: Changes in surface characteristics. J. Ann. Bot. 72: 433-440.
20.Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A.E., and Li, J. 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. J. Plant Physiol. 167: 2010: 1248–1252.
21.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 *cucumis sativus*. J. Plant Pathol. 54: 678-685.
22.Tuna A. L., Kaya, C., Higgs, D., Murillo-Amador, B., Aydemir, S., and Girgin, A.R. 2008. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. Environ. Exp. Bot. 62: 10-16.

Archive of SID

www.SID.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. Plant Prod. Res. Vol. 22 (1), 2015
http://jopp.gau.ac.ir

Study of nutritional role of silicon nano-particles on physiological characteristics of minituber potato production

***B. Saadatian[1] and M. Kafi[2]**
[1]Ph.D Student of Crop Physiology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, [2]Prof., Department of Agronomy and Plant breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
Accepted: 11-6-2014 ; Received: 18-10-2014

Abstract

In order to Study of nutritional role of silicon nano-particles on physiological characteristics of minituber potato production an experiment was carried out as factorial based on randomized complete blocks design with three replications in hydroponic culture at Ferdowsi University, Mashhad. Treatments were included particle size of sodium silicate (nano and micro) and concentrations in levels of 0, 0.3, 0.6 and 0.9 mM. Concentration of 0.3 mM sodium silicate has the highest positive effect on stomatal conductance, maximum chlorophyll fluorescence, quantum yield of photosystem II, yield and number of minituber per plant by 8.3, 6.1, 2.6, 26.6 and 34.5 percent increase, respectively. But, leaf chlorophyll index increased up to 0.6 mM level, significantly. At 0.6 and 0.9 mM, application of nano-particles had negative effect on the quantum yield of photosystem II. At each level of concentration, positive effect of nano-particles on membrane stability index was greater than micro particles and only at the highest concentration, there was no statistical difference between two particle sizes. Minituber yield significantly increased by increasing concentration of micro particles, but positive effect of nano-particles on mentioned trait was up to 0.3 mM. Overall, positive effects of nano-particles application due to high absorption efficiency, appeared at low concentrations, but, at higher levels it had phytotoxin effects on physiological characteristics and potato yield.

Keywords: Membrane stability; Quantum yield; Relative water content; Stomatal conductance.

*Corresponding author; bijan.saadatian@stu-um.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir