

تأثیر نانواکسید سیلیس ( $\text{SiO}_2$ ) بر پرآوری درون‌شیشه‌ای سیب رقم گالاصابر اوستان\*<sup>۱</sup> و لطفعلی ناصری<sup>۲</sup>

۱ و ۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۷/۷)

## چکیده

سیلیسیم اثر مفیدی بر رشد بسیاری از گیاهان دارد. این مطالعه با هدف بررسی اثر نانوسیلیس بر پرآوری و بهبود برخی صفات رشد سیب رقم گالا در شرایط درون‌شیشه‌ای انجام شد. به این منظور آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج سطح نانواکسید سیلیس (صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در پنج تکرار اجرا و میانگین نتایج با آزمون چنددامنه‌ای دانکن مقایسه شدند. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که با کاربرد نانوسیلیس وزن تر، وزن خشک، طول شاخه، تعداد شاخساره، تعداد گره، طول میان‌گره و شاخص کلروفیل در نمونه‌های حاوی نانوسیلیس افزایش یافت، که بیشترین افزایش‌ها در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. براساس نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد برای افزایش سرعت رشد و پرآوری ریزنمونه‌های سیب رقم گالا می‌توان از ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسیلیس در محیط کشت موراشیگ و اسگوک استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: ریزازدیادی، شاخص کلروفیل، محیط کشت موراشیگ و اسگوک.

## مقدمه

سیب با تولید ۶۴/۳ میلیون تن در سال یکی از میوه‌های مهم مناطق معتدله و یکی از سه میوه مهم در جهان بعد از موز و انگور است (FAO, 2009). سیلیسیم یکی از عناصر غذایی مفید است که بر رشد و سلامت گیاه تأثیر دارد. بسیاری از گیاهان قادر به جذب سیلیسیم هستند و مقدار جذب براساس نوع گونه گیاهی بین ۰/۱ - ۱۰ درصد وزن زیست‌توده گیاهی متغیر است (Cherif & Belanger, 1992). سیلیسیم یک عنصر مورد نیاز در تعدادی از فعالیت‌های متابولیکی و فعالیت‌های فیزیولوژیکی در گیاهان است. پژوهش‌ها نشان داده است که کاربرد کود سیلیسیوم در خاک‌هایی که کمبود سیلیسیوم دارند، می‌تواند رشد گیاه را تحریک کند. همچنین مقاومت به بیماری‌ها، سرما و مسمومیت توسط

فلزهای سنگین مانند منگنز، آهن، آلومینیوم و مس، میزان فتوسنتز را افزایش می‌دهد. کود سیلیسیم جذب پتاسیم را تحریک و جذب سدیم را محدود می‌کند و در نتیجه سبب افزایش نسبت انتخابی پتاسیم به سدیم می‌شود و تجمع پتاسیم، نیتروژن و گوگرد در گیاهان و تغذیه گیاهان را بهبود می‌بخشد (Guo, 2000; Wang, 2001; Wang, 2002a & Jiang, 2002).

فناوری نانو، هنر دستکاری مواد در مقیاس اتمی یا مولکولی با هدف در دست گرفتن کنترل آن‌ها در سطح مولکولی و اتمی و استفاده از خواص آن‌ها در این سطوح است. امید است که نانو تکنولوژی در آینده انقلاب دیگری نظیر انقلاب صنعتی را سبب شود. نانو تکنولوژی در کشت بافت، بسته‌بندی مواد غذایی و غیره استفاده می‌شود (Miller & Senjan, 2006). از

قرار داده و مایع همراه آن جداسازی و دور ریخته شد. مواد باقی‌مانده چندین بار با آب مقطر شست‌وشو شد تا نمک  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  حذف شود. پس از این مرحله رسوب را خشک کرده و با n بوتانول تقطیر شد و برای دو ساعت در کوره با دمای  $550^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد قرار داده و نانوذره  $\text{SiO}_2$  تشکیل شد. برای تأیید تشکیل ذرات در حد نانو از نمونه به‌دست‌آمده با دستگاه XRD<sup>۲</sup> تحت آزمون قرار گرفت و تأیید شد.

#### تهیه محیط کشت

محیط کشت موراشیگ و اسکوگ حاوی ویتامین و ۳۰ گرم در لیتر ساکارز به‌علاوه مقدار ۷ گرم در لیتر آگار تهیه و غلظت‌های مورد نظر از نانوذرات اکسید سیلیس به‌صورت سوسپانسیون به محیط کشت اضافه شد. هورمون‌های ایندول بوتریک اسید<sup>۳</sup> در غلظت ۰/۴۹ میکرومول بر لیتر و بنزیل آمینوپورین<sup>۴</sup> در غلظت ۴/۴۴ میکرومول بر لیتر اضافه شد و در داخل اتوکلاو با دمای  $121^\circ\text{C}$  و به‌مدت ۱۷ دقیقه در فشار ۱/۵ اتمسفر گندزایی شد. از شاخساره‌های گیاه درون‌شیشه‌ای سیب رقم گالا برای پرآوری استفاده شد. به‌منظور بررسی اثر نانواکسید سیلیس بر پرآوری و خصوصیات رشدی سیب (رقم گالا)، آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با پنج غلظت (صفر، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) نانوسیلیس در پنج تکرار انجام شد. در این آزمایش طول شاخساره‌ها به‌وسیله کولیس دیجیتالی، طول متوسط میان‌گره نیز با تقسیم طول شاخساره بر تعداد گره به دست آمد و شاخص کلروفیل به‌وسیله دستگاه کلروفیل‌متر مدل کونیکا مینولتا ۵۰۲<sup>۵</sup> برحسب شاخص SPAD اندازه‌گیری شدند. در این اندازه‌گیری برای هر واحد آزمایشی پنج برگ متوسط استفاده شد و میزان کلروفیل به‌صورت میانگین ثبت شد. وزن تر توده گیاهی و وزن خشک ریزنمونه‌ها بعد از نگهداری در دمای  $70^\circ\text{C}$  به‌مدت ۴۸ ساعت در داخل آون پس از اینکه به وزن ثابتی رسیدند، به‌وسیله ترازوی دیجیتالی

طرف دیگر بیماری‌ها یک تهدید اصلی برای تولید نهال است، نانوذرات اکسید سیلیسیم استحکام دیواره سلولی را افزایش می‌دهد (Wang, 2002b). نانوساختار اکسید سیلیسیم می‌تواند بعد از جذب، یک نور مضاعف در دیواره سلولی را شکل دهد که مانع نفوذ قارچ، باکتری و نماتد می‌شود و تعرق را کاهش می‌دهد و همچنین مقاومت به بیماری را افزایش می‌دهد و رشد گیاهان در شرایط استرس حرارت زیاد، حرارت کم، خشکی و رطوبت زیاد را بهبود می‌بخشد (Wang, 1999).

گیاهان کشت بافت‌شده در شرایط درون‌شیشه‌ای در واقع تحت شرایط غیرطبیعی و تنش‌زا قرار دارند. نور کم، غلظت پایین دی‌اکسید کربن، نبود تهویه، احتمالاً تجمع اتیلن و غلظت بالای املاح استفاده‌شده در محیط کشت، جزء شرایط تنش‌زا هستند. از این رو افزایش تحمل گیاهان درون‌شیشه‌ای به شرایط تنش‌زا می‌تواند سبب بهبود رشد و افزایش سرعت پرآوری آن‌ها شود. از آنجاکه در فرمول غذایی MS، معروف‌ترین محیط کشت استفاده‌شده در ریزازدیادی گیاهان، عنصر سیلیسیم وجود ندارد بر همین اساس در این پژوهش با افزودن عنصر سیلیسیم به شکل نانوسیلیس به محیط کشت مزبور از آن برای بهبود پرآوری درون‌شیشه‌ای سیب استفاده شد.

## مواد و روش‌ها

### تولید نانوذرات اکسید سیلیس

در این پژوهش ابتدا نانوذرات اکسید سیلیس در مرکز تحقیقات نانو فناوری، دانشگاه ارومیه تولید شد. به این صورت که ابتدا ۱۰ گرم پلی‌اتیلن گلیکول<sup>۱</sup> را در ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل کرده سپس به مقدار ۱۳/۱۴ گرم سدیم سیلیکات به آنها اضافه شد و به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار داده شد. بعد از گذشت نیم ساعت، نیم مولار اسید سولفوریک به محلول اضافه شد تا pH محلول به ۴ برسد و دوباره در حمام اولتراسونیک برای مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد تا تشکیل رسوب ژل‌مانند بدهد. ژل روی صافی

2. Ray Diffraction Analysis

3. IBA

4. BAP

5. Konica Minolta 502

1. PEG

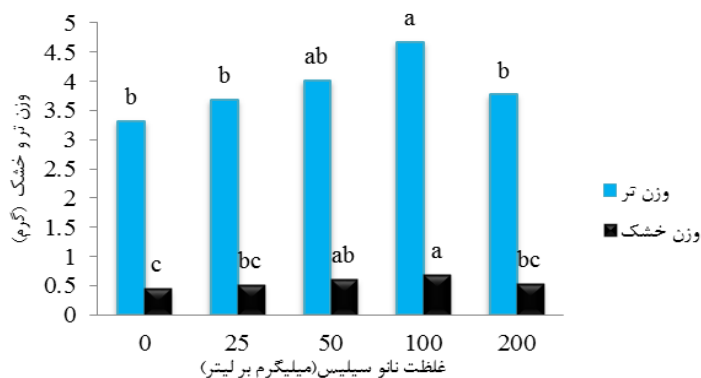
تعداد ریشه‌های فرعی افزایش یافت و بیشترین میزان کلروفیل را نیز در غلظت مناسب (500 μL. L<sup>-1</sup>) داشتند (Lin Bao *et al.*, 2004).

در این پژوهش افزودن نانوسیلیس به محیط کشت سیب سیب افزایش شاخص کلروفیل شد (شکل ۲) به طوری که در همه غلظت‌های به کاررفته نانوسیلیس در مقایسه با شاهد افزایش شاخص کلروفیل مشاهده شد. بیشترین افزایش مربوط به کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر غلظت نانوسیلیس بود. تأثیر سیلیسیم بر عملکرد گیاه ممکن است به دلیل رسوب آن در پهنک برگ، افزایش استحکام برگ‌ها و نیز افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ باشد که از این طریق توانایی گیاه برای استفاده مؤثرتر از نور را بالا می‌برد. همچنین کاربرد سیلیسیم محلول برای تولید غلظت‌های بالاتر آنزیم ریبولوز بی‌فسفات در برگ مؤثر است (Mohggeg *et al.*, 2009).

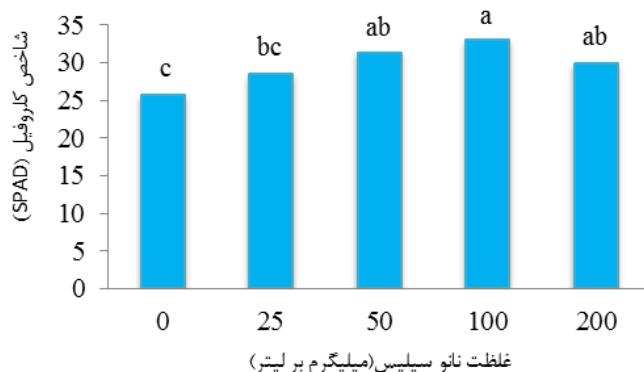
توزین شدند. داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شد و نمودارها توسط برنامه اکسل رسم شدند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد.

### نتایج و بحث

در این پژوهش با کاربرد نانوسیلیس در محیط کشت MS، میزان رشد ریزنمونه‌ها افزایش یافت و سبب افزایش وزن تر و خشک آن‌ها شد (شکل ۱). پژوهش‌ها نشان داده است که وجود سیلیسیم سبب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود که این اثر سیلیسیم به دلیل بهبود توانایی مکانیکی ساقه و برگ‌ها در جذب نور و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه است (Samuels *et al.*, 1993). همچنین اثر نانوذرات اکسید سیلیس در رشد دانه‌های کاج اروپایی، در غلظت‌های متفاوت مؤثر بود، که قطر طوقه، طول ریشه، طول ساقه و



شکل ۱. اثر غلظت‌های مختلف نانوسیلیس بر وزن تر و خشک ریزنمونه‌های درون شیشه‌ای در هر واحد آزمایشی سیب رقم گالا (\* ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معناداری در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند).

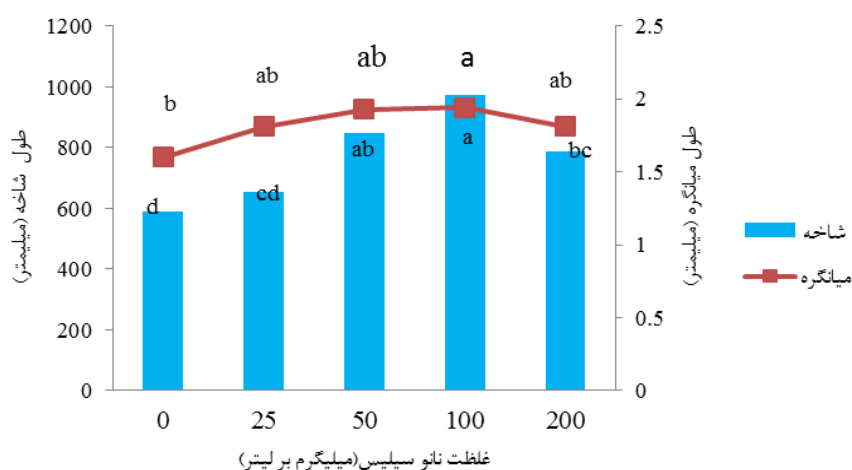


شکل ۲. اثر نانوسیلیس بر میزان کلروفیل در ریزنمونه‌های درون شیشه‌ای سیب در هر واحد آزمایشی رقم گالا (\* ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معناداری در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند).

سیلیس ربط داده‌اند (Agarie *et al.*, 1996). با مصرف سیلیس، پراکسید هیدروژن تولید شده در نتیجه شوری کاهش یافته و سیلیس سبب افزایش کلروفیل برگ و فتوسنتز در گیاهان گوجه‌فرنگی رشد یافته در شرایط تنش شد. (Al-Aghabary *et al.*, 2004).

کاربرد نانوسیلیس سبب افزایش مجموع طول شاخه‌ها شد (شکل ۳). افزایش طول شاخه عمدتاً ناشی از افزایش طول میان‌گره‌ها بود زیرا روند افزایش طول شاخه با روند افزایش طول میان‌گره مطابقت داشت و بیشترین رشد با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم نانوسیلیس در لیتر حاصل شد.

در یک پژوهش افزودن سیلیسیم به محیط رشد گیاه خیار سبب شد که مقدار کلروفیل برگ افزایش یابد و به تبع آن فتوسنتز نیز از طریق تأثیر بر فعالیت آنزیم ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز افزایش یابد (Adatia & Bestfor, 1986). همچنین سیلیسیم سبب افزایش میزان کلروفیل و فتوسنتز در چغندر لبویی شده است (Behtash, *et al.*, 2009)، که با نتایج این پژوهش سازگاری دارد. همچنین با کمبود سیلیس، مقدار کلروفیل کم شده و در نتیجه آن فتوسنتز در گیاه کاهش یافته است. دلیل این امر را به نقش سیلیس در زنجیره فتوسنتزی و ممانعت از تخریب زنجیره کلروفیلی توسط



شکل ۳. اثر نانوسیلیس بر مجموع طول شاخه و متوسط طول میان‌گره ریزنمونه‌های درون شیشه‌ای در هر واحد آزمایشی سبب رقم گالا (\*\*وجود حروف مشابه در هر سری از میانگین‌ها، نشان‌دهنده نبود اختلاف معناداری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون چنددامنه‌ای دانکن است.)

نانوذره‌های اکسید سیلیسیم، اکسید آلومینیوم، اکسید آهن و اکسید روی در علف‌گوش موشی در شرایط درون‌شیشه‌ای، به این نتیجه رسیدند که نانواکسید سیلیسیم بیش از حد مطلوب نیز می‌تواند اثر مضر هرچند به مقدار خیلی کمتر نسبت به عنصر روی (Zn) روی گیاه داشته باشد، اما به‌هر حال در غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار سبب افزایش جوانه‌زنی، افزایش طول ریشه و افزایش تعداد برگ شده بود و در ۲ هزار و ۴۰۰ میلی‌مولار اثر سمی داشت (Lee *et al.*, 2010). پژوهش‌های اخیر در آمریکا نشان داد که افزودن سیلیسیم در کشت بافت نازویان رشد دانه‌ها را تحریک می‌کند (Shan *et al.*, 2004). سیلیس سبب افزایش رشد رویشی و افزایش تولید ماده خشک

در یک پژوهش اضافه کردن سیلیسیم در غلظت‌های غذایی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، سبب افزایش غلظت این عنصر در ریشه و شاخساره خیار شد و به همین نسبت وزن خشک ریشه و شاخساره و همچنین ارتفاع شاخساره و طول ریشه به‌طور معناداری افزایش یافت و بیشترین میزان مربوط به ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود هرچند تفاوت معناداری بین ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده نشد (Mohggeg *et al.*, 2009). افزایش بیش از حد سیلیسیم، سبب کاهش رشد گیاه می‌شود که می‌تواند بر اثر سمیت غلظت زیاد نانوسیلیس در محیط کشت باشد که این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد. در پژوهش دیگری با بررسی میزان سمیت

میلی گرم نانوسیلیس بر لیتر در مقایسه با شاهد و غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر بیشتر بود (شکل‌های ۵ و ۶) که با آثار نانوسیلیس بر وزن خشک، وزن تر، شاخص کلروفیل، طول شاخه و طول میان‌گره (شکل‌های ۱-۳) مطابقت دارد. از این رو می‌توان اذعان کرد که همه این فاکتورها تحت تأثیر افزایش شاخص کلروفیل و به دنبال آن افزایش فتوسنتز و رشد بیشتر بوده است.

می‌شود و تعرق کوتیکولی را کاهش می‌دهد و بر تعداد برگ‌ها می‌افزاید (Agarie *et al.*, 1993).

از نظر تعداد شاخه‌های تولیدشده در مرحله پرآوری همه تیمارهای حاوی نانوسیلیس نسبت به شاهد تعداد شاخه‌های بیشتری داشتند در حالی که غلظت‌های مختلف نانوسیلیس به کاررفته نسبت به هم تفاوت معناداری نداشتند (شکل ۴).

تعداد گره و تعداد برگ تولیدشده در تیمار ۱۰۰



شکل ۴. اثر نانوسیلیس بر تعداد شاخه ریزنمونه‌های درون شیشه‌ای در هر واحد آزمایشی سیب رقم گالا (\* ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معناداری در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارد).



شکل ۵. اثر نانوسیلیس بر تعداد گره ریزنمونه‌های درون شیشه‌ای در هر واحد آزمایشی سیب رقم گالا (\* ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معناداری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارد).

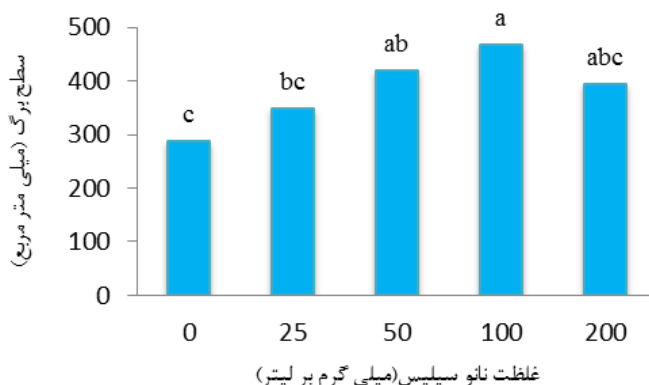
سیلیسیم در دیواره‌های سلولی اپیدرم در هر دو سطح برگ تجمع می‌یابد. در نتیجه تلف شدن آب از کوتیکول کاهش می‌یابد. همچنین هنگامی که تعرق زیاد است از تخریب آوندها جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، سیلیسیم از شدت تعرق گیاه می‌کاهد (Jhanshah & Najafi, 2011). همچنین گزارش شده است که سیلیسیم با افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، بافت‌های گیاهی را در

در یک پژوهش با کاربرد ۰/۵ میلی‌مولار سیلیسیم تحت شرایط تنش شوری بیشترین مساحت سطح برگ، وزن خشک و وزن تر به دست آمده است (Pyvast *et al.*, 2009). همچنین کاربرد سیلیسیم سبب تعدیل آثار شوری در کاهش ارتفاع ساقه اصلی، تعداد برگ در بوته و شاخص سطح برگ شد که اثر معناداری در تعدیل اثر شوری داشت (Rahimi *et al.*, 2011).

مقابل سمیت نمک حفظ کرده و با افزایش مقدار کلروفیل، سطح برگ و فتوسنتز، رشد و عملکرد گیاه را در شرایط شور افزایش می‌دهد (Jhanshah & Najafi, 2011).



شکل ۶. اثر نانوسیلیس بر تعداد برگ ریزنمونه‌های درون شیشه‌ای در هر واحد آزمایشی سیب رقم گالا (\* ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معناداری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارد.)



شکل ۷. اثر نانوسیلیس بر سطح برگ ریزنمونه‌های درون شیشه‌ای در هر واحد آزمایشی سیب رقم گالا (\* ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معناداری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارد.)

شده است. بنابراین، می‌توان از نانوسیلیس در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برای افزایش سرعت رشد و پرآوری در کشت بافت سیب رقم گالا استفاده کرد.

#### نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج این پژوهش اضافه کردن نانوسیلیس به محیط کشت MS سبب افزایش وزن تر، وزن خشک، طول شاخه، تعداد شاخساره، و شاخص کلروفیل

#### REFERENCES

1. Adatia, M. H. & Bestfor, R. T. (1986). The effect of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrition solution. *Annals of Botany*, 58, 343-35.
2. Agarie, S., Agata, W., Uchida, H., Kubota, F. & Kaufman, P. B. (1996). Function of silica bodies in the epidermal system of rice (*Oryza Sativa* L.): *Testing the window hypothesis*. *Journal of Experimental Botany*, 47(299), 655-660.
3. Agarie, S., Uchida, H., Agata, W., Kubota, F. & Kaufman, P. B. (1993). Effects of silicon on growth, dry matter production and photosynthesis in rice plant (*Oryza sativa* L.). *Crop Production and Improvement Technology*, (34), 225-234.
4. Al-Aghabary, K., Zhu, Z. & Shi, Q. (2004). Influence of Silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence and *antioxidative* enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 27, 2101-2115.

5. Behtash, F., Tabatabaie, S. J., Malakouty, M. J., Sorour-Aldin, M. H. & Ustan, S. (2009). Effect of cadmium and silicon on growth and some physiological aspect of red beet. *Journal of plant physiology and breeding*, 2(1), 53-67. (in Farsi)
6. Cherif, M. & Belanger, R. R. (1992). Use of potassium silicate amendments in recirculating nutrient solutions to suppress *Pythium ultimum* Long English Cucumber. *Plant Disease*, 76(10), 1008-1011.
7. FAO. (2009). [On-line] at URL: <http://faostat.fao.org/site/567/Desktopdefault.aspx?PageID=567#ancor>.
8. Guo, Z. (2000). Synthesis of the needle-like silica nanoparticles by biomineral method. *Chemical Journal of Chinese Universities*, 21(6), 847-848.
9. Jhanshah, S. & Najafi, N. (2011). Silicon functions in Olive plant. *Zeitun*, 31(217), 8-16. (in Farsi)
10. Jiang, J. P. (2002). Physical and chemical properties and diagnosis of turf soils in golf courses. *Acta Agrestia Sinica*, 10(1), 59-62.
11. Lee, C.W., Mahendra, S., Zodrow, K., Li, D., Tsai, Y.C., Braam, B., Pedro, J. & Alvarez, J. (2010). Developmental Phytotoxicity of Metal oxide Nanoparticles to *Arabidopsis thaliana*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(3), 669-675.
12. Lin Bao, S.H., Qi, D.S., Hui, L.C., Jun, F.L., Chun, Q. S. & Min, Y. (2004). Effect of TMS (nanostructured silicon dioxide) on growth of Changbai larch seedlings. *Journal of Forestry Research*, 15(2), 138-140.
13. Miller, G. & Senjan, R. (2006). The disruptive social impacts of nanotechnology. [On-line] at <http://nano.foe.org.au>
14. Mohggeg, P., Shirvani, M. & Ghasemi, S. (2009). Effect of silicon application on growth and produce cucumber, two cultivar in hydroponic system. *Journal of Science and techniques of greenhouse culture*, 1(1) 39 -35. (in Farsi)
15. Pyvast, G. h., Zaree, M. & Sanizadeh, H. (2009). Interaction of silicon and on salinity stress on Lettuce growth under NFT system condition. *Agricultural Sciences and Technology Journal, Horticulture Science Specific*, 22(1), 79-88. (in Farsi)
16. Rahimi, Z., Kafi, M., Nazemi, A. & Khozaie, H. R. (2011). Effect of salinity and silicon on some morphophysiological characters of Purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Iranian journal of medicinal and Aromatic plant*, 27(3), 359-374. (in Farsi)
17. Samuels, A. L., Glass, A. D. M., Ehret, D. L. & Menzies, J. G. (1993). The effects of silicon supplementation on cucumber fruit: Changes in surface characteristics. *Annals of Botany*, 72, 433-440.
18. Wang, L. (1999). Bio mineralized nanostructured materials and plant silicon nutrition. *Progress in Chemistry*, 11(2), 119-128.
19. Wang, L. (2001). Relationship between nanostructure  $\text{SiO}_2$  and occurrence of plant fungi. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 20(6), 593-597.
20. Wang, L. (2002a). Self-assembled bio mineralized structures constructed in plant cell walls. *Acta Chimica Sinica*, 60(6), 1144-1146.
21. Wang, L. (2002b). Synthesis of ordered Biosilica Materials. *Chinese Journal of Chemistry*, 20(2), 107-110.
22. Shan, L.B., Qi, D.S., Hui, L.C., Jun, F.L., Chun, Q.S. & Min, Y. (2004). Effect of TMS (nanostructured silicon dioxide) on growth of Changbai larch seedlings. *Journal of Forestry Research*, 15(2), 138-140.

## Effects of nano silicon (SiO<sub>2</sub>) application on *in vitro* proliferation of Gala apple cultivar

Saber Avestan<sup>1\*</sup> and Lotfali Naseri<sup>2</sup>

1, 2. Former M.Sc. Student and Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

(Received: Feb. 15, 2014 - Accepted: Sep. 29, 2014)

### ABSTRACT

Silicon has useful effects on growth and yield of many plants. The aim of the present study is to investigate the impact of nano silicon oxide on proliferation and improvement of some growth traits of apple, cultivar Gala. Thus, an experiment was designed based on completely randomized design (CRD) with five levels of nano silicon oxide concentrations (0, 25, 50, 100 & 200 ppm) in five replications. The means were compared with Duncan's Multiple Range Test. Results showed that nano silicon increased fresh and dry weight, length of shoots, number of shoots, and chlorophyll index, in which the highest amount of was observed at 100 ppm silicon oxide. According to the result of this investigation; 100 ppm silicon oxide can be added to MS medium to improve *in vitro* growth and proliferation rate of cultivar Gala apple explants.

**Keywords:** apple, chlorophyll index, micropropagation, MS medium.