

بررسی تاثیر نانوذرات تیتانیوم دی اکسید (آناتاز) بر روی خصوصیات فیزیولوژیکی توت فرنگی رقم کوئین الیزا (*Fragaria ananassa* c.v. Queen Elisa) در شرایط کشت هیدروپونیک

الهه هاشمی دهکردی^۱، موسی موسوی^۱، نوراله معلمی^۱، محمد هادی غفاریان مقرب^۲

^۱ گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، ^۲ عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی

زنجان. صندوق پستی ۱۴۷۴-۴۵۱۹۵

(تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۰۶، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۴/۱۰)

چکیده:

به منظور بررسی اثر نانوذره تیتانیوم دی اکسید (آناتاز) بر روی برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه توت فرنگی رقم کوئین الیزا آزمایشی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. نانو آناتاز در ۷ غلظت ۰، ۱/۵، ۳/۵، ۵/۵، ۷/۵، ۹/۵ و ۱۱/۵ میلی گرم بر لیتر، همراه با محلول غذایی هوگلند به گیاه در محیط کشت هایدروپونیک (کوکوپیت)، به صورت ۴ مرتبه در هفته اضافه شد. در پایان دوره آزمایش (۳ ماه) میزان کلروفیل برگ، نسبت مواد جامد محلول به میزان اسید قابل تیتر، میزان ویتامین C، درصد تشکیل میوه، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و میزان عملکرد گیاه با نرم افزار SAS تجزیه و تحلیل شدند. نتایج نشان داد که نانو آناتاز در بالاترین غلظت (۱۱/۵ میلی گرم بر لیتر) باعث افزایش همه صفات، گردید. بطوری که حداکثر میزان مشاهده شده برای هر یک از صفات مورد اندازه گیری مربوط به این غلظت بود. همچنین این غلظت با سایر غلظت های نانوذرات تیتانیوم اکسید (به استثنای غلظت ۹/۵ میلی گرم بر لیتر برای وزن خشک ریشه) اختلاف معنی داری از لحاظ آماری نشان داد.

واژه های کلیدی: تیتانیوم، کلروفیل، فتوکاتالیست، نانو.

مقدمه:

تغییر در فناوری های مربوط به صنعت کشاورزی مهمترین عامل در ایجاد کشاورزی مدرن است. در این میان فناوری نانو، زمینه مناسبی را در تولید محصولات غذایی و کشاورزی فراهم آورده است (شکی، ۱۳۸۹). نانو تکنولوژی به عنوان انقلابی در شرف وقوع، آینده اقتصادی کشورها و جایگاه آن ها را در جهان، تحت تاثیر قرار خواهد داد. پژوهشگران به دلیل تاثیرات این فناوری بر بیشتر فناوری های موجود، معتقدند متخصصان رشته های مختلف بدون گرایش به مباحث مقیاس نانو در دهه های آینده فرصتی برای رشد ندارند (Sastry et al., 2010).

توت فرنگی با نام علمی *Fragaria ananassa* Duch. از دورگ گیری توت فرنگی ویرجینیایی *Fragaria virginiana* با توت فرنگی شیلیایی *Fragaria chiloensis* Duch. به دست آمده است. توت فرنگی گیاهی علفی، چندساله، همیشه سبز و از تیره Rosaceae می باشد، که امروزه در زمره تولیدات مهم و تجاری قرار گرفته است. این محصول به دلیل عطر، طعم و محتویات سرشار از ویتامین، جایگاه خود را در رژیم غذایی میلیون ها نفر در جهان پیدا کرده است (اشکان، ۱۳۸۵).

آنها به انرژی شیمیایی و در نهایت افزایش تثبیت CO₂ می شود (Gao et al., 2006).

ژنگ و همکاران (۲۰۰۵) افزایش عملکرد اسفناج و جوانه زنی را بر اثر استفاده از نانو دی اکسید تیتانیوم گزارش کردند. پس از آن یانگ و همکاران (۲۰۰۶) نیز اظهار نمودند که نانو TiO₂ تاثیر فوق العاده ای در افزایش وزن بذر اسفناج در جهت تحریک رشد دارد.

مطالعات نشان داده که جوانه زنی بذور گوجه فرنگی، کاهو و پیاز در حضور تیتانیوم اکسید و پس از قرار گرفتن در معرض نور باعث افزایش جوانه زنی گردید (Elghniji, et al. 2014).

کشت توت فرنگی نیاز به دقت زیاد دارد به همین دلیل پرورش آن در گلخانه ها در شرایط هیدروپونیک گسترش پیدا کرده است. لذا افزایش کارایی گیاه در جذب نور جهت انجام حداکثر فتوسنتز می تواند در چنین محیط هایی در افزایش کمی و کیفی محصول نقش موثری داشته باشد. اخیرا گزارش شده که برخی از نانوذرات نظیر اکسید تیتانیوم همانند کلروپلاست دارای قابلیت جذب نور بوده و می تواند نقش مثبتی در افزایش کارایی فتوسنتز گیاهان داشته باشند (Zheng et al., 2007). لذا در این پژوهش اثر نانوذره TiO₂ بعنوان فتورسیپتور بر بهبود برخی خصوصیات رویشی و زایشی گیاه توت فرنگی در شرایط کشت بدون خاک مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش ها:

مواد گیاهی و شرایط کشت: نشاهای توت فرنگی از استان کردستان در سال ۱۳۹۱-۱۳۹۰ تهیه شدند. محیط کشت مورد استفاده کوکوپیت انتخاب گردید. کشت نشاها پس از ضد عفونی با بنومیل در غلظت ۲ در هزاردر هر گلدان یک گیاه انجام شد. تغذیه گیاهان با محلول غذایی هوگلند کامل به ازای هر گلدان یک لیتر در هفته صورت گرفت.

سنتز نانوذرات آنتاز: نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با ساختار مینرالوژی آنتاز به روش سل ژل به صورت محلول همگن در گروه فیزیک دانشگاه شریف تهیه گردید. مشاهده نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم با میکروسکوپ روبشی (TEM)

نانوذرات مجموعه ای از اتم ها و مولکول ها با قطر بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند (Korugu et al., 2003). نانو ذرات دارای سطح ویژه بالا بوده و خواص منحصر به فرد فیزیکی و شیمیایی آنها مثل حلالیت، بار سطحی، اثرات کوانتومی، تجمع پذیری و ... (Chang et al 2012) به اندازه، شکل و غلظت ذرات شان بستگی دارد (Nakasao et al., 2003).

تیتانیوم دی اکسید (TiO₂) دارای سه شکل بلوری شامل آنتاز، روتایل و بروکیت می باشد. نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم دارای اندازه ی ذرات بسیار کوچک و از این رو دارای سطح تماس و کارایی بیشتر از روتایل و بروکیت است (Sawhney et al., 2008). نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم از نانوذرات مهمی است که در بسیاری از کشورها در حال استفاده بوده و دارای خواص فتوکاتالیستی است (Sawhney et al., 2008). نانو آنتاز به عنوان یک فتوکاتالیست می تواند تحت تابش نور، شرایط ایجاد یک واکنش اکسید- احیا را فراهم کند. این ماده می تواند به عنوان یک فتوکاتالیست برای تجزیه اکسیدهای نیتروژن و تبدیل آنها به نیتروژن و اکسیژن و یا تجزیه مواد آلی و تبدیل آنها به دی اکسید کربن و آب به کار رود (سالاری و همکاران، ۱۳۸۷).

تیتانیوم عنصری سودمند برای گیاه است و می تواند جذب برخی عناصر نظیر نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز و روی را تحریک کند (Pais, 1983). میزان این تحریک به برخی عوامل مثل گونه و رقم گیاه، pH، رطوبت و وضعیت عناصر غذایی در خاک بستگی دارد (Kuzel et al., 2003). نانو مواد می توانند موجب افزایش توانایی گیاهان در جذب و استفاده از آب و مواد غذایی شوند.

لو و همکاران (۲۰۰۲)، با مطالعه بر روی سویا به این نتایج رسیدند که ترکیب تیمارهای نانو اکسید تیتانیوم و نانو اکسید سیلنیوم موجب تسریع در جوانه زنی بذرهای سویا و رشد گیاهچه آن می شود، همچنین نانو مواد می توانند فعالیت ریشه سویا و آنزیم نیترات ردوکتاز را افزایش دهند.

همچنین معلوم گردید که نانو TiO₂ جذب نور را افزایش می دهد و باعث انتقال انرژی نورانی به الکترون ها و تبدیل

یک نیمه هادی دارای دو باند ظرفیت (پر از انرژی) و هدایت (خالی از الکترون) می باشد و بین این دو باند فاصله خاصی (گاف انرژی) قرار دارد که در صورت تابش نور با طول موج مشخص امکان انتقال الکترون از باند ظرفیت به باند هدایت می باشد. در اثر انجام این عمل لایه ظرفیت، الکترون از دست داده و لایه هدایت الکترون خواهد داشت. این عمل انتقال در زمان بسیار کوتاهی انجام می گیرد و دو مرتبه از تراز بالا (باند هدایت) به تراز پایین (باند ظرفیت) برمی گردد بنابراین تیتانیوم دی اکسید امکان اکسید یا احیا کردن ترکیباتی که در مجاور آن قرار می گیرد در هنگامی که نور با طول موج مشخصی به آن تابیده شود را خواهد داشت. این ماده (همانند کلروپلاست) می تواند آب را توسط تابش امواج ماورا بنفش و بدون اعمال ولتاژ خارجی به اکسیژن و هیدروژن تجزیه نماید (بهپور و خلیلیان ۱۳۹۲). به عبارت دیگر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم باعث افزایش سرعت فتوسنتز از طریق تغییر دادن انرژی نورانی به انرژی الکترونی و از انرژی الکترونی به انرژی فعال شیمیایی می گردند (Gao et al., 2006). سایاما و همکاران (۲۰۰۲) گزارش دادند که شکستن آب به هیدروژن و اکسیژن بوسیله دی اکسید تیتانیوم تحت تابش نور مرئی، مشابه واکنش Z-scheme در فتوسنتز در حالت طبیعی است. این خصوصیت نانوذرات دی اکسید تیتانیوم نیز می تواند در تولید هیدرون طبیعی بوسیله نور آفتاب بکار رود (Ni et al., 2007). Qi و همکاران (۲۰۱۳) گزارش دادند که پس از کاربرد نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم، سرعت فتوسنتز، هدایت آب و سرعت تعرق در برگهای گوجه فرنگی افزایش پیدا کرد. ایلقینچی و همکاران (۲۰۱۴) نتیجه گرفتند که خاصیت فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم قادر به بر طرف کردن خاصیت سمی 4-CP در گوجه فرنگی، شلغم و پیاز آبیاری شده با فاضلاب تحت تابش مستقیم نور آفتاب می گردد. همچنین گزارش شده که نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بشدت قادر به جذب نور نه تنها در محدوده مرئی بلکه در ناحیه فرابنفش نیز می باشد (Zheng et al., 2007). هونگ و همکاران (۲۰۰۵ a) گزارش دادند که افزایش فتوسنتز در اسفناج با کاربرد نانوذرات دی اکسید تیتانیوم ممکن است

آنها را دوکی شکل و در اندازه ای حدود ۳۰ نانومتر نشان داد. **سطوح تیماری:** پس از استقرار کامل نشاها، هفت سطح تیمار نانوذرات آناناز شامل ۰، ۱/۵، ۳/۵، ۵/۵، ۷/۵، ۹/۵ و ۱۱/۵ میلی گرم در لیتر به گیاهان اعمال گردید.

فاکتورهای مورد بررسی: در پایان آزمایش میزان کلروفیل با استفاده از روش آرنون و همکاران ۱۹۴۹، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، نسبت مواد جامد محلول به میزان اسید قابل تیترا (میزان مواد جامد محلول با استفاده از رفاکتومتر دیجیتالی ATAGO مدل A.PAL-1 و میزان اسید قابل تیترا به روش تیتراسیون)، میزان ویتامین C به روش تیتراسیون با دی کلروفنل ایندوفنل (DCIP)، درصد تشکیل میوه و میزان عملکرد اندازه گیری شدند.

تجزیه و تحلیل داده ها: آنالیز داده ها با نرم افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین با آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث:

جدول تجزیه واریانس تفاوت معنی داری را بین تمام صفات گیاهان تیمار شده با نانو آناناز در مقایسه با گروه شاهد، نشان داد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین (جدول ۲) نشان داد که با افزایش غلظت نانو ذرات آناناز، شاخص های اندازه گیری شده افزایش یافت.

میزان کلروفیل ، میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در برگ ها ، میزان نسبت TSS/TA، ویتامین C، درصد تشکیل میوه، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در طی مدت تیماردهی افزایش یافت. به صورتی که بیشترین میزان در حداکثر غلظت نانوذرات آناناز (۱۱/۵ میلی گرم لیتر) به دست آمد. افزایش میزان عملکرد به طور قابل توجهی افزایش یافت. به طوری که نانوذرات آناناز در حداکثر غلظت تا حدود دو برابر عملکرد را افزایش داد.

همان طور که در نتایج نشان داده شد نانو آناناز باعث افزایش تمامی صفات اندازه گیری شده، گردید و در تمام صفات اثر معنی داری با شاهد ایجاد کرد و بهترین نتایج در غلظت ۱۱/۵ میلی گرم بر لیتر به دست آمد. تیتانیوم دی اکسید

TSS/TA برای ارزیابی عطر و طعم و رسیدگی به کار برده می‌شود که به میزان قند و اسید اشاره دارد (Khayat *et al.*, 2007). بیشترین میزان این نسبت در بالاترین غلظت نانوذرات آناناز به دست آمد.

گزارش شده که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم جذب موادی مانند نیتروژن و منیزیم را افزایش داده و میزان تولید کلروفیل را بالا می‌برد (Zheng *et al.*, 2007). با افزایش میزان کلروفیل، میزان فتوسنتز افزایش یافته و در نهایت منجر به افزایش رشد ریشه و جذب بیشتر عناصر معدنی می‌گردد (Huang *et al.*, 2014). نانوذرات آناناز با جذب نور و تبدیل انرژی نورانی، از کلروپلاست در برابر پیری محافظت کرده و مدت زمان انجام فتوسنتز را افزایش می‌دهد (Gao *et al.*, 2006).

تیتانیوم از دو طریق باعث افزایش فتوسنتز می‌شود: یکی از طریق تغییر در فعالیت پروتئینهای دخیل در فتوسنتز، از جمله فروکتوز ۱-۶ بی فسفاتاز که در چرخه کلونین مؤثر است و آنزیمهای گلوکویوژناز و تغییر در چرخه پنتوز فسفات اکسیداز که در متابولیسم کربوهیدرات نقش دارد، و دوم از طریق افزایش کلروفیل که باعث تحریک و افزایش فتوسنتز می‌شود (Kiss *et al.*, 1985).

افزایش میزان کلروفیل و همچنین وزن تر و خشک با مطالعات پیشین در مورد اثر نانوذرات آناناز بر روی اسفناج (Zheng *et al.*, 2005) و گندم (Feizi *et al.*, 2005) مطابقت دارد. افزایش متعادل رشد رویشی (وزن تر و خشک) از یک طرف و بالا رفتن درصد تشکیل میوه، افزایش کارایی فتوسنتز (افزایش کلروفیل) و بهبود جذب از طریق ریشه با به کار بردن نانوذرات آناناز، باعث افزایش عملکرد به ازای هر بوته گردید. با توجه به نتایج خوب بدست آمده از کاربرد تیتانیوم اکسید بر روی صفات توت فرنگی پیشنهاد می‌گردد وجود یا ماندگاری احتمالی نانو ذرات تیتانیوم اکسید در بافت های مختلف بوته و میوه توت فرنگی مورد نیز ارزیابی قرار گیرد.

اول. انتشارات آبیژ. ۴۷۲ صفحه.

بهپور، م. و خلیلیان ه. (۱۳۹۲) مروری بر کاربردهای ویژه

در ارتباط با فعال سازی واکنش فتوشیمیایی در کلروپلاست باشد. نانوذرات دی اکسید تیتانیوم قادرند از پیر شدن کلروپلاست در تابش بلند مدت از طریق افزایش فعالیت آنزیم های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیداز دیسموتاز، کاهش تجمع رادیکال های آزاد اکسیژن فعال ، کاهش مالوندهالید و دوام ثبات غشاء ساختمانی کلروپلاست تحت شرایط تابش نور جلوگیری نمایند (Hong *et al.*, 2005b). همچنین Hong و همکاران (۲۰۰۵ c) در مطالعه ای دیگر معلوم ساختند که نانوذرات دی اکسید تیتانیوم قادر به افزایش رشد اسفناج از طریق افزایش میزان کلروفیل و سرعت فتوسنتز با افزایش میزان جذب نور، تسریع انتقال الکترون و افزایش کارایی تغییر حالت انرژی نورانی می باشند.

همچنین نانوذرات دی اکسید تیتانیوم باعث فعال تر شدن رویسکو و افزایش رویسکو کربوکسیلاز شده که خود باعث افزایش سرعت واکنش کربن فتوسنتزی می‌گردد (Gao *et al.*, 2006).

Kuzel و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که اعمال تیتانیوم در محلول غذایی بر رشد یولاف مؤثرتر از تیمار آن بر برگ بود و Martinez و همکاران (۱۹۹۱) نشان دادند که محلول پاشی این عنصر روی برگ‌های فلفل اثر بیشتری بر رشد داشت.

اعمال تیتانیوم در محلول غذایی از طریق کاهش اثرات سمی عناصر دیگر، باعث افزایش رشد می‌شود (حقیقی و دانشمند، ۱۳۹۱). تیتانیوم موجب افزایش فعالیت آهن در کلروپلاست برگ و کروموپلاست میوه شده و در نهایت جذب مواد غذایی را بالا می‌برد (Alcaraz *et al.*, 2004). نانو آناناز قدرت ریشه را تحریک کرده و سبب افزایش توانایی ریشه در جهت جذب آب و مواد غذایی می‌شود، به دنبال آن وزن تر و خشک گیاه را افزایش می‌دهد (Yang, and Hong, 2006). به عبارت دیگر نانوذرات آناناز میزان رشد رویشی را متعادل کرده و به سود میوه افزایش داد. افزایش ویتامین C ممکن است به دلیل دسترسی بهتر و بیشتر به کربوهیدرات برای رشد و توسعه میوه باشد (Turhan and Eris, 2005). میزان نسبت

منابع:

اشکان، م. (۱۳۸۵) بیماریهای مهم درختان میوه در ایران. چاپ

- Khayyat, M., Tafazoli, E., Eshghi, S., Rahemi, M. Rajaei, S. (2007) Salinity, supplementary calcium and potassium effects on fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch). *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science* 2: 539-544.
- Kiss, F., Deak, G. Feher, M. Balogh, A. Szabolsci, L. and Pais, I. (1985) The effect of titanium and gallium in photosynthetic rate of algae. *Journal of Plant Nutrition* 8: 825-832.
- Korugu, S. and Sundureshan, M (1993) *Ullerene C. Histori, Physics, Nanobiology, Nanotechnology*. By D: North- Holland
- Kuzel, S., Hruby, M., Cigler, P., Tlustos, P. and Van, N. (2003) Mechanism of physiological effects of titanium leaf sprays on plants grown on soil. *Biological Trace Element Research* 91: 179- 190.
- Lu, M., Zhang, C., Wen, Q., Wu, R. and Tao, X. (2001) Effect of nanometer materials on germination and growth enhancement of Glycine max and its mechanism. *Soybean Science* 21: 68-172
- Martinez-Sanchez, F., Carvajal, M. Frutos, M. J. Giménez, J. L. and Alcaraz, C. F. (1991) Titanium in the nutrition of *Capsicum annuum* L. plants. *Ciencia Agronómica* 11: 73-78.
- Nakasao, K., Okuyama, M., Shimada, S., Pratsinis, E. (2003) Effect of reaction temperature on CVD-made TiO₂ primary particle diameter. *Chemical Engineering Science* 58: 3327-3335
- Ni M., Michael K.H., Leung, Dennis Y.C., Leung, Sumathy, K. 2007. A review and recent developments in photocatalytic water-splitting using TiO₂ for hydrogen production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11: 401-425.
- Pais, I. (1983) The biological importance of titanium. *Journal of Plant Nutrition* 6: 3-131.
- Qi, M., Liu, Y. and Li, T. (2013) Nano-TiO₂ improves the photosynthesis of tomato leaves under mild heat stress. *Biological Trace Element Research* 156: 323-328.
- Sastry, R., Rao, N. and Richard, C (2010) Can nanotechnology provide the innovations for a second green revolution in india agriculture? *Biological Trace Element Research* 13: 639-648.
- Sawhney, A. P. S. and Condon, B (2008) Modern Applications of Nanotechnology in Textiles. *Textile Research Journal* 78:731-739.
- Sayama, K., Mukasa, K., Abe, R., Abe, Y. and Arakawa, H (2002) A new photocatalytic water splitting system under visible light irradiation mimicking a Z-scheme mechanism in photosynthesis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 148:71-77.
- Turhan, E. and Eris, A. (2005) Effects of sodium chloride applications and different growth media on ionic composition in strawberry plant. *Journal of Plant Nutrition* 27: 1653-1665
- Yang, F. and Hong, S (2006) Influence of nano anatase TiO₂ on the nitrogen metabolism of growing nanوذرات دی اکسید تیتانیوم. ماهنامه فتاوری نانو. سال دوازدهم، شماره ۱۱: ۱۹-۲۳.
- حقیقی، م.، دانشمند، ب. (۱۳۹۱) مقایسه اثر تیتانیوم و نانوتیتانیوم بر رشد و تغییرات فتوسنتزی گوجه فرنگی در سیستم هیدروپونیک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۴: ۷۳-۸۰
- سالاری، م.، پنجه، ن.، کسرائی، س. (۱۳۸۷) نانوتکنولوژی و کاربرد آن در گیاه‌پزشکی. مجله گیاه‌پزشکی و غذا. شماره ۳: ۳۶-۴۵
- شکی، ف. (۱۳۸۹) کاربرد نانوذرات. نانوتکنولوژی. ۲: ۲۵-۲۱.
- Alcaraz, C., Botia, M., Carlos, F. and Fernando, R (2004) Effect of foliar sprays containing calcium, magnesium and titanium on peach (*Prunus persica* L.) fruit quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 949-954.
- Chang Y.N., Zhang M., Xia L., Zhang J. and Xing G (2012) The toxic effects and mechanisms of CuO and ZnO nanoparticles. *Materials* 5: 2850-2871.
- Elghniji K., Sabrina S., Ben Mosbah M. Elimame E. and Moussaoui Y. (2014) Detoxification of 4-chlorophenol in TiO₂ sunlight system: effect of raw and treated solution on seed germination and plants growth of various sensitive vegetables. *Toxicological and Environmental Chemistry* 96: 869-879
- Feizi, H., Razavi, P., Shahtahmasebi, N. and Fotovat, A (2005) impact of bulk and nanosized titanium dioxide (TiO₂) on wheat seed germination and seedling growth. *Biological Trace Element Research* 146: 101-106.
- Hong, F., Zhou, J., Liu, C., Yang, F., Wu, C., Zheng, L. and Yang, P. (2005a) Effect of nano-TiO₂ on photochemical reaction of chloroplasts of spinach. *Biological Trace Element Research* 105: 269-280.
- Hong, F., Yang, F., Liu, C., Gao, Q., Wan, Z., Gu, F., Wu, C., Ma, Z., Zhou, J. and Yang, P (2005b) Influences of nano-TiO₂ on the chloroplast aging of spinach under light. *Biological Trace Element Research* 104: 249-260.
- Hong, F., Yang, P., Gao, F., Liu, C., Zheng, L., Yang, F. and Zhou, J (2005c) Effect of nano-TiO₂ on spectral characterization of photosystem II particles from spinach. *Chem Res Chin Univ* 21: 196-200
- Gao, F., Chao, I., Zheng, L., Mingyu, S., Xiao, W., Yang, F., Cheng, W. and Ping, Y (2006) Mechanism of nano anatase TiO₂ on promoting photosynthetic carbon reaction of spinach. *Biological Trace Element Research* 111: 239-245
- Jones, C. F. and Grainger, D. W (2009) *In vitro* assessments of nanomaterial toxicity. *Advanced Drug Delivery Reviews* 61: 438-456

Zheng, L., Mingyu, S., Chao, L., Liang, C., Huang, H., Xiao, W., Xiaoqing, L., Yang, F., Gao, F. and Hong, F. (2007) Effects of nanoanatase TiO_2 on photosynthesis of spinach chloroplasts under different light illumination. *Biological Trace Element Research* 119:68–76.

spinach . *Biological Trace Element Research* 110: 179-190.

Zheng, l., Mingyu, S., Xiao, W., Chao, L., Chunxiang, Q., Liang, C., Huang, H., Xiaoqing, L. and Hong, F (2005) Effect of nano anatase on spectral characteristics and distribution of LHCLL on the thylakoid memberance of spinach. *Biological Trace Element Research* 120: 273-283.

Effect of nanoparticles of titanium dioxide (anatase) on physiological characteristics of strawberry (*Fragaria ananassa* c.v. Queen Elisa) in hydroponic condition

Elahe Hashemi Dehkourdi¹, Mousa Mousavi*¹, Norolah Moallemi¹ and
Mohammad Hadi Ghafariyan moghareb²

¹Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran, ² Agricultural and Natural Resource Research Center of Zanjan Province, Iran.

(Received: 26 January 2014, Accepted: 1 July 2015)

Abstract:

To study the effect of nanoparticle anatase on some parameters of strawberry plant (Queen Eliza) an experiment in randomized complete block design was carried out with 3 replications. Nano Anatase in seven concentrations of 0, 1/5, 3/5, 5/5, 7/5, 9/5 and 11/5 mg per liter, with Hoagland solution for hydroponically grown plants (Cocopeat) was added to 4 times a week. At the end of the experimental period (3 months), chlorophyll content, TSS/TA, vitamin C, fruit set percentage, shoot and root dry weight and yield were measured and their data analyzed with SAS software. The results showed that nano-anatase at the highest concentration (11/5 mg/ ml) was best treatment and significantly increased all the different strawberry measured traits in this experiment.

Keywords: Titanium, chlorophyll, photo catalyst, nano.

*corresponding author, Email: mousa_mousawi@yahoo.com