نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۸، ص. ۶۲-۵۱

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 1, Mar.-Apr. 2019, p. 51-62

اثر تیمار بذور با نانوذرات تیتانیم معمولی و رنگی بر جذب عناصر و فعالیت آنزیمی

حسن میر[۱]- احمد غلامعلی زاده[۲*]- نوشین میر[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۸

چکیده

گزارشات بسیاری در مورد افزایش رشد گیاهانی که در معرض نانومواد و کاربرد خارجی آنها قرار گرفته‌اند وجود دارد. هدف از انجام این آزمایش بررسی احتمالی افزایش جذب نور و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه سورگوم توسط نانوذرات تیتانیم حساس شده به رنگ می‌باشد که بدین منظور جهت بررسی اثر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم معمولی در مقایسه با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم حساس به رنگ بر برخی خصوصیات گیاه سورگوم، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار شامل شش غلظت نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید (۰، ۱، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و شش غلظت نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید حساس شده به رنگ (۰، ۱، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در ۳ تکرار اجرا شد. خصوصیات مورد نظر عبارتند از: وزن تر گیاه، وزن خشک گیاه، عناصر غذایی شامل: فسفر، پتاسیم، منگنز و روی، فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز و مقدار کلروفیل a مورد ارزیابی قرار گرفتند. طبق نتایج بدست آمده وزن خشک، فعالیت آنزیمی گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز به‌ترتیب در غلظت‌های ۱۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات حساس شده به رنگ ۱/۲۵، ۲/۷ و ۳/۲۸ برابر و میزان عناصر فسفر، پتاسیم، منگنز و روی، به ترتیب در غلظت‌های ۱۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات حساس شده به رنگ ۷۲/۳۴، ۴۲/۸۵، ۷۳/۹۵ و ۲۸/۱۷ درصد افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد نشان دادند و دارای بالاترین عملکرد بودند، به استثنای دو خصوصیت وزن تر و کلروفیل a که کلروفیل a در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هر دو نانوذره از نظر آماری بالاترین مقدار را نشان داد، اما وزن تر برخلاف دیگر خصوصیت‌ها با اعمال نانوذرات معمولی بهترین عملکرد را نشان داد. به نظر می‌رسد که این نانوذرات بر اثر رنگ‌دار شدن، واکنش‌های مرتبط با نور و جذب عناصر را نسبت به نانوذرات معمولی شدت می‌دهند و در نتیجه عملکرد بهتری حاصل می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم، حساس به رنگ، سورگوم، عناصر غذایی، کلروفیل

مقدمه

هرچند که تا به امروز استفاده از علم نوظهور نانو در بخش کشاورزی عمدتاً محدود به تحقیقات تئوری بوده است با این حال نانو تکنولوژی به تدریج درحال گذار از مرحله‌ی آزمایشگاهی به مرحله‌ی عملیاتی و کاربردی است و این امر منجر به حضور محسوس‌تر این فناوری در بخش کشاورزی می‌شود (۳). در حال حاضر از مواد نانو مقیاس عمدتاً به منظور برطرف کردن بعضی از محدودیت‌ها و چالش های موجود در بخش کشاورزی نظیر مدیریت علف‌های هرز، تولید نانو کودهایی که به آهستگی و در تمام طول فصل رشد گیاه عناصر غذایی خود را آزاد کنند، رهاسازی کنترل شده آفت‌کش‌ها و علف-کش‌ها، مصرف کارآمدتر و دقیق‌تر نهاده‌های شیمیایی و تولید سمومی با فرمولاسیون‌های جدید برای کنترل آفات، استفاده می‌شود. کاربرد خارجی نانوذرات دی‌اکسید سیلیسیم و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم جوانه‌زنی بذر سویا را با افزایش نیترات ردوکتاز (۲۲) و همچنین با افزایش توانایی بذرها برای جذب و استفاده از آب و عناصر غذایی بهبود می‌بخشند (۴۴). سایو و همکاران (۴۰) تأثیر سه نانوذره جیوه را که از لحاظ مورفولوژیکی با یکدیگر متفاوت بودند بر روی پاسخ فیزیولوژیکی و مولکولی گیاه شاهی گوش موشی (*Arabidopsis*) بررسی کردند و اظهار داشتند که نانوذرات جیوه ده وجهی بیشترین درجه توسعه رشد ریشه را نشان می‌دهد، در حالی‌که، نانوذرات جیوه کروی بر روی توسعه رشد ریشه اثری ندارد و بیشترین سطح تجمع آنتوسیانین را در جوانه‌های گیاه آزاد می‌سازند.

افزایش میزان تولید گیاهان به روش‌های مختلف مورد توجه

۱ و ۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل
(*- نویسنده مسئول: Email:ahangar@uoz.ac.ir)
۳- دانشیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زابل
DOI: 10.22067/jsw.v33i1.67723

کشاورزان می‌باشد. از جمله مهمترین عوامل کنترل کننده رشد، تغذیه مناسب گیاه است (۳۹). تیتانیم به عنوان یک عنصر سودمند باعث افزایش و تحریک رشد می‌شود (۳۴). کاربرد تیتانیم در محلول غذایی و یا محلول‌پاشی بر روی گیاه باعث افزایش زیست توده و رشد گونه های مختلف گیاهی شده است (۵). اظهار شده است که تیتانیم یکی از عناصر سودمند جهت رشد گیاه است و می‌تواند جذب برخی از عناصر نظیر نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز و روی را تحریک نماید (۳۴). رم و همکاران (۳۶) نشان دادند که تیتانیم با افزایش انتقال الکترون از فتوسیستم ۲ به ۱، باعث افزایش فتوسنتز می‌شود. همچنین تیتانیم باعث افزایش جذب عناصر موثر در تولید کلروفیل و فتوسنتز نظیر آهن و منیزیم (۶) می‌گردد. گزارش شده است تیتانیم با افزایش میزان کلروفیل (۵) باعث افزیش رشد می‌شود. اوولاد و همکاران (۳۳) در آزمایشی که بر روی لوبیا چشم بلبلی انجام دادند، افزایش میزان این محصول را تحت تیمار ۱۲۵ میلی‌لیتر در هکتار تیتانیم گزارش کردند. این محققین، دلیل افزایش محصول را نقش تیتانیم در فعالیت نوری فتوسنتز دانستند. بنابراین تیتانیم با افزایش میزان کلروفیل و فتوسنتز، خصوصاً از طریق افزایش انتقال الکترون از فتوسیستم ۲ به ۱، فعالیت نوری فتوسنتز و جذب عناصر مؤثر در تولید کلروفیل و فتوسنتز نظیر آهن، منیزیم و نیتروژن، باعث افزایش رشد می‌شود. تیتانیم علاوه بر ویژگی‌هایی که در بالا ذکر شد که به واسطه جذب نور می‌باشد، دارای یک ویژگی بارز دیگر نیز می باشد و آن هم خاصیت فتوکاتالیستی و حذف رادیکال‌های مضر می‌باشد (۳۸) بطوری‌که اثر سمیت تیتانیم برای انسان گزارش نشده است (۱۱). اما این عنصر برای رشد گیاه و باکتری‌ها در بعضی از غلظت‌ها سمی است و در غلظت‌های کم برای رشد گیاه مؤثر می‌باشد (۱۱). اگرچه تحقیقات زیادی از ۸۰ سال قبل بر آثار مثبت تیتانیم شروع شده، اما همچنان اثر آن بر بسیاری از گیاهان در شرایط مختلف و به دنبال آن بر جنبه‌های فیزیولوژیک گیاه، مجهول است (۲۰).

در سال‌های اخیر با توجه به گسترش فناوری نانو، استفاده از نانوذرات رو به افزایش است (۳۰). ژنگ و همکاران (۴۴) نشان دادند که بذرهای مسن اسفناج در تیمار با نانو TiO_2 دارای سرعت جوانه زنی، شاخص جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه و شاخص بنیه بالاتری از بذرهای شاهد بودند. ممکن است که یونش غیرمستقیم دی‌اکسید تیتانیوم، تولید اکسیژن فعال، همانند آنیون‌های سوپراکسید و هیدرواکسید کند که این مکانیسم به وسیله بذرهای بالغ مجدداً فعال می‌شود، در نتیجه قابلیت نفوذ پوشش بذر افزایش می‌یابد و ورود آب و اکسیژن به درون سلول تسهیل می‌گردد، بنابراین متابولیسم و جوانه زنی بذرها سرعت می‌گیرد (۴۴). گائو و همکاران (۹) از نانوذرات دی-اکسید تیتانیوم در تیمار کردن بذر و تغذیه برگی گیاه اسفناج استفاده کردند، آن‌ها ابتدا بذرهای اسفناج را در محلول ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم به مدت ۴۸ ساعت در معرض نور قرار دادند و بعد از جوانه‌زنی، بذرها را با محلول نانوذره تیتانیوم دی‌اکسید به مدت ۳۵ روز محلول‌پاشی کردند. آن‌ها گزارش کردند که استفاده از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم، نیتروژن کل، مقدار کلروفیل و پروتئین را به‌ترتیب ۲۳٪، ۳۴٪ و ۱۳٪ افزایش داد، وزن گیاه نیز در مقایسه با شاهد دو برابر شد (۹). مطالعات نشان داده که جوانه زنی بذور گوجه فرنگی، کاهو و پیاز در حضور اکسیدتیتانیم و پس از قرار گرفتن در معرض نور باعث افزایش جوانه‌زنی گردید (۷). کلیه اثرات مثبت دی اکسید تیتانیم وابسته به توانایی جذب نور آن است و از معایب عمده این ترکیب آن است که توانایی جذب نور مرئی خورشید را به میزان اندک دارد و بیشتر نور UV را جذب می‌کند. از آنجا که کسر بالایی از نور خورشید در محدوده مرئی قرار دارد، در صورتی که بتوان توانایی جذب نور مرئی این نانوذرات را بالا برد، می‌توان اثرگذاری آن را بهبود بخشید. این کار به کمک افزودن یک لایه رنگ بر روی سطح نانوذرات انجام می‌شود و به آن حساس‌سازی نانوذرات توسط رنگ گفته می‌شود. به دلیل جذب نور توسط نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم، بویژه جذب اشعه فرابنفش فرض بر این است که ایجاد یک لایه رنگی روی این نانوذرات باعث افزایش جذب نور توسط نانو ذرات مذکور شده و توانایی بیشتری در افزایش عملکرد گیاه را دارا خواهد شد. در نتیجه هدف از انجام این آزمایش بررسی احتمالی افزایش جذب نور و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه سورگوم توسط نانوذرات تیتانیم حساس شده به رنگ می‌باشد که بدین جهت با تیمار کردن بذرهای گیاه به هر دو نانوذره، برخی پارامترها مورد بررسی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مطالعه اثرات غلظت‌های مختلف نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم معمولی در مقایسه با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم حساس شده به رنگ بر روی برخی از خصوصیات گیاه سورگوم، آزمایشی در گلخانه آموزشی دانشگاه زابل انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار شامل شش غلظت نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید (۰، ۱، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) (۱۹، ۲۷ و ۲۹)، شش غلظت نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید حساس شده به رنگ (۰، ۱، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در سه تکرار انجام شد. برای رنگ کردن نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید از زعفران با غلظت مشخص استفاده شد. به‌منظور یکنواخت‌سازی سوسپانسیون غلظت‌های مصرفی، از دستگاه اولتراسوند استفاده شد. در ابتدا بذور در غلظت های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیم در دو حالت رنگ شده و بدون رنگ به مدت ۴۸ ساعت در معرض نور قرار داده شدند.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1- Some Physical and Chemical characteristics of the used soil

Mn	Cu	Fe	Zn	P	K	OM (%)	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	سیلت Silt	رس Clay	شن Sand	بافت Texture
$mg.kg^{-1}$												
5.6	1.65	2.2	4.8	12.7	430	1.98	1.32	7.02	18	13	69	Sandy Loam

نمونه‌های خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک جمع‌آوری و بعد از هوا- خشک کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متری برای تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه انتقال داده شد. برخی خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک عبارتند از: pH در گل اشباع (۲۶)، قابلیت هدایت الکتریکی با هدایت‌سنج الکتریکی (۳۷)، درصد رس، سیلت و شن به روش هیدرومتری (۱۰)، درصد ماده آلی خاک به روش اکسایش تر (۳۲)، غلظت آهن و روی خاک با عصاره‌گیر DTPA (۲۱) و توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید و پتاسیم عصاره‌گیری شده با استات آمونیوم (۱۳) توسط دستگاه فلیم‌فتومتر تعیین گردید (جدول ۱).

کودهای پایه براساس نتایج آزمون خاک قبل از کشت به خاک هر گلدان اضافه گردید. برای کاشت از گلدان‌های پلاستیکی با ظرفیت ۳ کیلوگرم استفاده شد. برای کشت، از بذر سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید استفاده و رطوبت خاک گلدان‌ها در زمان کاشت به حد ظرفیت زراعی رسید. گلدان‌ها در طی دوره رشد در دمای میانگین روز ۲۵ درجه و شب ۱۸ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. تعداد ۵ بذر سالم که قبلاً در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیم در دو حالت رنگ شده و بدون رنگ در معرض نور قرار داده شده بودند، در داخل هر گلدان کشت و پس از جوانه‌زنی و شمارش و اطمینان از استقرار کامل جوانه‌ها تعداد ۳ جوانه در هر گلدان باقی ماند و بقیه حذف شده تا شرایط برای همه گلدان‌ها یکسان باشد. آبیاری گلدان‌ها روزانه و با آب مقطر صورت گرفت. بعد از گذشت ۸ هفته از زمان آزمایش خصوصیات وزن تر و وزن خشک گیاه عناصر فسفر (P)، پتاسیم (K)، منگنز (Mn) و روی (Zn)، فعالیت آنزیمی آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز و مقدار کروفیل a مورد ارزیابی قرار گرفتند.

برای تعیین مقدار کلروفیل a از روش آرنون (۲) و با استفاده از اسپکتوفتومتر با مدل شمادزو یو وی ۱۶۰ در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر انجام شد. فسفر به روش رنگ سنجی مولیبدات وانادات (۱۶)، پتاسیم به روش نشر شعله‌ای و با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (۴۲)، منگنز و روی اندام‌های هوایی گیاه با دستگاه جذب اتمی (۱۸) اندازه گیری شدند. میزان فعالیت آنزیمی آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز به روش ناکانو (۲۴) محاسبه شدند. برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار SAS و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و در رسم شکل‌ها از اکسل استفاده شده است.

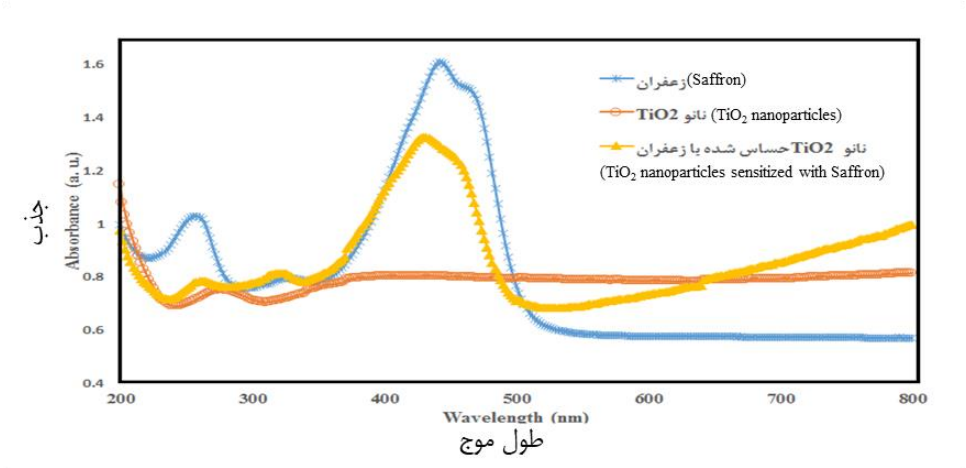
نتایج و بحث

شناسایی نانوذرات

طیف UV-Vis

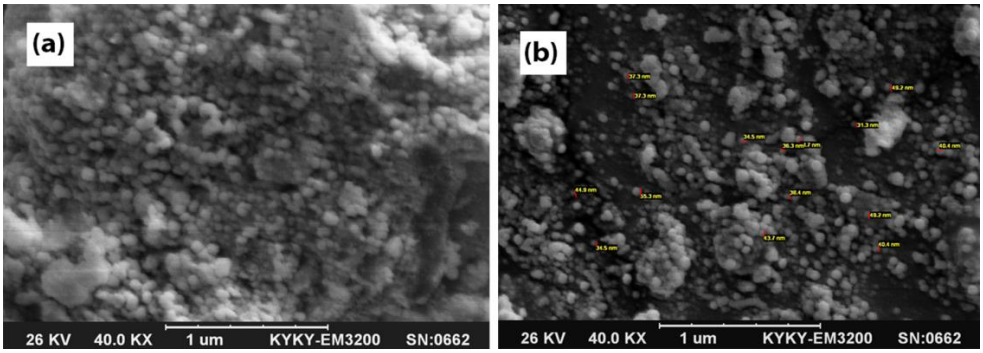
ترکیبات زعفران دارای پیک‌های بارزی در طیف UV-Vis می‌باشند. شکل ۱ نشان‌دهنده طیف UV-Vis زعفران، نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید (TiO_2) و نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید حساس شده با زعفران می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود طیف مربوط به نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید در محدوده‌ی ماوراء بنفش (ناحیه بین طول موج ۴۰۰-۲۰۰ نانومتر) دارای یک پیک مشخص می‌باشد اما در ناحیه مرئی هیچ‌گونه جذبی از خود نشان نمی‌دهد. طیف مربوط به محلول زعفران که از حل کردن پودر زعفران در آب بدست آمده است دارای دو پیک قابل شناسایی در ۳۲۸ و ۲۵۸ نانومتر و یک پیک دوتایی در ۴۶۶ و ۴۴۲ نانومتر می‌باشد. پیک مشاهده شده در ۲۵۸ نانومتر مربوط به ترکیب پیکروکروسین که همان ماده تلخ بی‌رنگ موجود در زعفران است می‌باشد.

پیک دوتایی موجود بین ۵۰۰-۴۰۰ نانومتر و نیز پیک ظاهر شده در ۳۲۸ نانومتر مربوط به کارتنوئیدهای موجود در زعفران می‌شود. کارتنوئید (کروسین All-trans) مسئول ایجاد پیک دوتایی در ناحیه مرئی می‌باشد (۴۱). کروسین (CIS) نیز دارای پیک‌های مشابهی می‌باشد که احتمالاً با پیک‌های ایزومر ترانس همپوشانی کرده و قابل تفکیک نیستند. طیف مربوط به نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید که با رنگ زعفران پوشانده شده‌اند نیز نمایانگر دو پیک در ۳۲۲ و ۲۶۰ و نیز یک پیک در ۴۳۰ نانومتر با یک شانه مشخص در ۴۵۸ نانومتر است. آنچه از مقایسه دو پیک مربوط به زعفران به تنهایی و زعفران ثابت شده بر روی نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید بدست می‌آید این است که مولکول‌های کروسین موجود در زعفران بر روی نانوذرات چسبیده‌اند زیرا پیک دوتایی ناحیه مرئی و نیز پیک موجود در ۳۳۰-۳۲۰ نانومتر یک جابجایی آبی مشخص را نشان می‌دهند (۳۱).



شکل ۱- طیف UV-Vis مربوط به زعفران، نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم حساس شده با زعفران

Figure 1- UV-Vis spectrum related to Saffron, TiO_2 nanoparticles and TiO_2 nanoparticles sensitized with Saffron



شکل ۲- SEM از نانوذرات TiO_2

Figure 2- SEM of TiO_2 nanoparticles

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM36)

میکروسکوپ الکترونی روبشی یکی از مهمترین ابزارهای شناسایی نانوذرات است که به کمک آن می‌توان علاوه بر اندازه نانوذرات، مورفولوژی، میزان کلوخگی و برخی خواص دیگر را شناسایی نمود. تصاویر SEM مربوط به نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید مورد استفاده در این تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است. اندازه ذرات که در شکل ۲-2b مشخص شده است بین ۵۰-۳۰ نانومتر می‌باشد. از این تصاویر مشخص است که مورفولوژی نمونه به صورت کروی می‌باشد و نانوذرات کمی کلوخه‌ای شده‌اند و به همین دلیل پیش از به کار بردن محلول‌های حاوی نانوذرات قرار دادن آن‌ها در حمام امواج ماوراء صوت ضروری است.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۲، اثرات ساده و متقابل نانوذرات تیتانیوم و غلظت بر تمامی صفات در سطح ۱ درصد از لحاظ آماری معنی‌دار شده است.

بررسی مقایسه میانگین‌های آنزیم‌های پراکسیداز، کلروفیل a و وزن تر و خشک گیاه

در این کار تحقیقاتی فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز مورد ارزیابی قرار گرفت، طبق نتایج بدست آمده و مطابق با جدول ۳ آنزیم آسکوربات پراکسیداز در اعمال بالاترین غلظت نانوذرات حساس شده به رنگ (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بیشترین فعالیت را در گیاه داشتند. همانطور که مشاهده می‌شود اعمال تیمارهای مختلف در گیاه بر روی عملکرد این آنزیم تاثیرات متفاوتی داشته و این تفاوت از نظر آماری نیز قابل مشاهده است. آنزیم گایاکول پراکسیداز مطابق با جدول ۳ در اعمال تمام تیمارها دارای نتایج متفاوتی از نظر آماری می‌باشد اما همانطور که مشاهده می‌شود بالاترین مقدار فعالیت این آنزیم مربوط به اعمال غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات حساس شده به رنگ می‌باشد. تفاوت فعالیت آنزیمی آنزیم‌های پراکسیداز در هر یک از نانوذرات نسبت به هم و شاهد در شکل ۳ نشان داده شده است.

افزایش فعالیت آنزیم‌ها در گیاهان مختلف تحت تیمار تیتانیم

مورد بررسی قرار گرفته است، برای مثال اظهار شده است که افزایش مقدار کلروفیل و پروتئین (آنزیم) بوسیله نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید فقط با افزایش فتوسنتز در ارتباط نیست بلکه می‌تواند به دلیل افزایش متابولیسم نیتروژن نیز باشد (۱۴ و ۴۴). نیتروژن برای کلروفیل، آمینواسید، پروتئین (آنزیم) و نوکلئیک اسید مهم می‌باشد. کارواجال و آلکارز (۴) در آزمایشی که روی گیاه *Capsicum annuum* انجام دادند، افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را در نتیجه اعمال برگی تیتانیم اعلام کردند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثرات انواع نانوذرات تیتانیم و غلظت بر خصوصیات گیاه

Table 2- Results of ANOVA of type of TiO_2 NPs and concentration on parameters of plant

متغیرها Variables	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (Mean Square)				
		وزن خشک Dry weight	وزن تر Fresh weight	کلروفیل a Chlo. a	گایاکول GPX	آسکوربات APX
نانوذرات تیتانیوم TiO_2 NPs	1	1.22^{**}	2.03^{**}	1.05^{**}	$1.26*10^{-7\ **}$	$2.15*10^{-6\ **}$
غلظت Concentration	5	1.77^{**}	23.98^{**}	1.57^{**}	$2.62*10^{-8\ **}$	$1.41*10^{-6\ **}$
تیتانیم×غلظت TiO_2 NPs*concentration	5	0.93^{**}	6.20^{**}	0.32^{**}	$1.76*10^{-8\ **}$	$3.28*10^{-7\ **}$
خطا Error	24	0.034	0.035	0.00029	$7.5*10^{-11}$	$1*10^{-8}$
ضریب تغییرات (CV)	-	10.21	1.87	0.56	7.23	10.49
متغیرها Variables	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات Mean Square				
		P ($g.100^{-1}$)	K ($g.100^{-1}$)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	
نانوذرات تیتانیوم TiO_2 NPs	1	$5.21*10^{-2\ **}$	$3.06*10^{-2\ **}$	0.0054^{**}	8.36^{**}	
غلظت Concentration	5	$7.49*10^{-2\ **}$	1.4^{**}	0.2976^{**}	18.21^{**}	
تیتانیم×غلظت TiO_2 NPs*concentration	5	$1.11*10^{-2\ **}$	0.91^{**}	0.1803^{**}	50.29^{**}	
خطا Error	24	$2.75*10^{-3\ **}$	0.562	0.000101	0.8128	
ضریب تغییرات (CV)	-	2.55	4.25	0.73	5.35	

** Significant at 1% ** معنادار در سطح ۱ درصد

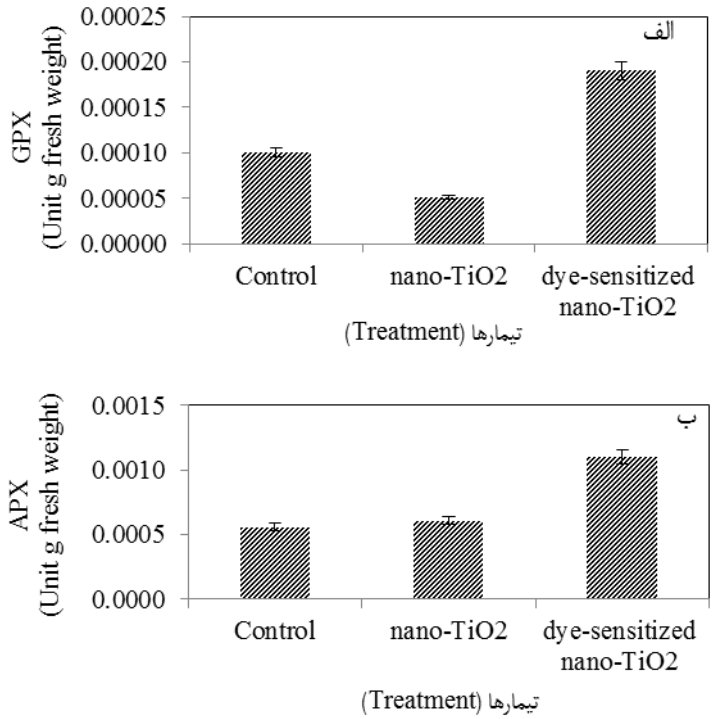
جدول ۳- مقایسه میانگین‌های آنزیم‌های پراکسیداز، کلروفیل a و وزن تر و خشک گیاه

Table 3- Mean comparisons of peroxides enzymes, chlorophyll a and dry and fresh weight of plant

تیتانیوم Titanium	غلظت ($mg.L^{-1}$) Concentration	آسکوربات (APX) (Unit)	گایاکول (GPX) (Unit)	کلروفیل a (Chlo. a) ($mg.gr^{-1}$)	وزن تر Fresh weight ($g.pot^{-1}$)	وزن خشک Dry weight ($g.pot^{-1}$)
تیتانیوم معمولی (TiO_2 nanoparticles)	0	$5.6*10^{-4\ d}$	$1*10^{-4\ d}$	2.10^{h}	8.06^{e}	1.19^{d}
	1	$8.6*10^{-4\ c}$	$1.6*10^{-5\ h}$	3.35^{c}	7.88^{e}	2.61^{c}
	10	$3.6*10^{-4\ e}$	$4.6*10^{-5\ g}$	3.47^{b}	12.92^{a}	2.28^{b}
	50	$2.3*10^{-4\ e}$	$8.6*10^{-5\ e}$	3.36^{c}	10.61^{c}	1.02^{de}
	100	$5.3*10^{-4\ d}$	$7*10^{-5\ f}$	3.46^{b}	13.00^{a}	2.15^{b}
	500	$1.1*10^{-3\ b}$	$4*10^{-5\ g}$	3.51^{a}	9.38^{d}	2.58^{c}
تیتانیوم حساس به رنگ (Dye-sensitized TiO_2 nanoparticles)	0	$5.6*10^{-4\ d}$	$1*10^{-4\ d}$	2.10^{h}	8.06^{e}	1.19^{d}
	1	$1.1*10^{-3\ b}$	$9.6*10^{-5\ de}$	2.72^{f}	9.09^{d}	2.66^{a}
	10	$8*10^{-4\ c}$	$1.3*10^{-4\ c}$	3.26^{e}	12.56^{b}	2.68^{a}
	50	$7.6*10^{-4\ c}$	$2.7*10^{-4\ b}$	3.29^{d}	12.49^{b}	2.45^{ab}
	100	$9*10^{-4\ c}$	$3.7*10^{-4\ a}$	3.30^{g}	9.40^{d}	2.26^{b}
	500	$2.4*10^{-3\ a}$	$9.3*10^{-5\ de}$	3.52^{a}	7.39^{f}	0.80^{e}

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشابهی هستند از نظر آماری در آزمون دانکن معنی‌دار نشده‌اند.

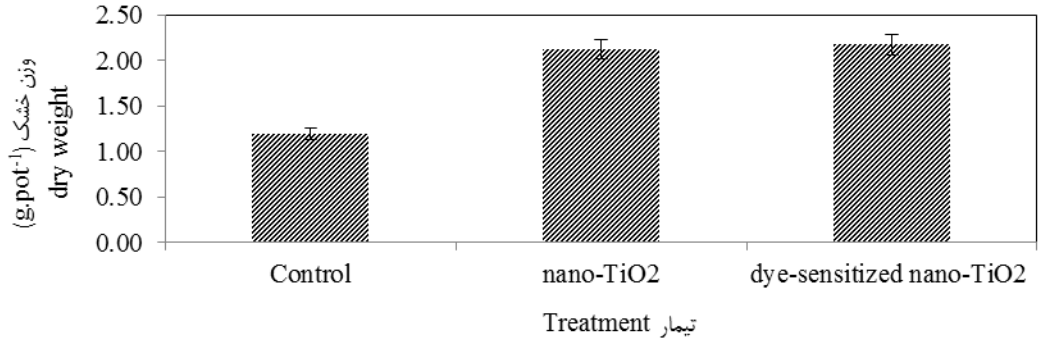
In each column, the numbers having the same letters are not statistically significant in the Duncan test.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده انواع نانوذرات دی اکسید تیتانیم بر فعالیت آنزیم‌های الف) گایاکول پراکسیداز (GPX) و ب) آسکوربات پراکسیداز (APX)

Figure 3- Mean comparison of simple effects of Nano TiO_2 types on a) GPX and b) APX enzymatic activity

طبق نتایج بدست آمده در جدول ۳ مقدار کلروفیل a برای تمام غلظت‌های به کار رفته در آزمایش از نظر آماری دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند و غلظت‌های هر دو نانوذره نسبت به شاهد عملکرد بالاتری را نشان دادند اما همانطور که مشاهده می‌شود مقدار کلروفیل a درغلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هر دو نانوذره دارای بالاترین مقدار است. به نظر می‌رسد که مقدار کلروفیل a با افزایش غلظت رابطه مستقیم دارد. افزایش میزان کلروفیل بویژه افزایش مقدار کلروفیل a در مطالعات قبلی نیز نشان داده شده است: برای مثال مرتضی و همکاران (۲۸) در آزمایشی که روی ذرت (*Zea mays* L.) انجام دادند، افزایش مقدار کلروفیل a را در اعمال بالاترین غلظت نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم (۰،۰۳ درصد) اعلام کردند. همچنین یانگ و همکاران (۴۳) در آزمایشی تحت عنوان تاثیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم بر متابولیسم نیتروژن در گیاه اسفناج، افزایش مقدار کلروفیل را بعد از اعمال نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم نسبت به تیمار شاهد گزارش کردند. جان‌محمدی و همکاران (۱۷) نیز بیان داشتند که محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم، مقدار کلروفیل گیاه جو را افزایش می‌دهد. هاشمی‌دهکردی و همکاران (۱۲) در تحقیقی تاثیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم را بر روی خصوصیات فیزیولوژیکی توت فرنگی رقم کوئین الیزا بررسی کردند و بیان داشتند که میزان کلروفیل برگ، درصد تشکیل میوه و وزن تر و خشک اندام هوایی در بالاترین غلظت نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم (۱۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر) حداکثر افزایش را نسبت به شاهد نشان دادند. وزن تر و وزن خشک کل گیاه همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است در مقایسه با شاهد مورد ارزیابی قرار گرفت، همانطور که مشاهده می‌شود این دو ویژگی مانند سایر خصوصیات ارزیابی شده در غلظت‌های نانوذرات تیتانیم دی‌اکسید حساس شده به رنگ و معمولی دارای تفاوت معنی‌دار از نظر آماری هستند، همانطور که مشاهده می‌شود وزن تر کل گیاه در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات معمولی دارای بالاترین مقدار است، اما افزایش وزن خشک گیاه با اعمال نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم حساس شده به رنگ مشاهده شد، این تفاوت در شکل ۴ قابل مشاهده است. اما افزایش وزن تر و خشک گیاه در دیگر مطالعات بررسی شده است که نتایج بدست آمده از این تحقیق با آن‌ها مطابقت دارد. برای مثال یانگ و همکاران (۴۳)، افزایش وزن تر و خشک گیاه اسفناج را در کاربرد نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم گزارش دادند. همچنین افزایش ۲۰ درصدی وزن خشک گیاه لوبیا پس از اعمال تیتانیم گزارش شده است (۳۶). همچنین گزارش شده که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم جوانه‌زنی بذر و رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه را در گیاه کلزا افزایش می‌دهند (۲۳). جبارزاده و همکاران (۱۵) گزارش کردند که نانوذرات دی‌اکسید تیتانیم رشد گیاه و اجزاء عملکرد گیاه را تحت شرایط تنش آبی افزایش می دهند.



شکل ٤- مقایسه میانگین اثرات ساده انواع نانوذرات دی اکسید تیتانیم بر وزن خشک گیاه
Figure 4- Mean comparison of simple effects of Nano TiO_2 types on dry weight of plant

ارزیابی مقدار عناصر فسفر، پتاسیم، روی و منگنز در اندام هوایی

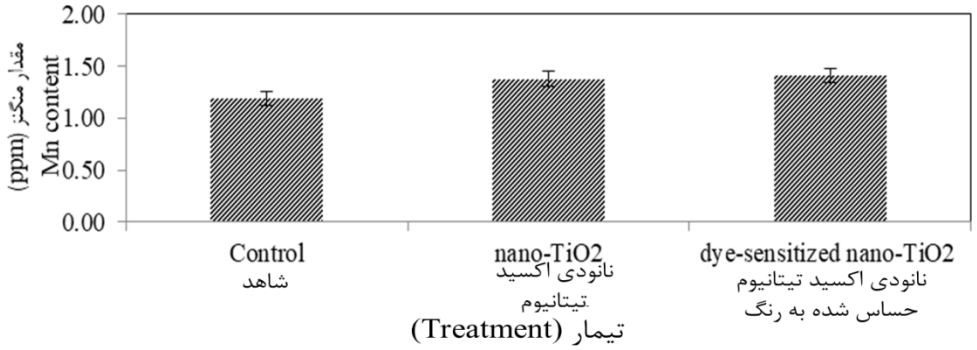
طبق نتایج بدست آمده میزان فسفر در تمام غلظت‌ها از نظر آماری دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشد و تمام غلظت‌ها نسبت به شاهد عملکرد بالاتری را نشان می‌دهند اما بالاترین مقدار مربوط به اعمال غلظت‌های نانوذرات حساس شده به رنگ و در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر است. مقدار پتاسیم نیز علاوه بر این که در غلظت‌های مختلف دارای بازده متفاوتی است همانطور که مشاهده می‌شود برای هر دو نانوذره نسبت به شاهد دارای عملکرد بالاتری است اما بیشترین مقدار آن مربوط به غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات حساس شده به رنگ می‌باشد (جدول ۴). قبلا نیز گزارش شده است تیتانیم نه تنها یکی از عناصر سودمند جهت رشد گیاه است بلکه می‌تواند جذب برخی از عناصر نظیر نیتروژن، کلسیم، منیزیم، فسفر، آهن، منگنز و روی را تحریک نماید (۳۴).

مقدار عناصر روی و منگنز که از عناصر کم‌مصرف گیاه هستند دارای بالاترین مقدار در اعمال نانوذرات حساس شده به رنگ می باشند مطابق با جدول ۴ مقدار عنصر روی در اعمال غلظت ۵۰ میلی-گرم بر لیتر نانوذرات حساس شده به رنگ دارای بیشترین مقدار است، در حالی‌که منگنز در بالاترین غلظت نانوذرات حساس شده به رنگ (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بیشترین مقدار را دارد، تفاوت مقدار عنصر منگنز در هر یک از نانوذرات نسبت به هم و نسبت به شاهد در شکل ۵ مشاهده می‌شود. افزایش مقدار این عناصر با اعمال نانوذرات تیتانیم معمولی در مطالعات قبلی نیز نشان داده شده است اما همانطور که مشاهده شد با اعمال نانوذرات حساس شده به رنگ این مقدار افزایش بیشتری پیدا کرد.

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های برخی عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف
Table 4- Mean comparisons of some of macro and micro nutrients

تیتانیوم Titanium	غلظت ($mg.L^{-1}$) Concentration	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	منگنز Mn (ppm)	روی Zn (ppm)
تیتانیوم معمولی (TiO_2 nanoparticles)	0	0.47^{h}	4.9^{e}	1.19^{h}	18.46^{b}
	1	0.53^{g}	6.3^{b}	1.64^{b}	17.17^{b}
	10	0.61^{ef}	5.2^{ed}	1.52^{c}	18.34^{b}
	50	0.78^{b}	5.7^{c}	1.16^{i}	13.82^{d}
	100	0.58^{f}	5.5^{cd}	1.20^{h}	18.47^{b}
	500	0.68^{d}	5.4^{cd}	1.41^{d}	17.61^{b}
تیتانیوم حساس به رنگ (Dye-sensitized TiO_2 nanoparticles)	0	0.47^{h}	4.9^{e}	1.19^{h}	18.46^{b}
	1	0.62^{e}	5.4^{cd}	1.34^{e}	14.82^{cd}
	10	0.81^{a}	5.1^{ed}	1.25^{g}	15.22^{cd}
	50	0.74^{c}	5.8^{c}	1.16^{i}	23.66^{a}
	100	0.67^{d}	7.0^{a}	1.26^{f}	15.58^{c}
	500	0.80^{ab}	5.2^{ed}	2.07^{a}	10.34^{e}

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشابهی هستند از نظر آماری در آزمون دانکن معنی‌دار نشده‌اند.
In each column, the numbers having the same letters are not statistically significant in the Duncan test.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات ساده انواع نانوذرات دی اکسید تیتانیم بر مقدار منگنز در اندام‌های هوایی گیاه
Figure 5- Mean comparison of simple effects of Nano TiO_2 types on Mn content in shoots plant

برای مثال پایس (۳۵) چند ویژگی مفید از تیتانیم را بیان کرد، شامل: اثر مثبت تیتانیم بر رشد گیاه، افزایش فعالیت آنزیم و اثر مثبت آن بر متابولیسم، جلوگیری از اثر سمیت دیگر عناصر و افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاهان. همچنین پیشنهاد شده است که تیتانیم سبب افزایش جذب و فعالیت عنصر آهن شده و از این طریق سبب افزایش کلروفیل در سیتوپلاسم شده و در نتیجه فعالیت فتوسنتز گیاه را افزایش می‌دهد (۴ و ۱). علاوه بر این غلظت بسیاری از عناصر ضروری وقتی که از تیمار تیتانیم استفاده می‌شود افزایش می‌یابد که این افزایش جذب به روش استفاده از تیتانیم وابسته نیست (۸ و ۲۵).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر، هر دو نانوذره در تمامی پارامترها بیشترین عملکرد را نشان دادند اما در نانوذرات تیتانیم حساس شده به رنگ در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، وزن خشک کل گیاه و مقدار فسفر اندام هوایی گیاه، در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، آنزیم گایاکول پراکسیداز و مقدار پتاسیم اندام هوایی گیاه، در غلظت ۵۰۰ پی‌پی‌ام، آنزیم آسکوربات پراکسیدار و مقدار منگنز اندام هوایی و در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مقدار عنصر روی در اندام هوایی نسبت به شاهد و سایر تیمارها بیشترین افزایش را نشان دادند. در حالی‌که، کلروفیل a در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هر دو نانوذره از نظر آماری بالاترین مقدار را نشان می‌دهد، اما وزن تر برخلاف دیگر پارامترها با اعمال نانوذرات معمولی بهترین عملکرد را نشان داد. به نظر می‌رسد که این نانوذرات بر اثر رنگ‌دار شدن، واکنش‌های مرتبط با نور را نسبت به نانوذرات معمولی شدت می‌دهند و در نتیجه عملکرد بهتری حاصل می‌شود.

سپاسگزاری

این تحقیق با استفاده از اعتبارات گرنت پژوهشی به شماره UOZ-GR-9517-20 دانشگاه زابل به انجام رسیده است. بدینوسیله از معاونت محترم پژوهش و فن‌آوری دانشگاه زابل قدردانی می‌گردد.

منابع

1- Alcaraz C.F., Carvajal M., Frutos M.J., Gimrnez J.L., Martfnez-Sfinchez F., and Pastor J.J. 1994. The physiological role of titanium in *Capsicum annuum* L. plants. Proceedings of the 6th International Trace Element Symposium, Abstract. 2. Budapest.
2- Arnon A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.
3- Baruah S., and Dutta J. 2009. Nanotechnology applications in Sensing and Pollution Degradation in Agriculture. Environmental Chemistry Letters 7: 191-204.
4- Carvajal M., and Alcaraz C.F. 1995. Effect of Ti (IV) on Fe activity in *Capsicum annuum*. Elsevier Science Ltd Printed in Great Britain. All rights reserved 0031-9422/95 $9.50+0.00.
5- Carvajal M., and Alcaraz C.F. 1998. Why titanium is a beneficial element for plants. Journal of Plant Nutrition 21(4): 655-664.
6- Carvajal M., Martfnez-Sfinchez F., and Alcaraz CF. 1994. Effect of Titanium (IV) application on some enzymatic activities in several developing stages of red pepper plants. Journal of Plant Nutrition 17: 243-253.
7- Elghniji K., Sabrine S., Ben Mosbah M., Elimame E., and Moussaoui Y. 2014. Detoxification of 4-chlorophenol in TiO_2 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.
8- Feher M., Papp K., Fodor P., and Pais I. 1987. The effect of titanium on the uptake of other nutritive elements. p.

69-100. In I. Pals (ed.) New Results in the Research of Hardly Known Trace Elements and the Analytical Problem of Trace Element Research. University of Horticulture, Budapest.
9- Gao F., Hong F., Liu C., Zheng L., Su M., Wu X et al. 2006. Mechanism of nano-anatase TiO_2 on promoting photosynthetic carbon reaction of spinach. Biological Trace Element Research 111: 239-253.
10- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle-size analysis. p. 383-411. In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. Part I. Agron. Monogr. 9. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
11- Haghighi M., and Daneshmand B. 2013. Comparing the effects of titanium and nano-titanium on growth and photosynthetic changes of tomato in hydroponic culture. Journal of Greenhouse Culture Science and Technology 4(1): 73-80. (In Persian with English abstract)
12- Hashemi Dehkourdi E., Mousavi M., Moallemi N., and Ghafariyan Moghareb M.H. 2016. Effect of nanoparticles of titanium dioxide (anatase) on physiological characteristics of strawberry (*Fragaria ananassa* c.v.Queen Elisa) in hydroponic condition. Process and Plant Function 5(16): 1-8. (In Persian with English abstract)
13- Helmke P.A., and Sparks D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, cesium, and rubidium. P. 551-574. In D.L. Sparks (Ed.) Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods and processes. Soil Science Society of America, Madison, WI.
14- Hong F.S., Zhou J., Liu C et al. 2005. Effect of nano-TiO_2 on photochemical reaction of chloroplasts of spinach. Biological Trace Element Research 105: 269–280.
15- Jaberzadeh A., Moaveni P., Moghadam H.R.T., and Zahedi H. 2013. Influence of bulk and nanoparticles titanium foliar application on some agronomic traits, seed gluten and starch contents of wheat subjected to water deficit stress. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici 41: 201–207.
16- Jakson M.L. 1967. Soil Chemical Analysis, Prentice- Hall of India Private Limited. New Dehli.
17- Janmohammadi M., Amanzadeh T., Sabaghnia N., and Dashti Sh. 2016. Impact of foliar application of nano micronutrient fertilizers and titanium dioxide nanoparticles on the growth and yield components of barley under supplemental irrigation. Acta agriculturae Slovenica 107: 265-276.
18- Jones J.R., Wolf J.B., and Mills H.A. 1991. Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling Preparation Analysis and Interpretation Guide. Micro Macro Publishing Inc. Athens, Georgia, USA.
19- Kahila M.M.H., Najy A.M., Rahaie M., and Mir-Derikvand M. 2017. Effect of nanoparticle treatment on expression of a key gene involved in thymoquinone biosynthetic pathway in *Nigella sativa* L. Natural Product Research 1-5.
20- Kuzel S., Hruby M., Cigler P., Tlustos P., and Van P.N. 2003. Mechanism of physiological effects of titanium leaf sprays on plants grown on soil. Biological Trace Element Research 91(2): 179-190.
21- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of DTPA Soil test for Zinc, Iron, Mangnese and Copper. Soil Science Society of America Journal 42: 421-428.
22- Lu C.M., Zhang C.Y., Wen J.Q., Wu G.R., and Tao M.X. 2002. Research on the effect of nanometer materials on germination and growth enhancement of *Glycine max* and its mechanism. Soybean Science 21: 68-172.
23- Mahmoodzadeh H., Nabavi M., and Kashefi H. 2013. Effect of nanoscale titanium dioxide particles on the germination and growth of canola (*Brassica napus*). Journal of Ornamental Horticultural Plants 3: 25-32.
24- Mano J.I., Endo T., and Miyake C. 2016. How do photosynthetic organisms manage light stress? A tribute to the late Professor Kozi Asada. Plant and Cell Physiology 57(7): 1351-1353.
25- Martfnez-S~chez E., Gim6nez J.L., Carvajal M., Moreno A., Fuentes J.L., and Alcaraz C.F. 1992. Efectos de tratamientos foliates con Ti(IV) sobre nutrici6n, producci6ny calidad de fruto en plantas de *Capsicum annuum* L. Sueloy Planta 2: 101-111.
26- Mclean E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. p. 199–224. In P. Al., M. Rh., and K. Dr. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties. Agronomy Monograph. 9. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
27- Mir H., Gholamalizade Ahangar A., and Mir N. 2016. Superior performance of dye-sensitized versus conventional TiO_2 nanoparticles for promoting germination and early growth of Barley: From photovoltaic to biotechnological application. Journal of Nano Research 35: 77-91.
28- Morteza E., Moaveni P., Aliabadi Farahaniand H., and Kiyani M. 2013. Study of photosynthetic pigments changes of maize (*Zea mays* L.) under nano TiO_2 spraying at various growth stages. Springer Plus 2: 247.
29- Movafeghi A., Khataee A.R., Abedi M., Tarrahi R., Dadpour M.R., and Vafaei F. 2018. Effects of TiO_2 nanoparticles on the aquatic plant *Spirodela polyrrhiza*: Evaluation of growth parameters, pigment contents and antioxidant enzyme activities. Journal of Environmental Sciences 64: 130-138.
30- Nair R., Varghese S.H., Nair B.G., Maekawa T., Yoshida Y., and Kumar D.S. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Science 179: 154-163.
31- Narula C., Kaur I., and Kaur N. 2015. Characterization and optoelectronics investigations of mixed donor ligand directed semiconductor ZnO nanoparticles. Journal of Materials Science: Materials in Electronics 26(2): 791-800.
32- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In A.L. Page et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2, 2nd ed. American Society of Agronomy, American Society of

Agronomy, Madison, WI.
33- Owolade O.F., Ogunleti D.O., and Adenekan M.O. 2008. Titanium dioxide affects diseases, development and yield of edible cowpea. Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry 7(5): 2942-2947.
34- Pais I. 1983. The biological important of titanium. Journal of Plant Nutrition 6: 3-131.
35- Pais I. 1991. Criteria of essentiality, beneficiality and toxicity. What is too little and too much? pp. 59-77. In I. Pais (ed.) Cycling of the Nutritive Elementin Geo-and Biosphere. University of Horticultural and Food Science, Budapest, Hungary.
36- Ram N., Verloo M., and Cottenie A. 1983. Response of bean (*Phaseolus vulgaris*) to foliar spray of titanium. Plant Soil 73: 285-290.
37- Rhoades J.D. 1982. Soluble salts. P. 167-178. In P. Al., M. Rh., and K. Dr. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2, chemical and microbiological properties. Agronomy Monograph. 9. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
38- Sawhney A.P.S., and Condon B. 2008. Modern Applications of Nanotechnology in Textiles. Textile Research Journal 78: 731-739.
39- Simon L., Hajdu F., Balogh A., and Pais I. 1988. Effect of titanium on growth and photosynthetic pigment composition of *Chlorella pyrenoidosa* (green alga). II. Effect of titanium ascorbate on pigment content and chlorophyll metabolism of chlorella. p. 87-101. In I. Pais. (Ed.) New Results in the Research of Hardly Known Trace Elements and Their Role in the Food Chain. University of Horticultural and Food Science, Budapest, Hungary.
40- Syu Y.Y., Hung J.H., Chen J.C., and Chuang H.W. 2014. Impacts of size and shape of silver nanoparticles on Arabidopsis plant growth and gene expression. Plant Physiology and Biochemistry 83: 57-64.
41- Tarantilis P.A., Tsoupras G., and Polissiou M. 1995. Determination of saffron (*Crocus sativus* L.) components in crude plant extract using high-performance liquid chromatography-UV-visible photodiode-array detection-mass spectrometry. Journal of Chromatography A 699: 107-118
42- Waling I., Van W., Vark V.J.G., and Vander Lee. 1989. Soil and Plant Analysis, a Series of Sylladi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University.
43- Yang F., Hong F.S., and You W.J. 2006. Influences of nano-anatase TiO_2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biological Trace Element Research 110: 179-190.
44- Zheng L., Hong F.S., Lu S.P., and Liu C. 2005. Effect of nano-TiO_2 on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. Biological Trace Element Research 104(1): 83-91.

Journal of Water and Soil
Vol. 33, No. 1, Mar.-Apr. 2019, p. 51-62

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۳، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۸، ص. ۶۲-۵۱

The Effect of Treated Seeds with Normal and Dye-sensitized TiO_2 Nanoparticles on the Elements Absorption and the Enzymatic Activity

H. Mir[1]- A. Gholamalizadeh Ahangar[2]*- N. Mir[3]

Received: 09-10-2017
Accepted: 19-11-2018

Introduction: Increasing the production rate became considerable for farmers in various ways. Modern technologies, such as biotechnology and nanotechnology could play an important role in increasing the production and improving the quality of agricultural products. Research into the direct application of nanotechnology into agriculture is set to increase in the future. One of the most remarkable plant growth factors is its nutrition. Titanium plays a beneficial role in increasing and stimulating plants growth. Titanium's usage in nutrition solution or spraying on the plant will increase the biomass and growth of different plant species. With respect to Nano technology enhancement in recent years the application of nano-particles is increasing. All the positive effects of titanium dioxide depend on its ability to absorb light and the main disadvantages of this combination are the low ability to absorb visible light from the sun and absorbing more UV light. It is possible to improve its effectiveness due to the high proportion of sunlight in the visible range by absorbing the visible light of nano-particles. To achieve this goal a layer of color will be added on the surface of the nanoparticles, which is called the nanoparticle sensitization by color. Due to the absorption of light by titanium dioxide nano-particles, especially ultraviolet radiation, it is assumed that the creation of a color layer on these nano-particles increases the antibacterial and fungal properties of these nanoparticles. As a result, the goal of this experiment is to investigate the possible increase in light absorption and increase the yield of the sorghum plant by titanium dioxide nano-particles of Dye-Sensitized, which, some of the parameters were investigated by treating the seeds of the plant with both nanoparticles.

Materials and Methods: This research was performed in three replications in a completely randomized design with factorial arrangement and with 12 treatments containing 6 concentrations of titanium dioxide nano-particles (0, 1, 10, 50, 100 and 500 $mg.L^{-1}$), 6 concentration of titanium dioxide nanoparticles of Dye-Sensitized (0, 1, 10, 50, 100 and 500 $mg.L^{-1}$). Fresh and dry weight of plants, plant nutrients content (Phosphorus, Potassium, Manganese, and Zinc), activity of ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and chlorophyll content parameters have been measured.

Discussion and Results: The saffron compounds have significant peaks in the UV-Vis spectrum. The spectrum of titanium dioxide nanoparticles has a specific peak in the ultraviolet range (Area between wavelengths of 200-400 nm) however there is no trace of absorption in visible areas. The spectrum of the saffron solution has two identifiable peaks at 328 and 258 nm, and a double peak at 466 and 442 nm. The observed peak at 258 nm is related to the combination of Picrocrocin, which is the same colorless bitter substance found in saffron. The dual peaks range between 400-500 nm and the peak appearing at 328 nm are related to the carotenoids found in saffron. Crocin also has similar peaks which are likely to be overlapping with trans-isomeric peaks and not separable. The Spectrum of titanium dioxide nano-particles covered with saffron color also represents two peaks at 322 and 260 nm, and a peak at 430 nm with a specific shoulder at 458 nm. What comes from the comparison of two saffron peaks alone and saffron coated on titanium dioxide nano-particles is that the Crocin molecules contained in saffron are attached to nano-particles. According to the results, dry weight and enzymatic activity of Guaiacol peroxide and Ascorbate peroxide showed a significant increase compared to the control and had the highest performance respectively at concentrations of 10, 100 and 500 $mg.L^{-1}$of titanium dioxide nano-particles of Dye-Sensitized, and showed 1.25, 2.7 and 3.28 fold. The amount of plant nutrients such as phosphorus, potassium, manganese, and zinc at concentrations of 10, 100, 500 and 50 $mg.L^{-1}$titanium dioxide nanoparticles of Dye-Sensitized had a 72.34, 42.85, 73.95 and 28.17 percent increase, except fresh weight and chlorophyll a. Chlorophyll a at a concentration of 500 $mg.L^{-1}$of both nano-particles showed the highest amount, but the fresh weight, unlike other parameters, showed the best performance with normal

1 and 2- Former M.Sc. Student in Soil Science and Associate Professor Soil and Water Engineering Faculty, University of Zabol, Zabol, Iran
(*- Corresponding Author Email: ahangar@uoz.ac.ir)
3- Associate Professor in Chemistry, Department of Chemistry, University of Zabol, Zabol, Iran

nanoparticles.

Conclusion: It seems that these nano-particles, by coloring, intensify light-related reactions compared to normal nano-particles, which results in better performance.

Keywords: Chlorophyll, Dye-sensitized, Enzyme, Nutrition, Sorghum