

ارزیابی تأثیر نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم بر چغندر قند

An assessment of the effect of TiO₂ nanoparticles on sugar beet

پیام معاونی^۱، کیوان شریفی^۲ و داریوش طالقانی^۳

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۰۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۰

پ. معاونی، ک. شریفی و د. طالقانی. ۱۳۹۷. ارزیابی تأثیر نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم بر چغندر قند. چغندر قند، ۳۴(۲): ۱۹۳-۲۰۲. DOI: 10.22092/jsb.2019.105229.1115

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی نانو ذرات تیتانیوم بر صفات بیوشیمیایی، تکنولوژیکی و عملکرد چغندر قند، این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه مهندس مطهری کمال‌آباد کرج در سال ۱۳۹۳ انجام شد. کرت‌های اصلی به مرحله محلول پاشی (شامل سه مرحله ۱۴-، ۱۰-، ۲۰- و ۲۴-۲۰ برگه‌ها) و کرت فرعی به غلظت محلول (شامل چهار سطح آب مقطر (شاهد) و اسپری محلول نانوذره دی‌اکسیدتیتانیوم با غلظت ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) اختصاص داده شد. نتایج نشان داد غلظت محلول دی‌اکسید تیتانیوم در سطح احتمال یک درصد بر عیار قند ناخالص و خالص اثر معنی‌داری گذاشت. به نحوی که بیشترین درصد قند (۱۵/۵ درصد) و درصد قند قابل استحصال (۱۱/۳ درصد) با کاربرد ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم دی‌اکسید تیتانیوم بر لیتر حاصل شد که در مقایسه با تیمار شاهد معادل ۰/۵ و ۰/۸ واحد بهبود یافت. این تأثیر مستقل از مرحله محلول پاشی بود. از سوی دیگر، تأثیرات کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم بر ناخالصی‌های ریشه موجب شد تا ضریب استحصال شکر با محلول پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم دی‌اکسید تیتانیوم بر لیتر معادل ۲/۵ واحد افزایش معنی‌داری را تجربه کند. با افزایش غلظت نانوذره دی‌اکسیدتیتانیوم، از یک سو بر مقدار آنزیم کاتالاز، پروتئین محلول برگ و کاروتنوئیدها افزوده شد و از سوی دیگر، مقدار آنزیم پراکسیداز و کلروفیل a و b کاهش یافت. در مجموع، کاربرد این ماده شیمیایی طی فصل رشد، با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم نانوذره دی‌اکسیدتیتانیوم بر لیتر می‌تواند بهبود کیفیت محصول چغندر قند را به دنبال داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، پروتئین محلول برگ، چغندر قند، کاتالاز، کاروتنوئید، کلروفیل، نانوذره دی‌اکسیدتیتانیوم

۱- استادیار گروه زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران، ایران. * نویسنده مسئول payam.moaveni@yahoo.com

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، تهران، ایران.

۳- دانشیار موسسه تحقیقات چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

مقدمه

نانوتکنولوژی یکی از زمینه‌های چندرشته‌ای محسوب می‌شود که طیف گسترده‌ای از فرآیندها، مواد و برنامه‌های کاربردی را شامل می‌شود. هدغ اصلی این رشته جدید، عبارت است از مشخص کردن، ساخت و دست‌ورزی مواد مختلف در سطح نانو است (Handford *et al.* 2014). از جمله دلایل عمده کاربرد وسیع این مواد به ویژگی افزایش سطح این مواد نسبت به حجم آنها مربوط می‌شود (Doyle 2006). بخش کشاورزی گرچه به‌عنوان آخرین بخش علاقمند به کاربرد فناوری نانو محسوب می‌شود (Handford *et al.* 2014) اما این فناوری به‌سرعت در راستای افزایش میزان تولید غذا، ارتقای ارزش غذایی، کیفیت و ایمنی مواد غذایی در حال استفاده است (Mousavi and Rezaei 2011).

نانوذرات (Nanoparticles= NPs) و نانومواد (Nanomaterials= NMs) مورد استفاده در دو گروه مشتقات کربنی (Carbon nanomaterial= CBNMs) و مشتقات فلزی (Metal-based nanomaterials= MBNMs) تقسیم‌بندی می‌شوند (Capaldi Arruda *et al.* 2015). در گروه مشتقات فلزی، عمده‌ترین نانوذرات شامل دی‌اکسید تیتانیوم (TiO_2)، اکسید سربوم (CeO_2)، اکسید آهن (Fe_3O_4)، اکسیدروی (ZnO) و اکسید نقره (AgNO_3) می‌شوند (Rico *et al.* 2011).

نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم ($n\text{TiO}$) به‌واسطه خواص ویژه الکتریکی، نوری و فوتوکاتالیستی که دارد، بیشترین کاربرد را در بین نانوذرات فلزی به‌خود اختصاص داده است (Mattiello and Marchiol 2017). استفاده از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم می‌تواند باعث تحریک تقسیم سلولی، افزایش اندازه سلول و همچنین تحریک کالوس‌زایی در شرایط تاریکی شود و ممکن است اثرات مشابهی با هورمون‌های گیاهی- نظیر سایتوکینین و جیبرلین- داشته باشد (Mandeh *et al.* 2012). همچنین تیمار بوته‌ها با این نانوذره موجب

افزایش جذب نور، تسریع انتقال و تبدیل انرژی تشعشعی، ممانعت از زوال کلروپلاست‌ها و افزایش طول دوره فتوسنتزی کلروپلاست‌ها می‌شود (Hong *et al.* 2005).

اثرات متفاوتی از کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم روی رشد گیاهان مختلف گزارش شده است. برخی مطالعات نشانگر ایجاد سمیت سیتولوژیکی در گیاهان است (Kang *et al.* 2008) و این درحالی است پژوهش‌گران دیگر (Nohynek *et al.* 2008)، اثرات مثبت این ماده را مورد تأکید قرار داده‌اند. تیمار بذر جعفری (*Petroselinum crispum*) با نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم موجب افزایش درصد جوانه‌زنی، شاخص میزان جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و وزن تر آنها و مقدار کلروفیل محتوی گیاهچه‌ها شد (Dehkourdi and Mosavi 2015). در همین ارتباط، اثرات معنی‌دار نانوذرات تیتانیوم بر جوانه‌زنی بذور اسفناج به اندازه کوچک این ذرات نسبت داده شده است (Zhang *et al.* 2005). ایشان تأکید کرده‌اند که کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم موجب بهبود جوانه‌زنی بذرهای سنواتی و پیر اسفناج شده‌است. همچنین، فیضی و همکاران (Feizi *et al.* 2013) مشاهده کردند که جوانه‌زنی بذر مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) در نتیجه تیمار آن با دی‌اکسید تیتانیوم بهبود یافت. در رابطه با تأثیر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر جوانه‌زنی بذر جو نشان داده شده‌است که چرخه زندگی و نحوه انباشت بیوماس با کاربرد این مواد بهبود می‌یابد (Mattiello and Marchiol 2017). با این وجود، دست‌کم دو گزارش وجود دارد که نشان‌دهنده اثرات بازدارنده کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم روی جوانه‌زنی بذر و رشد ریشه است (Seeger *et al.* 2009; Castiglione *et al.* 2011).

مطالعات پیشین حاکی از اثرات مثبت این نانوذره بر رشدرویشی گیاهان مختلف بوده‌است. به‌عنوان مثال، نشان داده شده‌است که میزان تولید اکسیژن توسط کلروپلاست‌های اسفناج افزایش می‌یابد (Hong *et al.* 2005). نتایج مطالعه دیگری روی اسفناج نیز حاکی از افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی سال زراعی ۱۳۹۳ در ایستگاه تحقیقات چغندرقد واقع در کمال‌شهر کرج با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و شش دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. کرت اصلی به مراحل محلول‌پاشی شامل سه سطح ۱۴-۱۰، ۲۰-۱۴ و ۲۴-۲۰ برگه بوته‌ها و کرت فرعی به غلظت محلول نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم شامل چهار سطح ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اختصاص داده شد. عملیات محلول‌پاشی عصرهنگام در شرایط عدم تابش مستقیم نور خورشید انجام شد. دی‌اکسید تیتانیوم با مشخصات شیمیایی شامل جرم مولکولی ۷۹/۸۶۵ گرم بر مول و چگالی ۳/۹-۴/۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب (ساخت کشور آلمان) از مؤسسه مبتکران شیمی تهیه شد.

هر کرت فرعی از شش ردیف کاشت به طول ۱۲ متر به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر تشکیل شده بود. بذر مورد کاشت به رقم منوژرم اکباتان (مقاوم به پوسیدگی ریشه) متعلق بود. عملیات کاشت و برداشت به ترتیب در دهه اول اردیبهشت و دهه دوم آبان صورت پذیرفت. سایر عملیات زراعی طبق معمول انجام شد.

صفات بیوشیمیایی از جمله سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز (Pereira 2003) و پراکسیداز (Rudrappa et al. 2007) و مقدار رنگدانه‌های کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها (Lorenzen 1967) همراه با مقدار پروتئین محلول برگ (Bradford 1976) با استفاده از برگ‌های بالغ موجود روی ردیف‌های دوم هر کرت پس از سومین مرحله‌ی محلول‌پاشی انجام شد.

(Rubisco) طی فرآیند فتوسنتز در بوته‌های تیمار شده با دی‌اکسید تیتانیوم بود (Gao et al. 2008). لی و همکاران (Lee et al. 2005) گزارش دادند کاربرد این مواد موجب افزایش جذب و انتقال انرژی نورانی و تبدیل آن به انرژی شیمیایی می‌شود. در واقع، تقویت زنجیره انتقال الکترون در فعالیت‌های احیای نوری فتوسنتز دو و فعالیت‌های فتوفسفوریلاسیون کلروپلاست اسفناج ناشی از کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم تلقی می‌شود. کی و همکاران (Qi et al. 2013) گزارش کردند تیمار بوته‌های گوجه‌فرنگی با دی‌اکسید تیتانیوم موجب بهبود فتوسنتز آنها در شرایط تنش گرمایی ملایم شد. در مطالعه لی و همکاران (Li et al. 2015) کلیه پارامترهای ریخت‌شناسی (شامل طول ریشه، ارتفاع بوته و وزن‌تر)، فیزیولوژیکی (مانند تبادل گازهای فتوسنتزی، میزان کلروفیل و فعالیت آنزیم نیترات ردکتاز) و سیستم آنتی‌اکسیدانی (سوپراکسید دیسموتاز (Superoxide dismutase= SOD)، گواياکول پراکسیداز (Guaiacol peroxidase= POD) و کاتالاز (Catalase= CAT)) کلزا با استفاده از TiO_2 بهبود یافت. این در حالی بود که اثر معنی‌داری بر ساختار کلروپلاست مشاهده نشد. ایشان در نهایت ابراز داشتند که محلول‌پاشی دی‌اکسید تیتانیوم اثر تحریک‌کننده روی بوته‌های کلزا دارد. در رابطه با کاربرد TiO_2 در محصول چغندرقد مطالعات عمدتاً معطوف به اثرات این ماده در کنترل بیماری لکه‌برگی سرکوسپورایی (Hamza et al. 2016)، تولید کربن فعال از ملاس چغندرقد جهت جذب و کاهش گازکربنیک (Glonek et al. 2016) و بهبود تولید متان از ضایعات چغندرقد (Beiki and Keramati 2019) بوده‌است. با توجه به کمبود منابع اطلاعاتی در خصوص اثرات کاربرد این ماده شیمیایی بر خصوصیات بیوشیمیایی و عملکردی محصول چغندرقد، این مطالعه با هدف ارزیابی و تعیین مرحله و غلظت استفاده از ماده دی‌اکسید تیتانیوم اجرا شد.

نتایج و بحث

عملکرد کمی و کیفی محصول

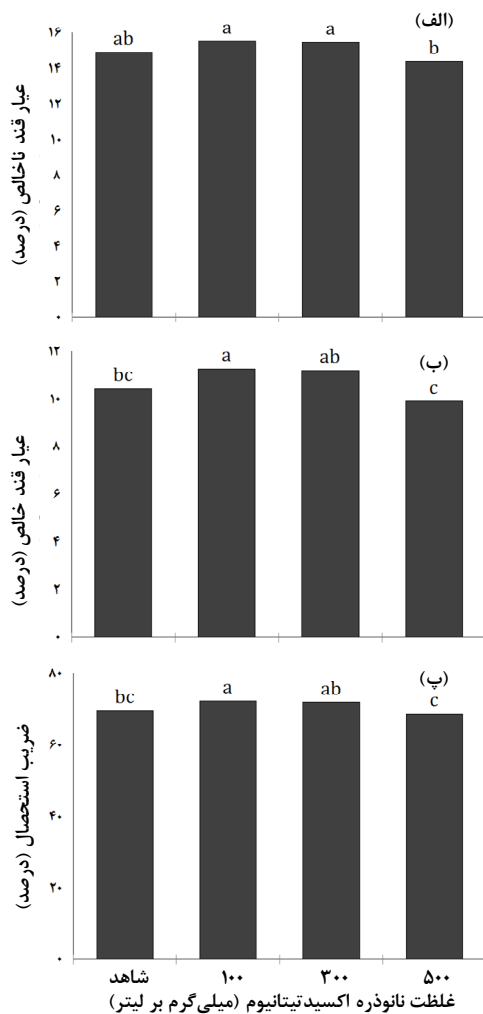
کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد ریشه، شکرخام و شکر سفید باقی نگذاشت، این در حالی بود که غلظت محلول دی‌اکسید تیتانیوم در سطح احتمال یک درصد بر عیار قند ناخالص و خالص اثر معنی‌داری گذاشت (جدول ۱). این تأثیر به نحوی بود که بیشترین عیار قند ناخالص (۱۵/۵) درصد و خالص (۱۱/۳) درصد با کاربرد ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم دی‌اکسید تیتانیوم بر لیتر حاصل شد (شکل الف و ب). در واقع، کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم موجب شد تا معادل ۰/۵ و ۰/۸ واحد به ترتیب عیار قند ناخالص و خالص بهبود یابد. این تأثیر مستقل از مرحله محلول‌پاشی بوده و بنابراین جهت بهبود خصوصیات کیفی محصول، می‌توان محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم دی‌اکسید تیتانیوم بر لیتر در طول فصل رشد را توصیه کرد. البته، با وجود آن‌که عملکرد شکرخام و شکر سفید به ترتیب تابعی از عیار قند ناخالص و خالص همراه با عملکرد ریشه است (Firoozabadi et al. 2003)، اما در مطالعه حاضر، افزایش معنی‌دار عیار قند به افزایش عملکرد شکرخام و شکر سفید منجر نشد (جدول ۱).

در زمان برداشت، ریشه‌های موجود در ردیف چهارم و پنجم پس از حذف نیم متر حاشیه بالا و پایین ردیف‌های کاشت در سطح ۱۱ مترمربع برداشت و پس از سرزنی و شستشو جهت برآورد عملکرد (RY)، ریشه‌ها توزین و یادداشت شد. خمیر ریشه توسط دستگاه Venema در آزمایشگاه تکنولوژی چغندر قند ایستگاه مهندس مطهری تهیه و جهت آنالیز کیفی به وسیله دستگاه بتالایزر مدل D3016 به روش فلیم‌فتمتری به آزمایشگاه مرجع ستاد مؤسسه تحقیقات چغندر قند ارسال شد. پس از اندازه‌گیری عیار قند (SC) به روش پلاریمتری، سدیم و پتاسیم به روش فلیم‌فتمتری و نیتروژن مضره (α -آمینو) به روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد. با تعیین مقادیر فوق، خصوصیات کیفی دیگر از قبیل درجه قلیائیت (ALC)، قدملاس (MS)، درصد قند قابل‌استحصال (WSC)، ضریب استحصال شکر یا راندمان استحصال (ECS)، عملکرد شکر خام (SY) و عملکرد شکر سفید (WSY) با استفاده از معادلات مربوطه محاسبه شد (Abdollahian noughabi et al. 2009). تجزیه واریانس بر روی داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۱ خلاصه تجزیه واریانس ارزیابی تأثیر کاربرد نانوذرات تیتانیوم بر خصوصیات کمی و کیفی چغندر قند، کرج، ۱۳۹۳

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد ریشه	عملکرد شکرخام	عملکرد شکر سفید	عیار قند		ناخالصی‌های ریشه			
					ناخالص	خالص	سدیم	پتاسیم	نیتروژن مضره	ضریب استحصال
تکرار	۳	۱۴۱/۲۹۰**	۵/۳۶۱*	۴/۱۵۳**	۱۹/۶۶۲**	۲۴/۱۴۴**	۲۴/۲۳۵**	۹/۶۰۰*	۵/۷۳۲ ns	۱۴۳/۷۵۴*
مراحل محلول‌پاشی (A)	۲	۵/۷۵۰ ns	۰/۷۰۹ ns	۰/۷۵۷ ns	۱/۶۴۷ ns	۳/۰۴۷ ns	۶/۳۳۱*	۰/۷۶۸ ns	۱/۵۹۴ ns	۳۰/۵۸۲ ns
اشتباه کرت اصلی (Ea)	۶	۴۹/۱۶۳	۰/۷۳۶	۰/۳۵۶	۰/۹۰۰	۱/۴۶۸	۱/۱۸۰	۱/۴۰۲	۱/۳۶۸	۱۸/۶۶۳
غلظت محلول (B)	۳	۱۰/۱۸۷ ns	۱/۰۳۵ ns	۱/۱۸۵ ns	۳/۴۸۸**	۵/۱۰۶**	۳/۰۴۱ ns	۰/۳۶۱ ns	۰/۳۶۹ ns	۳۷/۹۹۲*
اثر متقابل A×B	۶	۸۶/۷۹۹ ns	۲/۱۶۷ ns	۱/۲۷۷ ns	۰/۴۸۴ ns	۰/۷۱۹ ns	۰/۲۰۱ ns	۰/۹۶۳*	۳/۱۵۰*	۱۳/۰۶۴ ns
اشتباه کرت فرعی (Eb)	۲۷	۴۳/۲۰۹	۱/۱۰۰	۰/۶۸۷	۰/۷۰۰	۰/۸۶۲	۱/۰۹۷	۰/۴۱۰	۰/۹۴۵	۸/۳۱۷
ضریب تغییرات (درصد)		۱۶/۶۳	۱۷/۶۲	۱۹/۵۸	۵/۵۵	۸/۵۵	۱۹/۱۱	۹/۰۵	۲۵/۱۲	۴/۰۸

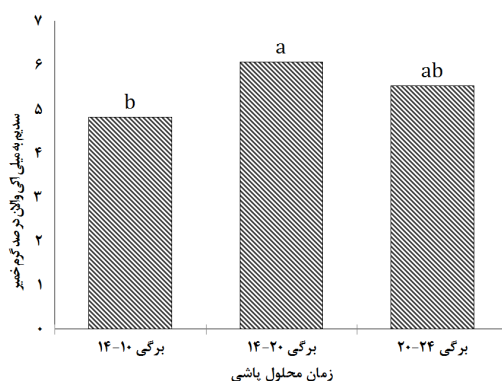
ns * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.



شکل ۱ میانگین (الف) عیار قند ناخالص، (ب) عیار قند خالص و (پ) ضریب استحصال شکر در سطوح مورد مطالعه غلظت محلول پاشی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم

نداشت اما با موکول کردن این عملیات به مرحله ۲۴-۲۰ برگی بوته‌ها و هم‌چنین افزایش غلظت دی‌اکسید تیتانیوم تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، از مقدار این ناخالصی‌ها به‌نحو معنی‌داری کاسته شد (جدول ۲). مجموع تأثیرات کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم بر ناخالصی‌های ریشه موجب شد تا اثر غلظت محلول با تأثیر معنی‌دار بر ضریب استحصال شکر در سطح احتمال پنج درصد (جدول ۱) این ضریب را معادل ۲/۵ واحد افزایش دهد (شکل ۱پ). چنین تأثیری با محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم دی‌اکسید تیتانیوم بر لیتر در طول فصل رشد به‌دست آمد.

از بین انواع ناخالصی‌های ریشه، مراحل محلول‌پاشی صرفاً روی مقدار سدیم ریشه در سطح احتمال پنج درصد تأثیر معنی‌داری گذاشت (جدول ۱) و کمترین میزان سدیم (۴/۸ میلی‌اکی‌والان در صد گرم خمیر ریشه) با محلول‌پاشی زود هنگام (۱۴-۱۰ برگی بوته‌ها) حاصل شد (شکل ۲). اثر متقابل زمان و غلظت محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد بر مقدار پتاسیم و نیتروژن مضره ریشه تأثیر معنی‌داری گذاشت (جدول ۱). نتایج نشان داد محلول‌پاشی در مراحل اولیه و میانی رشد، تأثیر معنی‌داری بر مقدار پتاسیم و نیتروژن مضره



شکل ۲ میانگین سدیم محتوی ریشه چغندر قند در سطوح مورد مطالعه مراحل محلول پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم

جدول ۲ مقایسه میانگین اثرات متقابل مراحل و غلظت کاربرد نانوذرات تیتانیوم بر میزان پتاسیم و نیتروژن مصرف ریشه چغندر قند و مقدار آنزیم کاتالاز

غلظت محلول نانوذرات تیتانیوم (درصد)				مراحل محلول پاشی
۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۱	شاهد	
پتاسیم محتوی ریشه (اکی‌والان بر صد گرم خمیر ریشه)				
۷/۵۰۵ a	۷/۳۱۸ ab	۶/۹۲۸ abc	۷/۵۴۵ a	۱۰-۱۴ برگی بوته‌ها
۶/۹۹۰ abc	۷/۰۳۰ abc	۷/۲۶۷ ab	۶/۳۴۲ bc	۱۴-۲۰ برگی بوته‌ها
۶/۱۶۵ c	۷/۴۲۰ a	۷/۳۶۲ ab	۷/۰۴۰ abc	۲۰-۲۴ برگی بوته‌ها
نیتروژن مضره محتوی ریشه (اکی‌والان بر صد گرم خمیر ریشه)				
۴/۹۸۰ a	۳/۸۹۵ a..d	۳/۲۰۰ bcd	۴/۷۸۵ ab	۱۰-۱۴ برگی بوته‌ها
۴/۳۳۰ abc	۳/۵۶۰ a..d	۳/۹۲۷ a..d	۲/۵۶۵ d	۱۴-۲۰ برگی بوته‌ها
۳/۰۰۸ cd	۳/۷۱۵ a..d	۴/۵۷۵ abc	۳/۹۰۲ a..d	۲۰-۲۴ برگی بوته‌ها
آنزیم کاتالاز (میلی‌مولار بر میلی‌گرم)				
۱/۳۲۲ a	۱/۲۷۸ a	۰/۶۱۸ b	۰/۵۵۷ b	۱۰-۱۴ برگی بوته‌ها
۱/۲۸۷ a	۰/۷۱۲ b	۰/۵۰۱ b	۰/۵۴۸ b	۱۴-۲۰ برگی بوته‌ها
۱/۳۵۲ a	۱/۲۸۷ a	۰/۵۴۹ b	۰/۴۲۸ b	۲۰-۲۴ برگی بوته‌ها

در رابطه با هر صفت، اعدای که دست‌کم دارای یک ضریب مشترک باشند در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری نشان ندادند.

آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز

پراکسیداز (۰/۰۵۳ میلی‌مولار بر میلی‌لیتر) به ترتیب به کاربرد محلول دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و تیمار شاهد همراه با کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تعلق داشت. همبستگی منفی بین مقادیر آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در گیاهان مختلف - نظیر گندم، جو، سویا و نخود - پیش‌تر نیز گزارش شده‌است (Kafi and Mahdavi 2000). از سوی دیگر، ارتقای سطح تولید آنزیم کاتالاز که عموماً انتظار می‌رود منجر به کاهش عملکرد شود (Kandil 1989) چنین تأثیری

مرحله محلول پاشی تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز نگذاشت، این در حالی بود که غلظت محلول در سطح احتمال یک درصد بر فعالیت هر دو آنزیم اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). همراه با افزایش غلظت محلول، از یک‌سو بر مقدار آنزیم کاتالاز افزوده شد و از سوی دیگر، مقدار آنزیم پراکسیداز کاهش یافت (شکل ۳ الف و ب). بیشترین میزان آنزیم کاتالاز (۱/۳۲۱ میلی‌مولار بر میلی‌لیتر) و

رنگدانه‌های محتوی برگ

همچنان که در جدول (۳) دیده می‌شود، اثر مرحله محلول‌پاشی بر مقدار کلروفیل a و b و کاروتنوئیدهای محتوی برگ معنی‌دار نشد اما غلظت محلول در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر مجموع رنگدانه‌های برگ گذاشت. مصرف نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم موجب کاهش معنی‌دار کلروفیل a و b در برگ شد اما غلظتی از محلول که چنین تأثیری به دنبال داشت به ترتیب معادل ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود (شکل‌های ۳ و ۳). از سوی دیگر، بیشترین مقدار کاروتنوئید (۰/۹۲۹-۰/۷۷۵ میلی‌گرم بر گرم) با کاربرد محلول با غلظت ۳۰۰-۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر حاصل شد (شکل ۳ ج). کاهش میزان کلروفیل در سطوح بالای کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم عموماً به فعالیت انواع آنزیم‌های کلروفیل‌از، پراکسیداز و ترکیبات فنلی ارتباط داده می‌شود (Ahmadi and Ceioce mardeh 2006). به هر حال، کاربرد نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم در این مطالعه نتوانست گزارش سایر محققین (Nonami and Matthewse 1997) مبنی بر افزایش مقدار کلروفیل با کاربرد این ماده شیمیایی را تأیید نکند.

در مطالعه حاضر به دنبال نداشتن و محلول‌پاشی دی‌اکسید تیتانیوم اثر معنی‌داری بر عملکرد چغندر قند نگذاشت (جدول ۱). از دیگر نتایج این مطالعه، معنی‌دار شدن اثر متقابل زمان و غلظت محلول‌پاشی در سطح احتمال پنج درصد بر آنزیم کاتالاز بود (جدول ۳). این تأثیر به نحوی بود که محلول‌پاشی در مراحل اولیه (۱۴-۱۰ برگی بوته‌ها) و انتهای (۲۴-۲۰ برگی بوته‌ها) با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش معنی‌دار مقدار آنزیم کاتالاز شد اما در مراحل میانی (۲۰-۱۴ برگی بوته‌ها)، این تأثیر صرفاً با کاربرد ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر محلول دی‌اکسید تیتانیوم حاصل شد (جدول ۲).

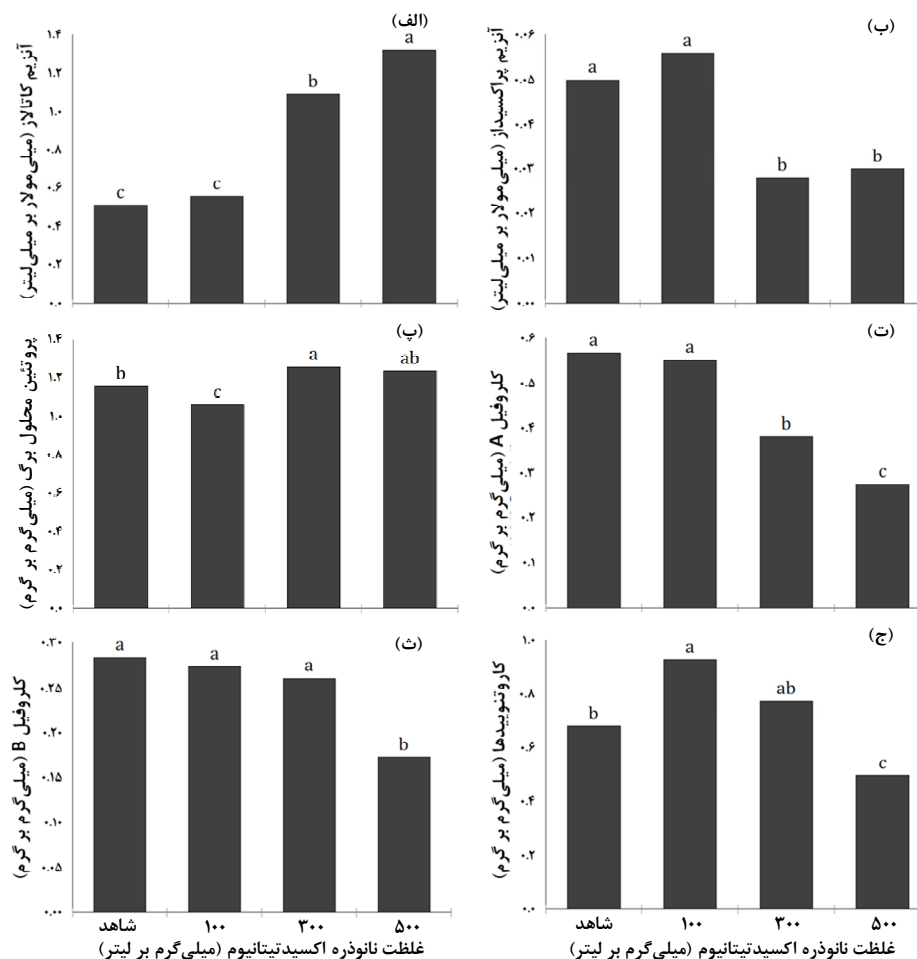
پروتئین محلول برگ

در بین عوامل مورد مطالعه، غلظت محلول دی‌اکسید تیتانیوم در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری بر میزان پروتئین محلول برگ گذاشت (جدول ۳). محلول‌پاشی مزرعه طی فصل رشد با محلول دی‌اکسید تیتانیوم با غلظت ۳۰۰-۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش معنی‌دار پروتئین محلول برگ تا ۱/۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ شد (شکل ۳ پ).

جدول ۳ خلاصه تجزیه واریانس تأثیر کاربرد نانوذرات تیتانیوم بر خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چغندر قند، کرج، ۱۳۹۳

منابع تغییر	درجه آزادی	آنزیم		پروتئین محلول برگ	رنگدانه	
		کاتالاز	پراکسیداز		کلروفیل a	کلروفیل b
تکرار	۳	۰/۰۹۱ ns	۳/۶۴۷ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۵ ns
مراحل محلول‌پاشی (A)	۲	۰/۱۴۶ ns	۱/۲۸۳ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۳۴ ns	۰/۰۲۳ ns
اشتباه کرت اصلی (Ea)	۶	۰/۰۵۱	۲/۸۶۸	۰/۰۰۷	۰/۰۱۸	۰/۰۲۴
غلظت محلول (B)	۳	۱/۹۲۱**	۲۴/۱۴۶**	۰/۰۹۵**	۰/۲۳۸**	۰/۳۸۹**
اثر متقابل A×B	۶	۰/۱۰۹*	۱/۲۰۷ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۱۲ ns	۰/۰۸۵ ns
اشتباه کرت فرعی (Eb)	۲۷	۰/۰۴۳	۲/۰۵۲	۰/۰۱۰	۰/۰۱۴	۰/۰۳۵
ضریب تغییرات (درصد)		۳۳/۸۷	۳۴/۸۹	۸/۲۵	۲۶/۹۵	۲۶/۷۰

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



شکل ۳ میانگین (الف) آنزیم کاتالاز، (ب) آنزیم پراکسیداز، (پ) پروتئین محلول برگ، (ت) کلروفیل A، (ث) کلروفیل B و (ج) کاروتنوئیدها در سطوح مورد مطالعه غلظت محلول پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم

نتیجه‌گیری

استحصال شکر معادل ۲/۵ واحد بهبود یابد. به لحاظ صفات بیوشیمیایی، به دنبال افزایش غلظت محلول دی‌اکسید تیتانیوم، از یک سو بر مقدار آنزیم کاتالاز، پروتئین محلول برگ و کاروتنوئید افزوده شد و از سوی دیگر، مقدار آنزیم پراکسیداز و هم‌چنین کلروفیل a و b کاهش یافت. در مجموع، کاربرد این ماده شیمیایی طی فصل رشد و ترجیحاً مراحل اولیه رشد مزرعه- با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌تواند بهبود کیفیت محصول چغندر قند را به دنبال داشته باشد.

نتایج این بررسی حاکی از امکان کاربرد دی‌اکسید تیتانیوم با هدف افزایش میزان قند محتوی ریشه بود. افزایش ۰/۵ و ۰/۸ واحدی عیار قند ناخالص و خالص با کاربرد ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم دی‌اکسید تیتانیوم بر لیتر- فارغ از زمان محلول پاشی- می‌تواند موجب افزایش خصوصیات کیفی محصول چغندر قند شود. از سوی دیگر، نحوه واکنش ناخالصی‌های ریشه نسبت به کاربرد نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم به نحوی بود که ضریب

References:**منابع مورد استفاده:**

- Abdollahian-Noghabi M, Shikholeslami R, Babae B. Technical terms of sugar beet quantity and quality. *Journal of Sugar Beet*, 2009, 21(1):101-104. (in Persian, abstract in English)
- Ahmadi A, Ceioceamardeh A. Effect of drought stress on soluble chlorophyll and proline in wheat cultivars with various climates in Iran. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 2006, 35:753-76.
- Beiki H, Keramati M. Improvement of methane production from sugar beet wastes using TiO₂ and Fe₃O₄ nanoparticles and chitosan micropowder additives. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2019, <https://doi.org/10.1007/s12010-019-02987-2>.
- Bradford MM. A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 1976, 72: 248-254.
- Capaldi Arruda SC, Diniz Silva AL, Galazzi RM, Azevedo RA, Zezzi Arruda MA. Nanoparticles applied to plant science: A review. *Talanta*. 2015;131:693-705.
- Castiglione MR, Giorgetti L, Geri C, Cremonini R. The effects of nano-TiO₂ on seed germination, development and mitosis of root tip cells of *Vicia narbonensis* L. and *Zea mays* L. *J Nanopart Res*. 2011; 13, 2443–2449.
- Dehkourdi EH, Mosavi M. Effect of anatase nanoparticles (TiO₂) on parsley seed germination (*Petroselinum crispum*) in vitro. *Biological Trace Element Research*. 2013;155(2):283-286.
- Doyle ME. *Nanotechnology: A Brief Literature Review*. Food. Madison, WI: University of Wisconsin-Madison; 2006. p. 10.
- Feizi H, Amirmoradi S, Abdollahi F, Pour SJ. Comparative effects of nanosized and bulk titanium dioxide concentrations on medicinal plant *Salvia officinalis* L. *Annual Review & Research in Biology*. 2013;3(4):814-824.
- Firoozabadi M, Abdollahian-Noghabi M, Rahimzadeh F, Moghadam M, Parsaeyan M. Effects of different levels of continuous water stress on the yield quality of three sugar beet lines. *Journal of Sugar Beet*, 2003, 19(2): 133-142. (in Persian, abstract in English)
- Gao F, Liu C, Qu C, Zheng L, Yang F, Su M, et al. Was improvement of spinach growth by nano-TiO₂ treatment related to the changes of Rubisco actives? *BioMetals*. 2008;21(2):211-217.
- Glonek, K, Sreńscek-Nazzal J, Narkiewicz U, Morawski AW, Wróbel RJ, Michalkiewicz B. Preparation of activated carbon from beet molasses and TiO₂ as the adsorption of CO₂. *Acta Physica Polonica*, 2016, 129(1):158-161.
- Hamza, A, El-Mogazy S, Derbalah A. Fenton reagent and titanium dioxide nanoparticles as antifungal agents to control leaf spot of sugar beet under field conditions. *Journal of Plant Protection Research*, 2016, 56(3):270-278.
- Handford CE, Dean M, Henchion M, Spence M, Elliott CT, Campbell K. Implication of nanotechnology for the agri-food industry: Opportunities, benefits and risks. *Trends in Food Science & Technology*. 2014; 40:226-241.
- Hong F, Zhou J, Liu C, Yang F, Wu C, Zheng L, et al. Effect of nano-TiO₂ on photochemical reaction of chloroplasts of spinach. *Biological Trace Element Research*. 2005; 105(1-3):269-279.

- Kafi A, Mahdavi Damghani M. Plants resistance mechanisms against environmental stresses (Translation). 2001, Published in Ferdowsi University.
- Kandil AA, Lieth H, Al Masoom AA. Response of sugar beet varieties to potassic fertilizer under salinity condition toward the rational use of high salinity tolerant plant. Alain. United Arab Emirates. 1989, Vol. 2: 199-207.
- Kang SJ, Kim BM, Lee YJ, Chung HW. Titanium dioxide nanoparticles trigger p53-mediated damage response in peripheral blood lymphocytes. Environ Mol Mutagen. 2008; 49, 399–405.
- Lee D, Park K, Zachariah MR. Determination of the size distribution of polydisperse nanoparticles with single-particle mass spectrometry. The role of ion kinetic energy. Aerosol Science and Technology, 2005,39: 162-169.
- Li J, Naeem MS, Wang X, Liu L, Chen C, Ma N, Zhang C. Nano-TiO₂ is not phytotoxic as revealed by the oilseed rape growth and photosynthetic apparatus ultra-structural response. PLoS ONE, 2015, 10(12):1-12.
- Lorenzen, CJ. Determination of chlorophyll and pheo-pigments: spectrophotometric equations. Limnology and Oceanography, 1967, 12(2):343-346.
- Mandeh M, Omidi M, Rahaie M. In vitro influences of TiO₂ nanoparticles on barley (*Hordeum vulgare* L.) tissue culture. Biol Trace Elem Res. 2012,150(1-3):376-80.
- Mattiello A, Marchiol L. Application of Nanotechnology in Agriculture: Assessment of TiO₂ Nanoparticle Effects on Barley. Intec Open 2017; 23-39.
- Mousavi SR, Rezaei M. Nanotechnology in agriculture. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences. 2011;1(10):414-419.
- Nohynek GJ, Dufour EK, Roberts MS. Nanotechnology, cosmetics and the skin: is there a health risk? Skin Pharmacol Phys. 2008; 21, 136–149.
- Nonami H, Wu Y, Matthewse MA. Decreased growth-induced water potential a primary cause of growth inhibition at low water potentials. Plant Physiology. 1997, 114:501-509.
- Pereira Ede J, Panek AD, Eleutherio EC. Protection against oxidation during dehydration of yeast. Cell Stress Chaperones. 2003; 8:120–124. 1466-1268.
- Qi M, Liu Y, Li T. Nano-TiO₂ improve the photosynthesis of tomato leaves under mild heat stress. Biological Trace Element Research. 2013;156(1-3):323-328.
- Rico CM, Majumdar S, Duarte-Gardea M, Peralta-Videa JR, Gardea-Torresdey JL. Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2011;59(8):3485-3498.
- Rudrappa Th, Lakshmanan V, Kaunain R, Singara NM, Neelwarne B, Purification and Characterization of an intracellular peroxidase for genetically transformed roots of red beet (*Beta vulgaris* L.), Food Chemistry, 2007, 105, p. 312.
- Seeger EM, Baun A, Kastner M, Trapp S. Insignificant acute toxicity of TiO₂ nanoparticles to willow trees. Journal of Soil Sediments. 2009; 9, 46–53.
- Zhang L, Hong F, Lu S, Liu C. Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. Biological Trace Element Research, 2005,105:83-91.