علوم و تحقیقات بذر ایران
سال چهارم/ شماره دوم/ ۱۳۹۶ (۱۰۷ -۹۷)

DOI: 10.22124/jms.2017.2500

اثر ذرات نانو و غیر نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر عملکرد جوانه‌زنی گیاه سرخارگل تحت تنش خشکی

حبیبه بهنام[۱]، حسن فیضی*[۲]، مسعود علی‌پناه[۳]، مهدی فراوانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۱۳

چکیده

تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر ذرات نانو و غیرنانو دی‌اکسید تیتانیوم بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه دارویی سرخارگل در شرایط خشکی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در آزمایشگاه گیاهان دارویی دانشگاه تربت‌حیدریه انجام گرفت. بدین منظور از ذرات نانو و غیرنانو دی‌اکسید تیتانیوم در غلظت‌های ۰، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی-گرم در لیتر و به‌منظور ایجاد تنش خشکی از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ در چهار سطح ۰، ۳-، ۶- و ۹- بار استفاده شد. صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی روزانه، میانگین جوانه‌زنی روزانه، طول و وزن ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه و شاخص بنیه بذر I و II مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش نشان داد اعمال تیمار دی‌اکسید تیتانیوم بر بذر گیاه سرخارگل در شرایط بدون تنش تنها بر صفات طول ریشه‌چه و طول گیاهچه و در شرایط تنش خشکی بر طول و وزن ریشه-چه، ساقه‌چه و گیاهچه، شاخص بنیه بذر I و II و متوسط زمان جوانه‌زنی در سطح ۱ درصد اثر بسیار معنی‌داری داشت. تنش خشکی در شدت ۳- بار بر اغلب صفات موردانداز‌ه‌گیری از جمله درصد و سرعت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه و شاخص بنیه بذر I و II در گیاه سرخارگل اثر منفی نگذاشت. غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات غیرنانو دی‌اکسید تیتانیوم طول ساقه، ریشه و گیاه چه را نسبت به شاهد ۳ برابر افزایش داد. در مواجهه با تنش خشکی کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات نانو و غیرنانو اغلب شاخص‌های جوانه‌زنی سرخارگل را بهبود بخشید و می‌تواند در نقاطی که با تنش خشکی مواجه هستند توصیه شود.

واژه‌های کلیدی: تنش غیرزنده، شاخص بنیه بذر، گیاه دارویی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
۲- استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
۳- دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران
۴- استادیار پژوهش، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد، ایران
* نویسنده مسئول: h.feizi@torbath.ac.ir

مقدمه

سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) گیاهی علفی و چندساله است که به خانواده‌ی گل ستاره (Asteraceae) تعلق دارد. تمام اندام‌های گیاه اعم از ریشه و بخش هوایی حاوی مواد مؤثره ارزشمندی از قبیل ترکیبات فلاونوییدی، آلکالامیدها و شیکوریک اسید است (Sandra, 2004). این مواد خاصیت ضد قارچ، باکتری و ویروس داشته و مواد مؤثره آن سبب تقویت سیستم دفاعی بدن می‌شود (Melchart and Linde, 1994). از این‌رو از این گیاه به‌عنوان داروی پیشگیری‌کننده و معالجه‌کننده سرماخوردگی استفاده‌شده و علاوه بر این، مواد مؤثره سرخارگل سبب افزایش تولید ایمونوگلوبولین می‌شود (Hobbs, 1994). مهم‌ترین خاصیت دارویی این گیاه که گیاه منتخب سازمان بهداشت جهانی نیز است، تقویت سیستم ایمنی بدن است (Sun *et al.*, 1999). این گیاه به‌صورت خودرو در مناطق سنگلاخی و چمنزارهای تگزاس و میشیگان می‌روید. عملکرد و ترکیبات ثانویه این گیاه تحت تأثیر شرایط اکولوژیکی آن در طول دوره رشد است. در سال‌های اخیر سطح زیر کشت این گیاه در کشور ما افزایش یافته است (فراوانی و همکاران، ۱۳۹۴). بنابراین انجام تحقیقات به‌زراعی و مطالعه‌ی میزان تحمل این‌گونه‌ی مهم دارویی به تنش‌های محیطی به‌ویژه در مراحل ابتدایی رشد می‌تواند دارای اهمیت باشد (Amiri *et al.*, 2013).

در طبیعت گیاهان در برابر نوسانات محیطی مختلفی از جمله خشکی قرار دارند که رشد آن‌ها را محدود می‌کند. کاهش جذب آب و متعاقب آن کاهش تجزیه مواد ذخیره‌ای بذ، اختلال در سنتز پروتئین‌ها و کاهش فعالیت‌های آنزیمی مربوط به فرآیندهای بیوشیمیایی جوانه‌زنی، علت اصلی کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی است (Malik *et al.*, 1986؛ Voigt *et al.*, 2009). براساس تحقیقاتی که تاکنون در خصوص واکنش برخی گیاهان دارویی به تنش‌های شوری و اسمزی در مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای صورت گرفته، مشاهده شده است که تنش‌های محیطی اثرات بازدارنده‌ای بر شاخص‌های جوانه‌زنی دارند (Hosseini, and Rezvani Moghadam, 2006). پژوهشگران با بررسی اثرات تنش خشکی در سطوح صفر، ۶- و ۹- بار بر روی شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم پراکسیداز بذر گیاه دارویی سرخارگل به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان خشکی درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر، متوسط زمان جوانه‌زنی، طول گیاه چه و وزن خشک گیاه چه کاهش می‌یابد به‌طوری‌که در پلی‌اتیلن گلیکول ۱۲- بار، جوانه‌زنی در گیاه سرخارگل صورت نمی‌گیرد (Masoumi Zavarian and Asghari, 2014). هم‌چنین نتایج حاصل از تحقیق دیگری در راستای بررسی اثر تنش آبی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر گیاه سرخارگل نشان داد که با کاهش پتانسیل آب، سرعت و درصد جوانه‌زنی، وزن تر و خشک و طول ساقه چه و ریشه‌چه کاهش یافت (Asghari *et al.*, 2010). امروزه پژوهشگران متعددی اثرات مواد نانو را بر جوانه‌زنی و رشد گیاهان با هدف ترویج کاربرد آن در فعالیت‌های کشاورزی مورد مطالعه قرار می‌دهند (خوت و همکاران، ۲۰۱۲). محققـان اثر ذرات نانو و غیرنانو TiO_2 را بر روی جوانه‌زنی و رشد بذرهای پیر اسفناج با اندازه‌گیری سرعت جوانه‌زنی و شاخصه‌ای جوانه‌زنی و قدرت بذر، مورد بررسی قرار دادند. این شاخص‌ها در تیمارهای ۴-۰/۲۵ درصد نانو ذرات TiO_2 افزایـش نشان دادند که بیان می‌کند اثرات فیزیولوژیک با ذرات نانو مرتبط هستند. آن‌ها همچنین گزارش کردند که اثرات ذرات غیرنانو معنی‌دار نبوده است (Zhang *et al.*, 2005). استفاده از نانو ذرات TiO_2 در گیاه رازیانه به‌طور قابل‌توجهی جوانه‌زنی بذور را افزایش داد، در حالی‌که درصد جوانه‌زنی حاصل از تیمار TiO_2 غیرنانو، در مقایسه با گروه شاهد کاهش یافت (Feizi *et al.*, 2013). هم‌چنین در آزمایش‌های دیگر دیده شده است که در اکثر موارد استفاده از TiO_2 غیرنانو، مقدار جوانه‌زنی بذور را کاهش می‌دهد در حالی‌که نانو ذرات TiO_2 اثر مثبتی بر روی میزان جوانه‌زنی داشتند (Zhang *et al.*, 2005; Feizi, *et al.*, 2013). پژوهشگران در بررسی اثر ذرات نانو و غیرنانو TiO_2 بر روی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گندم دریافتند که از بین شاخص‌های جوانه‌زنی، تنها متوسط زمان جوانه‌زنی تحت تأثیر تیمارها قرار گرفت و کم‌ترین زمان مربوط به تیمار ppm ۱۰ از نانو ذرات TiO_2 (۰/۸۹ روز) و بیش‌ترین زمان مربوط به تیمار شاهد (۱/۳۵ روز) بود (Feizi *et al.*, 2012). در بررسی اثرات نانو ذرات TiO_2، در جوانه‌زنی و رشد دانه اسفناج مشاهده شد که این نانو ذرات باعث بهبود جذب نور و تحریک فعالیت

آنزیم روبیسکو، در نتیجه رشد سریع اسفناج می‌شود. تأثیر نانو ذرات TiO_2 باعث ایجاد تنش آنتی‌اکسیدان با کاهش تجمع رادیکال‌های سوپر اکسید، پراکسید هیدروژن، افزایش فعالیت از سوپر اکسید دسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و در نتیجه موجب افزایش میزان اکسیژن در کلروپلاست اسفناج می‌شود (Li *et al*., 2007).

با توجه به سابقه استفاده از گیاهان دارویی و نیز تغییر نگرش و افزایش تقاضای جهانی در خصوص استفاده از این گیاهان در درمان بیماری‌ها و با عنایت به مضرات ناشی از مصرف داروهای شیمیایی، ضرورت دارد تا در مورد تولید و کشت گیاهان دارویی در شرایط تنش‌های محیطی تحقیقات جامعی صورت گیرد (Oussalah *et al*., 2007; Hayouni *et al*., 2008; Amiri *et al*., 2013). در این پژوهش تلاش بر این است که با استفاده از ذرات نانو و غیرنانو تیتانیوم دی‌اکسید امکان بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی در بذر گیاه سرخارگل در شرایط تنش خشکی مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مطالعه‌ی تأثیر ذرات نانو و غیرنانو تیتانیوم دی‌اکسید بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه دارویی سرخارگل، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در آزمایشگاه گیاهان دارویی دانشگاه تربت‌حیدریه انجام شد. مقدار ۱۰۰ گرم بذر *Echinacea purpurea* جمع‌آوری شده در سال ۱۳۹۳، از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان خریداری شد. تیمارهای آزمایشی شامل تیتانیوم دی‌اکسید در ۹ سطح ۰ (شاهد)، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات و ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر ذرات غیرنانو و تنش خشکی در ۴ سطح ۰، ۳-، ۶- و ۹- بار بودند. به عبارت دیگر ۲۰ تیمار آزمایشی در ۳ تکرار که مجموعاً ۶۰ واحد آزمایشی (پتری) بود. به‌منظور اعمال تنش خشکی از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ استفاده شد. برای تهیه محلول‌ها، تیتانیوم دی‌اکسید لازم برای تهیه ۱۰۰ میلی‌لیتر از هر یک از سطوح، ابتدا در ۷۰ میلی‌لیتر آب حل شد و سپس با اندازه‌گیری دمای آب و با استفاده از فرمول تعیین پتانسیل اسمزی میشل-کافمن (Michel and Kaufman, 1973)، مقدار پلی‌اتیلن گلیکول لازم برای هر سطح از تنش خشکی محاسبه و به آن اضافه شد و در نهایت حجم محلول با افزودن آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید.

رابطه (۱) $\Psi_s = - (1.18\times10^{-2}C) - (1.18\times10^{-4})(C\times10^{-4}) C^2 + (2.67\times10^{-4}) CT + (8.39\times10^{-7}) C^2T$

در این رابطه C غلظت پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ برحسب گرم در لیتر، T درجه حرارت برحسب سانتی‌گراد و Ψ_s پتانسیل آب برحسب بار است.

بذرها با استفاده از هیپوکلریت‌سدیم ۱۵ درصد به‌مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی شدند و سپس با استفاده از آب مقطر به‌دقت سه بار مورد شست‌وشو قرار گرفتند. در این آزمایش از پتری‌های یک‌بارمصرف و استریل سایز ۹ استفاده شد. کاغذهای صافی، به‌مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد ضدعفونی شدند. کف هر پتری یک کاغذ صافی استریل قرار گرفت و تعداد ۲۵ بذر بر روی آن گذاشته شد. سپس از هر یک محلول‌های موردنظر به‌میزان ۵ میلی‌لیتر بر روی بذرها اعمال گردید. پتری‌ها به ژرمیناتور با دمای ۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۷۰ درصد منتقل شدند. شمارش بذرهای جوانه‌زده از روز دوم آغاز و تا ۲۱ روز ادامه یافت. در روز بیست و یکم از هر پتری ده گیاهچه به‌طور تصادفی انتخاب و طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه هر یک اندازه‌گیری و ثبت شد. سپس ریشه‌چه و ساقه‌چه از محل طوقه جدا شدند و هر یک در پاکت‌های کاغذی جداگانه قرار داده شد و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. بعد از طی این مدت وزن ساقه‌چه و ریشه‌چه‌ها را با ترازوی دیجیتال دقیق اندازه‌گیری شد.

درصد جوانه‌زنی با تقسیم تعداد نهایی بذرهای جوانه‌زده بر تعداد کل بذور کشت شده ضرب‌در ۱۰۰ به‌دست آمد (Agravel, 2005) و برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۲ استفاده شد (Magiure, 1982):

رابطه (۲) سرعت جوانه‌زنی $(GR) = (a/1) +(b-a/2) + (c-b/3) + ... + (n-n-1/N)$

که در آن GR سرعت جوانه‌زنی برحسب بذر جوانه‌زده در روز و a, b, c...n تعداد بذرهای جوانه‌زده پس از N ...۳، ۲، ۱ روز بعد از شروع آبگیری آن‌ها است. متوسط زمان جوانه‌زنی (MGT[1]) (Matthews and Khajeh-

[1] Mean Germination Time

Hosseini, 2007) و میانگین جوانه‌زنی روزانه (MDG[۲]) (Feizi *et al*, 2013) با استفاده از رابطه‌های ۳ و ۴ محاسبه شد:

رابطه (۳) $(MGT) = \sum F(X)/\sum F$ متوسط زمان جوانه‌زنی

رابطه (۴) میانگین جوانه‌زنی روزانه (MDG) = درصد جوانه‌زنی/ کل روزهای آزمایشی

در رابطه ۳، MGT: متوسط زمان جوانه‌زنی (روز)، F: تعداد بذرهای جدید جوانه‌زده در روز شمارش Xام و X روز شمارش است و برای محاسبه شاخص‌های بنیه بذر I و II از رابطه‌های ۵ و ۶ استفاده شد (Vashisth and Nagarajan, 2010):

رابطه (۵) شاخص بنیه I = درصد جوانه‌زنی × وزن خشک گیاهچه برحسب میلی‌گرم (ساقه‌چه + ریشه‌چه)

رابطه (۶) شاخص بنیه II = درصد جوانه‌زنی × طول گیاهچه برحسب میلی‌متر (ساقه‌چه + ریشه‌چه)

داده‌های به‌دست آمده ابتدا در نرم‌افزار صفحه گسترده Excell مرتب و پردازش شدند و سپس تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS JMP انجام شد و مقایسه میانگین‌ها به روش توکی صورت گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که اعمال تیمار دی‌اکسید تیتانیوم در شرایط تنش خشکی بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده به‌جز وزن ریشه‌چه و شاخص بنیه بذر II، تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشت و اثر تنش خشکی نیز بر تمامی صفات در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین در بررسی اثر متقابل بین تیمارهای دی‌اکسید تیتانیوم و خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی سرخارگل، مشاهده شد که به‌جز صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و میانگین جوانه‌زنی روزانه، اثرگذاری بر باقی صفات در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، نتایج نشان می‌دهد که کاربرد تیمار دی‌اکسید تیتانیوم در شرایط تنش خشکی بر اغلب صفات مورد ارزیابی تأثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشت. بهترین درصد جوانه‌زنی در کاربرد غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات غیرنانو و نانو بود. این تیمارها باعث افزایش درصد جوانه‌زنی بذر سرخارگل به‌ترتیب و به‌طور میانگین در مجموع سطوح تنش به میزان ۲۳/۳ درصد و ۱۸/۱ درصد شدند. در سطوح پایین تنش اثرگذاری نانو ذرات بیشتر بود اما با افزایش تنش خشکی به ۶- و ۹- بار ذرات غیرنانو باعث بهبود درصد جوانه‌زنی شدند. به‌عبارت دیگر در سطح صفر تنش خشکی تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات نانو درصد جوانه‌زنی را در مقایسه با تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات غیرنانو، ۲۱/۱ درصد و در سطح ۳- بار تنش خشکی، ۱۴ درصد بیشتر افزایش داد؛ اما در سطح تنش ۶- بار و ۹- بار تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات غیرنانو درصد جوانه‌زنی را در مقایسه با تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تیمار ذرات نانو به ترتیب به‌میزان ۵۱/۷ درصد و ۴ درصد بیشتر افزایش داد. ممکن است در شرایط تنش شدید خشکی نانو ذرات اثر سمیت بر گیاه داشته باشند. یانگ و واتز (Yang and Watts, 2005) گزارش کردند که مساحت و مشخصات سطح نقش مهمی در سمیت گیاهی نانو ذرات روی گیاهچه دارد. بنابراین به‌نظر می‌رسد کارایی جذب و تاثیر نانو ذرات روی رشد و فعالیت‌های متابولیکی گیاهان مختلف بسیار متفاوت است (Nair *et al*., 2010). در تحقیقی که فیضی و همکاران (Feizi *et al*., 2013) بر روی گیاه رازیانه انجام دادند بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۷۶ درصد) را در تیمار ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات و کم‌ترین درصد جوانه‌زنی (۴۱ درصد) را در تیمار ۶۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات غیرنانو مشاهده کردند. در حالی‌که در پژوهش پیشین فیضی و همکاران (Feizi *et al*., 2012) با بررسی نقش نانو ذرات فلزی دی‌اکسید تیتانیوم بر جوانه‌زنی گندم دیده شد که بالاترین درصد جوانه‌زنی (۹۸درصد) در تیمارهای دو میلی‌گرم در لیتر ذرات نانو و غیرنانو بود ولی تیمارهای مختلف اثر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی نداشتند. آن‌ها ذکر کردند که دلیل این موضوع می‌تواند تفاوت فیزیولوژیکی ذاتی گیاهان در طول مراحل جوانه‌زنی باشد (Feizi *et al*., 2013).

با افزایش سطح تنش خشکی سرعت جوانه‌زنی سرخارگل کاهش یافت. خاکشور مقدم و همکاران (Khakeshvar Moghadam *et al.,* 2010) بیان کردند کاهش جذب آب و متعاقب آن کاهش فعالیت‌های آنزیمی

[2] Mean Daily Germination

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر غلظت‌های مختلف ذرات نانو و غیرنانو دی‌اکسید تیتانیوم بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه سرخارگل در شرایط تنش خشکی

the effect of different concentrations of nanoparticles and bulk TiO_2 on Table 1. Analysis of variance of cownflower germination performance under drought stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	متوسط زمان جوانه‌زنی MGT	میانگین جوانه‌زنی روزانه MDG	وزن ساقه‌چه Plumule weight	وزن ریشه‌چه Radicle weight	وزن ریشه‌چه Radicle weight	وزن گیاهچه Seedling weight	طول ساقه‌چه Plumule length	طول ریشه‌چه Radicle Length	طول گیاهچه Seedling length	شاخص بنیه I	شاخص بنیه II
TiO_2	8	544.87**	1.55**	66.90**	1.24**	0.63**	0.01^{ns}	0.01^{ns}	0.68**	0.11**	0.82**	0.85**	2508.6^{ns}	6168.7**
خشکی	3	33859.72**	93.70**	200.06**	77.81**	19.42**	3.99**	3.99**	39.47**	4.90**	8.67**	25.94**	238496.6**	180636.4**
TiO_2×خشکی	24	222.80^{ns}	0.40^{ns}	67.54**	0.49^{ns}	0.60**	0.05**	0.05**	0.75**	0.05**	0.31**	0.34**	3063.3**	2693.0**
خطا Error	72	138.84	0.30	14.32	0.31	0.13	0.02	0.02	0.18	0.01	0.10	0.12	1302.5	1347.1

ns- غیرمعنی‌دار و *و** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, Not significant and* and ** :, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

مربوط به فرآیندهای بیوشیمیایی جوانه‌زنی، علت اصلی کاهش سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی است. در سطوح بالای تنش خشکی، آسیب‌های احتمالی ناشی از تخریب ساختمان سه‌بعدی آنزیم‌ها می‌تواند یکی از دلایل اصلی کاهش سرعت جوانه‌زنی باشد.

در تائید پژوهش حاضر نتایج حاصل از یک بررسی اثر تنش آبی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول بر خصوصیات جوانه-زنی بذر گیاه سرخارگل نشان داد که با کاهش پتانسیل آب، سرعت و درصد جوانه‌زنی، وزن تر و خشک و طول ساقه‌چه و ریشه‌چه کاهش یافت (Asghari *et al*., 2010). اگرچه بین غلظت‌های مختلف دی‌اکسید تیتانیوم اختلاف معنی‌داری در سرعت جوانه‌زنی وجود نداشت، اما تیمارهای ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات نانو و ۱۰۰ میلی-گرم در لیتر ذرات غیرنانو به لحاظ عددی بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی را داشتند. در مقایسه بین سطوح مختلف نانوذرات با یکدیگر مشاهده شد که غلظت‌های پایین نسبت به غلظت‌های بالاتر اثر مثبت کم‌تری بر سرعت جوانه‌زنی داشتند. با مقایسه سرعت جوانه‌زنی در غلظت-های مختلف دی‌اکسید تیتانیوم غیرنانو مشاهده شد که اختلاف آماری معنی‌داری بین تیمارها وجود ندارد. فیضی و همکاران (Feizi *et al*., 2013) دلیل افزایش سرعت جوانه‌زنی را نفوذ نانوذرات به پوسته بذر بیان کردند که موجب تسهیل ورود آب و اکسیژن به داخل بذر و در نتیجه تسریع فعالیت آنزیم‌ها و هیدرولیز مواد ذخیره‌ای بذر می‌شود.

در اغلب تیمارهای آزمایشی با سطح تنش خشکی ۹- بار، جوانه‌زنی صورت نگرفت و مقدار متوسط زمان جوانه-زنی در این تیمارها صفر و یا اعدادی نزدیک به صفر بودند؛ بنابراین به‌منظور جلوگیری از خطا در نتیجه‌گیری، صفت متوسط زمان جوانه‌زنی هم‌زمان با در نظر گرفتن درصد جوانه‌زنی تیمارها مورد بررسی قرار گرفت. تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات غیرنانو دی‌اکسید تیتانیوم نسبت به سایر تیمارها با در نظر گرفتن درصد جوانه‌زنی، مقدار متوسط زمان جوانه‌زنی مطلوب‌تری به‌دست داد به‌گونه‌ای که صفت مذکور را در شرایط بدون تنش ۱۰/۵ درصد و در سطح تنش ۳- بار، ۳ درصد بهبود بخشید. پژوهشگران با بررسی اثرات تنش خشکی بر روی شاخص‌های جوانه-زنی گیاه دارویی سرخارگل به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان خشکی درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، بنیه بذر، متوسط زمان جوانه‌زنی، طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه کاهش می‌یابد به‌طوری‌که در پلی‌اتیلن گلیکول ۱۲- بار، جوانه‌زنی در گیاه سرخارگل صورت نمی‌گیرد (Masoumi Zavarian and Asghari, 2014).

از نتایج تحقیق حاضر و دیگر تحقیقات (Asghari *et al*., 2010؛ Amiri *et al*., 2013؛ Masoumi Zavarian and Asghari, 2014) می‌توان نتیجه گرفت که اغلب شاخص‌های جوانه‌زنی و قدرت بذر گیاه سرخارگل در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابند به‌گونه-ای که در شدت تنش ۹- بار در اغلب تیمارها جوانه‌زنی صورت نگرفت.

در آزمایش حاضر در صفت میانگین جوانه‌زنی روزانه، تیمارهای ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات نانو و غیرنانو دی‌اکسید تیتانیوم در سطح تنش ۶- بار برتری داشتند و در روند افزایشی سطوح تنش خشکی از صفر تا ۹- بار نیز توانستند میانگین جوانه‌زنی روزانه را بالاتر حفظ کنند. در

جدول ۲- اثر برهم‌کنش غلظت‌های دی‌اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو و تنش خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه سرخارگل

Table 2. The effect of Interaction between nanoparticles and bulk TiO_2 and drought stress on cownflower germination indicators

ذرات TiO_2 (میلی‌گرم بر لیتر) TiO_2 concentration	خشکی (بار) Drought stress	جوانه‌زنی (درصد) Germination Percentage	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate	متوسط زمان جوانه‌زنی (روز) MGT	میانگین جوانه‌زنی روزانه (بذر) MDG
0	0	69.33 a-d	4.11 a-e	6.12 cd	3.30 abc
	-3	66.67 a-e	2.96 b-h	7.32 bcd	3.17 a-d
	-6	37.33 d-i	1.35 h-n	9.51 a-d	1.78 c-h
	-9	0.00 i	0.00 n	0.00 d	0.00 h
10n	0	74.67 a-d	3.05 b-h	7.29 bcd	3.56 abc
	-3	62.67 a-e	1.93 g-m	10.08 a-d	2.98 a-d
	-6	4.00 hi	0.06 n	11.67 abc	0.19 gh
	-9	0.00 i	0.00 n	0.00 d	0.00 h
50n	0	80.00 ab	4.57 abc	5.66 cd	3.87 a
	-3	77.33 abc	2.88 c-i	9.89 a-d	3.81 ab
	-6	30.67 e-i	0.75 k-n	12.44 abc	1.46 d-h
	-9	0.00 i	0.00 n	0.00 d	0.00 h
100n	0	86.67 a	4.92 a	5.59 cd	4.13 a
	-3	88.00 a	3.76 a-f	8.90 a-d	4.19 a
	-6	42.67 b-g	1.39 h-n	12.16 abc	2.03 b-f
	-9	1.33 i	0.02 n	5.00 cd	0.06 h
150n	0	69.33 a-d	4.10 a-e	5.47 cd	3.37 abc
	-3	72.00 a-d	2.49 e-k	9.12 a-d	3.43 abc
	-6	30.67 e-i	1.09 i-n	12.13 abc	1.46 d-h
	-9	8.00 ghi	0.12 mn	17.44 ab	0.38 fgh
10b	0	70.67 a-d	4.34 a-d	5.41 cd	3.49 abc
	-3	73.33 a-d	2.79 c-j	8.49 a-d	3.49 abc
	-6	40.00 c-h	1.02 j-n	12.95 abc	1.90 c-g
	-9	0.00 i	0.00 n	0.00 d	0.00 h
50b	0	75.20 ab	4.24 abc	6.61 cd	3.58 ab
	-3	73,33 a-d	3.33 a-g	7.47 bcd	3.49 abc
	-6	9.33 ghi	0.40 lmn	7.87 bcd	0.44 fgh
	-9	1.33 i	0.02 n	6.67 bcd	0.06 h
100b	0	84.00 a	4.74 ab	5.90 cd	4.00 a
	-3	78.67 ab	3.02 b-h	8.39 a-d	3.75 ab
	-6	60.00 a-f	2.01 f-l	10.29 a-d	2.86 a-e
	-9	5.33 ghi	0.07 n	19.00 a	0.25 fgh
150b	0	88.00 a	5.12 a	5.54 cd	4.19 a
	-3	66.67 a-e	2.57 d-j	7.17 bcd	3.17 a-d
	-6	22.67 f-i	0.65 lmn	10.46 a-d	1.08 d-h
	-9	0.00 i	0.00 n	0.00 d	0.00 h

* اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری (بر اساس آزمون چند دامنه‌ای توکی در سطح احتمال ۵ درصد) تفاوت معنی‌داری ندارند

* Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level accordimg to Tukey´ s Multiple Range Test.

پژوهشی که فیضی و همکاران (Feizi *et al.*, 2013) بر روی گیاه رازیانه انجام دادند مشاهده شد که تیمار ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم درصد و سرعت جوانه‌زنی را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید؛ اما تیمار ۴۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات غیرنانو باعث افزایش ۳۱/۸درصد درصدی متوسط زمان جوانه‌زنی شد. هم‌چنین نتایج آزمایش دیگری که بر روی گیاه مریم‌گلی صورت گرفت نیز نشان داد که غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات نانو و غیرنانو دی اکسید تیتانیوم، به‌ترتیب میزان درصد جوانه‌زنی را ۹/۵ درصد و ۶ درصد و متوسط زمان جوانه‌زنی را به میزان ۲۱/۶ درصد و ۲۶ درصد نسبت به شاهد بهبود بخشیدند. هم‌چنین سرعت جوانه‌زنی در تیمار ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم ۳۵/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (Feizi, *et al.*, 2013). در این خصوص ژنگ و همکاران (Zheng *et al.*, 2005) اظهار داشتند که نانوذرات می‌توانند در پوسته‌ی بذر نفوذ کرده و اثر مفیدی بر فرآیند جوانه‌زنی بگذارند. در حالی‌که ذرات غیرنانو درشت هستند و به‌راحتی نمی‌توانند از این مسیر عبور کنند، بنابراین ممکن است در منافذ

پوسته‌ی بذر تجمع پیدا کنند و انتقال آب و اکسیژن را مسدود کنند.

با توجه به نتایج گزارش‌شده در جدول ۳ تفاوت معنی‌داری بین وزن ساقه‌چه تیمارهای آزمایشی در سطوح تنش مشابه نیست، اما تیمارهای ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات نانو و تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات غیرنانو به لحاظ عددی بهترین مقادیر وزن ساقه‌چه را به‌دست دادند اگرچه بین تیمارهای مذکور اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد اما تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات مقدار عددی بیش‌تری نسبت به سایرین به‌دست داده است. به‌طوری‌که در تنش خشکی ۶- بار وزن ساقه‌چه را نسبت به تیمار شاهد، ۵۷/۵ درصد و نسبت به تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات غیرنانو ۶۶/۷ درصد افزایش داد. از این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که نانوذرات به‌دلیل اندازه‌ی بسیار ریز ذرات در غلظت کم‌تر جذب و اثرگذاری بیش‌تری بر گیاه دارند. هم‌چنین در آزمایش فیضی و همکاران (Feizi, *et al*., 2013) مشاهده شد که غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید وزن خشک ساقه‌چه گیاه رازیانه را افزایش داد اما تیمار ۴۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات غیرنانو وزن خشک

جدول ۳- اثر برهم‌کنش غلظت‌های دی‌اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو و تنش خشکی بر شاخص‌های قدرت بذر گیاه سرخارگل

Table 3. The effect of Interaction between nanoparticles and bulk TiO_2 and drought stress on cownflower seed vigor indices

ذرات TiO_2 (میلی‌گرم بر لیتر) TiO_2 concentration	خشکی (بار) Drought stress	وزن ساقه‌چه (میلی‌گرم) shoot weight	وزن ریشه‌چه (میلی‌گرم) Root weight	وزن گیاهچه (میلی‌گرم) Seedling weight	طول ساقه‌چه (میلی‌متر) shoot lengh (ml)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر) root length (ml)	طول گیاهچه (میلی‌متر) Seedling length(ml)	شاخص بنیه بذر I Vigor index I	شاخص بنیه بذر II Vigor index II
0	0	1.78^{a}	0.70^{a-g}	2.48^{abc}	9.63^{a-d}	10.02^{b-e}	1.65^{b-e}	168.69^{a-g}	139.52^{a-g}
	-3	1.70^{a}	1.09^{a}	2.80^{ab}	6.65^{cd}	8.80^{cde}	15.45^{c-f}	189.49^{a-e}	104.53^{a-e}
	-6	1.27^{ab}	0.52^{c-g}	1.79^{abc}	4.16^{ef}	3.60^{de}	7.76^{fg}	85.55^{d-h}	38.59^{d-h}
	-9	0.00^{c}	0.00^{h}	0.00^{d}	0.00^{f}	1.88^{e}	0.00^{g}	0.00^{h}	0.00^{f}
10n	0	1.49^{a}	0.81^{a-e}	2.31^{abc}	8.00^{a-e}	11.70^{bcd}	19.70^{b-e}	174.95^{a-f}	149.85^{a-f}
	-3	1.91^{a}	1.05^{ab}	2.96^{a}	7.46^{b-e}	6.33^{de}	13.80^{def}	185.81^{a-f}	86.65^{a-f}
	-6	0.00^{c}	0.00^{h}	0.00^{d}	0.00^{f}	0.00^{e}	0.00^{efg}	0.00^{h}	0.00^{f}
	-9	0.00^{c}	0.00^{h}	0.00^{d}	0.00^{f}	0.00^{e}	0.00^{g}	0.00^{h}	0.00^{f}
50n	0	1.61^{a}	0.85^{a-d}	2.47^{abc}	9.70^{a-d}	7.23^{de}	16.93^{c-f}	197.23^{a-d}	135.36^{a-d}
	-3	2.15^{a}	0.69^{a-g}	2.83^{ab}	9.83^{abc}	7.58^{cde}	17.42^{b-f}	217.76^{a}	133.97^{a}
	-6	2.00^{a}	0.40^{d-h}	2.40^{abc}	7.53^{b-e}	3.17^{de}	10.71^{efg}	72.00^{e-h}	31.67^{e-h}
	-9	0.00^{c}	0.00^{h}	0.00^{d}	0.00^{f}	0.00^{e}	0.00^{g}	0.00^{h}	0.00^{f}
100n	0	1.88^{a}	0.66^{a-g}	2.54^{ab}	12.56^{a}	7.03^{de}	19.60^{b-e}	219.93^{a}	169.84^{bc}
	-3	0.19^{bc}	0.90^{abc}	1.08^{cd}	9.23^{a-d}	6.66^{de}	15.90^{c-f}	94.97^{b-h}	139.24^{b-e}
	-6	1.56^{a}	0.26^{fgh}	1.82^{abc}	6.80^{cde}	3.10^{de}	9.91^{efg}	87.51^{c-h}	34.86^{def}
	-9	0.00^{c}	0.00^{h}	0.00^{d}	0.00^{f}	0.00^{e}	0.00^{g}	0.00^{h}	0.00^{f}
150n	0	1.77^{a}	0.71^{a-f}	2.48^{abc}	11.93^{ab}	11.23^{bcd}	23.16^{bcd}	173.67^{a-f}	160.93^{bc}
	-3	2.09^{a}	0.81^{a-e}	2.90^{a}	8.36^{a-e}	5.86^{de}	14.23^{c-f}	208.67^{ab}	102.47^{c-f}
	-6	1.57^{a}	0.57^{c-g}	2.13^{abc}	5.99^{cde}	3.24^{de}	9.23^{efg}	68.27^{fgh}	29.12^{ef}
	-9	0.00^{c}	0.00^{h}	0.00^{d}	0.00^{f}	0.00^{e}	0.00^{g}	0.00^{h}	0.00^{f}
10b	0	1.84^{a}	0.83^{a-e}	2.67^{ab}	8.77^{a-d}	10.86^{bcd}	19.63^{b-e}	188.77^{a-e}	139.35^{b-e}
	-3	1.85^{a}	0,70^{a-g}	2.55^{ab}	8.93^{a-d}	8.93^{cde}	17.86^{b-f}	187.55^{a-e}	129.71^{b-e}
	-6	1.97^{c}	0,37^{e-h}	2.33^{abc}	6.27^{cde}	2.55^{de}	8.83^{efg}	94.13^{b-h}	35.60^{def}
	-9	0.00^{c}	0.00^{h}	0.00^{f}	0.00^{f}	0.00^{e}	0,00^{g}	0.00^{h}	0.00^{f}
50b	0	2.00^{a}	0,67^{a-e}	2.66^{ab}	11.52^{ab}	9.60^{cd}	21.12^{bcd}	213.36^{a}	200.85^{bc}
	-3	2.29^{a}	0.92^{abc}	3,21^{a}	8.23^{a-e}	7.50^{cde}	15.73^{c-f}	233.80^{a}	115.79^{c-f}
	-6	1.20^{ab}	0.25^{fgh}	1.45^{bc}	3.93^{ef}	3.06^{de}	7.00^{fg}	22.13^{h}	7.33^{f}
	-9	0.00^{c}	0.00^{h}	0.00^{d}	0.00^{f}	0.00^{e}	0.00^{g}	0.00^{h}	0.00^{f}
100b	0	1.96^{a}	0.78^{a-e}	2.74^{abc}	8.13^{a-e}	20.46^{ab}	28.60^{ab}	198.16^{abc}	114.96^{ab}
	-3	2.07^{a}	0,67^{a-g}	2.74^{ab}	7.50^{b-e}	7.00^{de}	14.50^{c-f}	214.92^{a}	114.69^{b-e}
	-6	1.95^{a}	0,59^{b-g}	2.54^{ab}	7.30^{cde}	6.33^{de}	13.63^{def}	152.31^{a-g}	80.97^{c-f}
	-9	0.00^{c}	0.00^{h}	0.00^{d}	0.00^{f}	0.00^{e}	0.00^{g}	0.00^{h}	0.00^{f}
150b	0	1.71^{a}	0,70^{a-g}	2.41^{abc}	9.60^{a-e}	32.50^{a}	42.10^{a}	209.43^{a-e}	324.68^{a}
	-3	1.90^{a}	0,82^{a-e}	2.72^{ab}	7.56^{b-e}	17.86^{abc}	25.43^{bc}	181.76^{a-f}	171.63^{bc}
	-6	1.90^{a}	0.24^{gh}	2.14^{abc}	5.14^{de}	4.30^{de}	9.44^{efg}	51.68^{gh}	24.00^{ef}
	-9	0.00^{c}	0.00^{h}	0.00^{d}	0.00^{f}	0,00^{e}	0.00^{g}	0.00^{h}	0.00^{f}

* اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون از نظر آماری (بر اساس آزمون چند دامنه‌ای توکی در سطح احتمال 5درصد) تفاوت معنی‌داری ندارند

* Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level accordimg to Tukey´ s Multiple Range Test.

ساقه‌چه را نسبت به شاهد ۳۱/۸ درصد کاهش داد. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که غلظت‌های کم و متوسط از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم شاخص‌هایی مانند بنیه بذر، ارزش جوانه‌زنی و میانگین جوانه‌زنی روزانه را افزایش دادند.

در صفت وزن ریشه‌چه تفاوت معنی‌داری بین تیمارها وجود دارد. در اغلب تیمارهای آزمایشی با افزایش سطح تنش خشکی از صفر به ۳- بار میانگین وزن ریشه افزایش یافته است، اما با بالاتر رفتن شدت تنش، وزن ریشه نیز کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد گیاه سرخارگل در سطوح اولیه‌ی تنش خشکی با افزایش بیومس ریشه تلاش می‌کند تا در در برابر تنش مقاومت کند اما با افزایش شدت تنش این توانایی را ندارد. تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات نانو باعث افزایش طول ساقه‌چه در روند افزایشی تنش خشکی
از صفر تا ۶- بار، نسبت به تیمار شاهد شد (۶۳/۵ درصد در سطح تنش ۶- بار). جابرزاده و همکاران (Jaberzadeh *et al*., 2013) با محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر گیاه گندم در شرایط تنش خشکی دریافتند که محلول‌پاشی نانوذرات اختلاف بسیار معنی‌داری در ارتفاع، وزن سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت در شرایط نرمال و تنش خشکی ایجاد کرد. عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی با محلول‌پاشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم دو صدم درصد، ۲۳ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی افزایش نشان داد که این نشان‌دهنده آن است که غلظت دو صدم درصد نانوذرات از طریق افزایش فرآیند باروری، تعداد دانه در هر سنبله را افزایش داده و باعث افزایش عملکرد گردیده است.

در این پژوهش در صفت طول ریشه‌چه و طول گیاهچه تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات غیرنانو بهترین عملکرد را داشته‌اند. به‌طوری‌که در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات غیرنانو در سطح صفر تنش خشکی اختلاف معنی‌داری با تمامی تیمارها در سطح تنش مشابه وجود دارد. به‌طورکلی افزایش سطح تنش خشکی باعث کاهش وزن و طول در ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه شد. تحقیقات فیضی و همکاران (Feizi, *et al*., 2013) در بررسی اثر ذرات دی‌اکسید تیتانیوم نانو و غیرنانو بر گیاه مریم‌گلی کبیر نشان داد که تیمارهای آزمایشی روی وزن خشک و طول ریشه و ساقه بی‌اثر بودند. آن‌ها اظهار داشتند که نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم فرآیند جوانه‌زنی از جمله جذب آب و اکسیژن را تحریک می‌کند که این امر موجب افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شود. اما در مراحل بعدی رشد، گیاهچه ممکن است واکنش متفاوتی نشان دهد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در شاخص بنیه بذر I تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات با در نظر گرفتن عملکرد در سطوح مختلف تنش خشکی، نسبت به سایر تیمارها برتر بود؛ اما در شاخص بنیه بذر II سطح ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات در مقایسه با سایر تیمارها عملکرد بهتری نشان دادند. در هر دو شاخص کلیه تیمارهای آزمایشی در سطح تنش ۹- بار خشکی به صفر رسیدند. فیضی و همکاران (Feizi *et al*., 2013) عنوان کردند افزایش شاخص بنیه بذر مفید بوده و می‌تواند استقرار گیاهچه را توسط نانوذرات بهبود ببخشد که این امر به فعالیت بیولوژیکی و تحرک زیستی نانوذرات که تحت تاثیر عواملی مثل سایز، شکل، ماهیت شیمیایی، پایداری و دوز آن‌ها است، بستگی دارد.

نتیجه گیری

به‌طور کلی نتایج آزمایش حاضر نشان داد که گیاه دارویی سرخارگل تنش خشکی را تا ۳- بار تحمل نمود اما افزایش شدت تنش بر شاخص‌های جوانه‌زنی این گیاه اثر منفی گذاشت به‌طوری‌که گیاه قادر به تحمل آن نبود. از بین تیمارهای آزمایشی تیمارهای ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ذرات نانو و غیرنانو دی اکسید تیتانیوم توانستند به مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی تا سطح تنش ۶- بار کمک کرده و شاخص‌های جوانه‌زنی سرخارگل را نسبت به شاهد در شرایط تنش خشکی بهبود بخشند. بنابراین می‌توان تیمارهای مذکور را برای بهبود رشد گیاه سرخارگل در مناطقی که با تنش خشکی مواجه هستند توصیه نمود.

منابع

Agraval, R. 2005. Seed technology. Oxford and IBH Publishing Co, 829 pp. **(Book)**

Amiri, B., Rezvani moghadam, P., Ehiaei, H., Fallahi, J. and Aghhavani Shajari, M. 2013. Effect of osmotic and salinity stress on germination and growth indicators of two medicinal plants Coneflower (*Echinacea purpurea*) and Artichok (*Cynara scoolymus*). Journal of Environmental Stresses in Agricultural Science, 3(2): 165-176. (In Persian)**(Journal)**

Asghari, F., Dreajhshani, Z. and Delkani, M. 2010. Effect of water stress derived of PEG on germination properties of Cone Flower *Echinacea purpurea* (L.). Proceeding of Articles 6th Iranian Congress of Horticultural Sciences. 13-16 July, Gilan, Iran. (In Persian)**(Conference)**

Feizi, H., Amirmoradi, SH., Abdollahi, F. and Jahedipour, S. 2013. Comparative effects of nanosized and bulk Titanium dioxide concentrations on medicinal plant *Salvia officinalis*. Annual Review and Research in Biology, 3(4): 814-824. (In Persian)**(Journal)**

Feizi, H., Kamali, M., Jafari, L. and Rezvani Moghaddam, P. 2013. Phytotoxicity and stimulatory impacts of nanosized and bulk titanium dioxide on fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). Chemosphere, 91: 506–511. **(Journal)**

Hayouni, E.A., Chraief, I., Abedrabba, M., Bouix, M., Leveau, J., Mohammed, H. and Hamdi, M. 2008. Tunisian *Salvia officinalis* L. and *Schinus molle* L. essential oils: Their chemical compositions and their preservative effects against *Salmonella* inoculated in minced beef meat. International Journal of Food Microbiology, 125: 242-251. **(Journal)**

Hobbs, C.R. 1994. Echinaceae, A literature review. Herbalgram, 30: 33-49. **(Journal)**

Hosseini, H. and Rezvani Moghaddam, P. 2006. Effect of water and salinity stress in seed germination on Isabgol (*Plantago ovata*). Iranian Journal of Field Crops Research, 4(1): 15-22. (In Persian)**(Journal)**

Jaberzadeh, A., Moaveni, P., Tohidi Moghaddam, H. and Moradi, A. 2013. Evaluate the effect of TiO_2 nanoparticles spray on some agricultural indicators of wheat under drought stress. Journal of Crop Ecophysiology, 7: 51-67. (In Persian)**(Journal)**

Khakeshvar Moghaddam, Z., Lahuti, M. and Ganjali, A. 2010. Evaluate the effect of drought stress with PEG on germination and moephologic indicators of *Anethum graveolens.* Journal of Horticulture Science, 25(2): 185-193. (In Persian)**(Journal)**

Khote, LR., Sankaran, S., Maja, J., Ehsani, R. and Schuster, E.W. 2012. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: A review. Crop Protection, 35: 64-70. **(Journal)**

Li, Q.F., Ma, C.C. and Shang, Q.L. 2007. Effects of silicon on photosynthesis and antioxidative enzymes of maize under drought stress. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao, 18: 531-536. **(Journal)**

Maguire, I.D. 1982. Speed of germination – aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science. 22: 176–177. **(Journal)**

Malik, C.P., Gupta, K. and Sharma, S. 1986. Effect of water stress on germination and seedling metabolism of gram (*Cicer arietinum* L). Acta Agronemica Hungarica, 35: 11-16. **(Journal)**

Masoumi Zavariyan, A. and Asghari, M. 2014. The effect of drought stress on germination indicators and enzyme peroxidase activity, the seed of *Echinacea purpurea* (L.) Moench Medicinal Plant. The 1st National Conference on Stable Agriculture and Natural Resources. 26 December, Mashhad. (In Persian)**(Conference)**

Melchart, D. and Linde, K. 1994. Immunomodulation with echinacea, a systematic review of controlled clinical trial. Phytomedicine, 1: 254-255. **(Journal)**

Michel, B.E. and Kaufman, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethyleneglycol 6000. Plant Physiology, 51: 914-916. **(Journal)**

Nair, R., Varghese, S.H., Nair, B.G., Maekawa, T., Yoshida, Y. and Sakthi Kumar, D. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. Plant Science, 179: 154–163. **(Journal)**

Oussalah, M., Caillet, S., Saucier, L. and Lacroix, M. 2007. Inhibitory effects of selected plant essential oils on the growth of four pathogenic bacteria: *E. coli* O157: H7, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes*. Food Control, 18: 414-420. **(Journal)**

Sandra, C.M. 2004. Echinacea; The genus Echinacea. Medicinal and Aromatic Plants-Industrial Profiles, 39: 271. **(Journal)**

Sun, L.Z., Currier. N.L. and Miller, S.C. 1999. The American coneflower: a prophylactic role involving nonspecific immunity. Journal of Alternative and Complementary Medicine, 5: 437-446. **(Journal)**

Vashisth, A. and Nagarajan, S. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. Journal of Plant Physiology. 167: 149–156. **(Journal)**

Voigt, E.L., Almeida, T.D., Chagas, R.M., Ponte, L.F.A., Viégas, R.A. and Silveira, J.A.G. 2009. Source–sink regulation of cotyledonary reserve mobilization during cashew (*Anacardium occidentale*) seedling establishment under NaCl salinity. Journal of Plant Physiology, 166: 80-89. **(Journal)**

Yang, L. and Watts, D.J. 2005. Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles. Toxicology Letters, 158: 122–132. **(Journal)**

Zhang, L., Hong, F., Lu, S. and Liu, C. 2005. Effect of nano-Tio_2 on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. Biological Trace Element Research, 105: 83-91. **(Journal)**

The effect of TiO_2 bulk and nanoparticles on indicators of *Echinacea purpurea* germination under drought stress

Behnam Habibeh[1], Hasan Feizi[*2], Masoud Ailpanah[3], Mahdi Farvani[4]

Received: February 28, 2016 Accepted: May 2, 2016

Abstract

The present study was conducted to evaluate the effect of bulk and nanosized TiO_2 on indicators of Purple Coneflower germination under drought stress. The experiment was arranged as factorial based on a completely randomized design with three replications and was performed in Medicinal Plants Laboratory at the University of Torbat Heydarieh, Iran. In this experiment first factor was different concentrations of TiO_2 bulk 0, 10, 50, 100 and 150 mg/L and the second factor was nanosized TiO_2 concentrations of 0, 10, 50, 100 and 150 mg/L and the third factor was drought stress imposed by PEG6000 in levels of 0, -3, -6 and -9 bar. The Results showed that drought stress did not have a negative effect on germination percentage, mean daily germination (MDG) and vigor index I and II on *Echinacea purpurea* up to -3 bar drought stress treatment. The 150 mg/L concentration of TiO_2 bulk particles improved shoot, root and seedling length three times compared to control. In response to drought stress, the 10 mg/L concentration of TiO_2 nanoparticles treatment had the least performance in most of the examined indicators, while the 100 mg/L of bulk and nanoparticles application improved most germination indicators of coneflower.

Key words: Abiotic Stress, Medicinal Plants, Vigor index

How to cite this article

Habibeh, B., Feizi, H., Alipanah, M. and Farvani, M. 2017. The effect of TiO_2 bulk and nanoparticles on indicators of *Echinacea purpurea* germination under drought stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 4(2): 97-107. (In Persian)**(Journal)**

DOI: 10.22124/jms.2017.2500

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1- MSc Student in Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Torbat Heydarieh University, Torbat Heydarieh, Iran

2- Assistant Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Torbat Heydarieh University, Torbat Heydarieh, Iran

3- Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Torbat Heydarieh University, Torbat Heydarieh, Iran

4- Research Assistant Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREO), Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, Mashhad, Iran

*Corresponding Author: h.feizi@torbath.ac.ir