تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.3571.1876

مقاله پژوهشی

بررسی مقاومت به خشکی گیاه ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) تحت تأثیر نانو ذرات تیتانیوم

یحیی سلاح‌ورزی[1*]، مریم کمالی[2]

۱. استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. دانش‌آموخته دکتری، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
رنگ‌دانه فتوسنتزی
فعالیت آنتی‌اکسیدانی
محتوای نسبی رطوبت
وزن خشک

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۵/۰۷

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۸/۰۶

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۱

۱۵(۱): ۱۷۳-۱۸۴

چکیده

کمبود آب یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که بر عملکرد گیاهان باغی اثر نامطلوب دارد. این در حالی است که استفاده از تکنولوژی‌های نوین مثل نانو ذرات می‌تواند بر بهبود عملکرد گیاهان مؤثر باشد. به این منظور آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار روی گیاه ترخون (*Artemisia dracunculus*) در دانشگاه فردوسی مشهد طراحی و اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح رطوبتی خاک (۹۰، ۷۰ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی) و محلول‌پاشی سه سطح نانو دی‌اکسید تیتانیوم (صفر، ۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام) بود. طبق نتایج بیشترین وزن خشک بخش هوایی و ریشه ترخون در تیمار ۹۰٪ ظرفیت زراعی خاک و محلول‌پاشی با ۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام نانو دی‌اکسید تیتانیوم و کمترین درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۴۹٪) و کربوهیدرات کل (۱۴ mg/g) در تیمار ۹۰٪ ظرفیت زراعی و در شرایط عدم محلول‌پاشی با نانو دی‌اکسید تیتانیوم برگ بود. همچنین با افزایش غلظت دی‌اکسید تیتانیوم از صفر به ۱۰ پی‌پی‌ام قطر ریشه، ارتفاع و قطر ساقه در ۹۰٪ ظرفیت زراعی به ترتیب ۴۱/۸، ۳۹/۵ و ۴۲/۲٪ افزایش و در ۵۰٪ ظرفیت زراعی ۱۶/۴، ۸/۸ و ۱۶/۵٪ افزایش داشت. به‌طورکلی اگرچه اعمال تنش خشکی منجر به کاهش صفات مورفولوژیک و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در ترخون شد محلول‌پاشی با نانو دی‌اکسید تیتانیوم در دو غلظت ۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام در بهبود این صفات مؤثر بود.

مقدمه

ترخون با نام علمی *Artemisia dracunculus* گیاهی علفی، چندساله و معطر با ساقه‌های منشعب و ریزوم‌دار بوده و مصرف خوراکی و دارویی دارد (Bown, 1995). این گیاه در نواحی مرطوب و سواحل رودخانه‌ها می‌روید و منشأ اصلی آن روسیه مرکزی، سیبری، آسیای مرکزی و شمال و غرب آمریکا است (Omidbeigi, 2000). این گیاه بسیار معطر بوده و در صنایع غذایی و کنسروسازی کاربرد دارد. ترخون به علت افزایش ترشح اسید معده و اشتهاآور بودن به‌عنوان ادویه مخصوص در کاهش فشارخون مورداستفاده قرار می‌گیرد (Kordali et al., 2005).

از طرفی ایران با میانگین سالانه بارش ۲۴۰ میلی‌متر یکی از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است؛ بنابراین امکان بروز تنش خشکی در کشورمان بسیار محتمل‌تر از سایر تنش‌ها است (Rampino et al., 2006). تنش خشکی از طریق کاهش تقسیم سلولی (Ji et al., 2010)، رشد اندام‌های گیاه (Dulai et al., 2006)، سطح برگ (Parida and Das, 2005)، حجم سلول (Luan, 2002) و کلروفیل (Reddy et al., 2004) می‌تواند روی گیاه اثرگذار باشد. ازاین‌رو به‌کارگیری روش‌هایی که بتواند در افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی مؤثر باشد حائز اهمیت است

* نگارنده پاسخگو: یحیی سلاح ورزی. پست الکترونیک: Selahvarzi@um.ac.ir

(Sacala, 2009). استفاده از عناصر به شکل نانو مانند نانو تیتانیوم ازجمله راهکارهای مؤثر در کم کردن اثرات تنش‌های غیرزنده است؛ بنابراین می‌توان از خصوصیات نانوذرات استفاده کرد. ضمن اینکه نانوذرات در صورت به‌کارگیری از غلظت‌های مناسب مقرون‌به‌صرفه است و اثر سمیت در گیاه نخواهد داشت (Qi et al., 2013). تیتانیوم (Ti) نهمین عنصر موجود در پوسته زمین است و ازنظر فلز انتقالی در رتبه دوم قرار دارد. نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم به علت ویژگی‌های الکتریکی، نوری و فوتوکاتالیستی خوبی که دارد توجه بسیاری از دانشمندان در حوزه‌های مختلف ازجمله کشاورزی را به خود جلب کرده است (Khan et al.,2017). شیخ باگلو و همکاران (Sheykhbaglou et al., 2010) گزارش کردند نانو ذرات با اندازه ۱-۱۰۰ نانومتر تأثیر بیشتری در افزایش جذب کودها و حشره‌کش‌ها دارند. نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم دارای خاصیت فتوکاتالیستی، فعالیت اکسایش و کاهش و بنابراین تولیدکننده و غیرفعال کننده رادیکال‌های آزاد مشتق از اکسیژن در سطح کود می‌باشند (Navarro et al., 2008). به گزارش رینولدز (Reynolds, 2002) نانو ذرات فلزی مثل نانو تیتانیوم، روی، آهن، آلومینیوم و نقره می‌تواند در فراهم کردن عناصر غذایی در شاخساره و ریشه گیاهان اثرگذار باشد. کاربرد نانوذرات تیتانیوم به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد به‌شدت توجه کارشناسان فیزیولوژی گیاهی را به خود جلب کرده است (Gao et al., 2012). مطالعه نانوذرات و اثر آن‌ها بر رشد و عملکرد گیاهان بسیار پیچیده بوده و گزارش‌های متفاوتی از اثرات نانوذرات بر گیاهان مختلف گزارش شده است (Gao et al., 2013). نقش بهبوددهنده بعضی از این ذرات مثل نانوذرات تیتانیوم در اکثر مطالعات موردتوجه قرار گرفته است. طبق مطالعات فیضی و همکاران (Feizi et al., 2013)، با استفاده از عنصر تیتانیوم عملکرد محصول ۱۰ تا ۲۰ درصد افزایش یافت. در اسفناج استفاده از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم باعث افزایش میزان فتوسنتز، افزایش رشد، قدرت جوانه‌زنی زیاد و سنتز بیشتر کلروفیل شد. لی و همکاران (Li et al., 2007) گزارش کردند نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم باعث افزایش رشد و میزان فتوسنتز، افزایش جذب انرژی نورانی خورشید و تبدیل آن به انرژی الکتریکی و بعد انرژی شیمیایی در اسفناج می‌شود. بهبود فعالیت احیای نوری فتوسیستم II، بهبود چرخه انتقال الکترون، تبدیل اکسیژن و فعالیت فتوفسفوریلاسیون در کلروفیل از تأثیرات نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم است (Zheng et al., 2007). همچنین انرژی حاصل از الکترون نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم واردشده در کلروفیل، تحت نور فرابنفش و انتقال آن به زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی، احیای NADP به NADPH و فسفوریلاسیون نوری، موجب برانگیخته شدن انرژی الکترون به ATP می‌شود (Zheng et al., 2007). نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم می‌تواند میزان فتوسنتزی را در گوجه‌فرنگی در تنش گرمایی با شدت ملایم بهبود دهد (Qi et al., 2013). نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم می‌تواند توانایی بعضی از گیاهان را در برابر تنش سرما افزایش دهد (Mohammadi et al., 2013). نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم از ذراتی است که امروزه تأثیر آن بر کاهش اثرات مضر تنش خشکی گزارش شده است. تنش خشکی علاوه بر اینکه باعث کاهش رشد رویشی و تغییر در ساختارهای گیاه می‌شود می‌تواند با ایجاد تنش ثانویه مانند تنش اکسیداتیو، در تغییر مسیرهای سنتز ترکیبات گیاهی مؤثر باشد (Sharma et al.,2012). نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم می‌تواند با کاهش ترکیب مالون دی آلدئید، کاهش رادیکال آزاد اکسیژن و افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در کاهش اثرات سوء تنش مؤثر باشد (Zheng, 2007). اگرچه تحقیقات گذشته پتانسیل تأثیر نانو ذرات تیتانیوم را در بهبود عملکردهای فیزیولوژی و مورفولوژی گیاهانی مثل گل‌گاوزبان (Hydari Romy et al., 2015) و گل آفتابگردان (Aminian et al., 2017) تائید کرده‌اند، اما اثر این نانوذره در بهبود رشد گیاهان تحت تنش‌های زیستی و غیر زیستی مثل تنش خشکی کمتر موردتوجه قرار گرفته است. لذا پژوهش فوق با هدف ارزیابی اثر محلول‌پاشی برگی نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر صفات رشدی و فیزیوشیمیایی گیاه ترخون تحت تنش خشکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در بهار و تابستان ۱۳۹۹ در گلخانه‌های تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت کشت گلدانی طراحی و اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و در چهار تکرار در نظر گرفته شد. متوسط دمای روزانه و شبانه در گلخانه به ترتیب برابر با ۲ ± ۲۵ و ۲ ± ۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۷۰-۶۰ درصد تنظیم شد.

تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح رطوبت خاک (۹۰، ۷۰ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی) و سه سطح نانو دی‌اکسید تیتانیوم

(۰، ۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام) بود. نانو دی‌اکسید تیتانیوم استفاده‌شده از شرکت Evonik Degussa GmbH آلمان تهیه شد. سطح ویژه نانو ذرات تیتانیوم 50 m2/g، متوسط اندازه ذرات نانو تیتانیوم 21 nm و با خلوص ۹۹/۵ درصد بود. ریزوم‌های باکیفیت و یکسان گیاه ترخون (Artemisia dracunculus) از مزارع شهرستان قوچان جمع‌آوری و جهت کشت به داخل گلخانه منتقل شد. تعداد دو ریزوم در گلدان‌های ۷ لیتری و ترکیب بستر خاک مزرعه، ماسه به نسبت ۲:۱ کشت شد. مشخصات خاک مورداستفاده در آزمایش در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده در آزمایش

Table 1. Some physical and chemical traits of the soil used in the experiment

بافت خاک Soil Texture	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	ازت N	پتاسیم K	فسفر P	اسیدیته pH	شوری EC
	----------%----------				----------ppm----------			ds/m
Lumi Silt	51	30	19	0.1	51.2	30.5	6.8	1.5

یک ماه پس از استقرار گیاهان، تیمارهای موردنظر اعمال شدند. به‌منظور اعمال تیمارهای مربوط به خشکی ظرفیت زراعی خاک گلدان‌ها به روش وزنی به دست آمد. جهت انجام این کار پنج گلدان با وزن و اندازه یکسان انتخاب و درون تمام آن‌ها به میزان مساوی از خاک تهیه‌شده برای آزمایش پر شد و به‌اندازه کافی با آب اشباع گردید. گلدان در زیر نایلون قرار گرفت تا آب فقط از طریق ثقلی خارج گشته و هر هشت ساعت یک‌بار وزن آن‌ها یادداشت شد. بعد از ثابت شدن منحنی آب با توزین گلدان‌ها میزان آب در ظرفیت زراعی مشخص و با وزن شدن روزانه گلدان‌ها بر اساس کمبود آب نسبت به سطح مربوطه میزان آب آبیاری تعیین شد. با توجه به مقدار آب لازم در ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی، نسبت آب موردنیاز در ۹۰، ۷۰ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی محاسبه شد. با توجه به کشت ریزوم‌های یکسان زمانی که بخش رویشی گیاه در بیرون خاک به طول ۴-۶ سانتیمتر رسید (در مرحله حدود ۲۰ برگی) تنش خشکی اعمال شد. نحوه اعمال تیمارهای نانو دی‌اکسید تیتانیوم به‌صورت محلول‌پاشی برگی بود. به‌این‌ترتیب که تیمارهای فوق طی چهار مرحله بافاصله هفت روز یک‌بار (دو مرحله قبل از اعمال تنش و دو مرحله پس از اعمال تنش خشکی) روی برگ‌های گیاه ترخون محلول‌پاشی شدند. در انتهای آزمایش و پس از مشاهده علائم ظاهری تنش (رنگ‌پریدگی برگ‌ها) در بیشترین سطح تنش خشکی اعمال‌شده (۵۰٪) صفات زیر اندازه‌گیری شد.

صفات مورفولوژیک

ارتفاع گیاه، تعداد ساقه جانبی و تعداد برگ در بوته ثبت شد. وزن خشک بخش هوایی، ریشه و وزن خشک کل بعد از خشک شدن نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. قطر ساقه در محل طوقه، طول و قطر ریشه با کولیس دیجیتال و سطح برگ با دستگاه سطح برگ سنج اندازه‌گیری شد.

صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی

محتوای رطوبت نسبی آب برگ بعد از مشاهده علائم تنش از رابطه زیر محاسبه شد (Omae et al., 2007):

$$RWC\ (\%) = (LDW - LFW) / (LDW - LTW) \times 100 \quad [۱]$$

که در آن RWC : محتوای رطوبت نسبی (٪) و LDW، LFW و LTW به ترتیب وزن خشک، وزن تر و وزن آماس برگ (گرم) هستند.

نشت الکترولیت: به جهت تعیین مقدار پایداری غشای سلولی از صفت نشت الکترولیت استفاده شد (Sairam and Srivastava, 2001). به این منظور ابتدا قطعاتی برگی تهیه شد. این قطعات پس از شست‌وشو با ۱۰ سی‌سی آب مقطر در لوله‌های آزمایش قرار گرفتند. لوله‌ها به مدت ۱۷ تا ۱۸ ساعت به‌وسیله شیکر تکان داده شدند. سپس هدایت الکتریکی اولیه (EC1) به‌وسیله دستگاه هدایت سنج (EC متر)، اندازه‌گیری شد. در ادامه به‌منظور تعیین هدایت الکتریکی ثانویه (EC2) لوله‌های آزمایش به اتوکلاو با درجه

حرارت ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه منتقل شدند. درنهایت درصد نشت الکترولیت از طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$El\ (\%) = (EC1/EC2) \times 100 \quad [۲]$$

رنگیزه‌های فتوسنتزی: استخراج کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید طبق روش دره و همکاران (Dere et al., 1998) انجام شد. برای استخراج کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید برگ تازه به میزان ۰/۲ گرم را کاملاً خردکرده و آن را در یک هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۶٪ ساییده تا به‌صورت توده یکنواختی درآید (عمل ساییدن و له کردن در محیط خنک و در نور کم انجام گرفت). مخلوط حاصل از کاغذ صافی رد شده و سپس به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه انجام گرفت. بلافاصله محلول روشناور را برداشته و با استفاده از اسپکتروفتومتر ساخت شرکت Bio Quest انگلستان، مدل CE 2502، میزان جذب نور در طول‌موج‌های ۶۶۶ و ۶۵۳ نانومتر قرائت گردید؛ و نهایتاً غلظت کلروفیل با استفاده از روابط زیر به دست آمد.

$$Chl\ a\ (\mu g/ml) = 15.65\ A666 - 7.340\ A653 \quad [۳]$$

$$Chl\ b\ (\mu g/ml) = 27.05\ A653 - 11.21\ A666 \quad [۴]$$

$$Chl\ (total) = Chl\ a + Chl\ b \quad [۵]$$

$$Cx+c = 1000A470 - 2.860Ca - 129.2\ Cb/245 \quad [۶]$$

کربوهیدرات کل: مقدار کربوهیدرات کل با استفاده از معرف آنترون و در طول‌موج ۶۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Sadasivam and Manickam, 1992).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی: به عصاره متانولی تهیه‌شده از برگ ترخون DPPH اضافه شد و پس از ۳۰ دقیقه جذب آن‌ها در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر با اسپکتروفتومتر UV/Vis قرائت گردید (Kulisic et al., 2004).

آنالیز آماری

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش توسط نرم‌افزارهای JAMP 4 و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون Tukey HSD در سطح آماری ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی، ریشه، کل

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات ساده و متقابل تیمارها بر وزن خشک گیاه ترخون (وزن خشک اندام هوایی، ریشه و کل) اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). به‌این‌ترتیب با کاهش تدریجی مقدار آب آبیاری وزن خشک گیاه نیز به‌تدریج کاهش یافت. این در حالی است که هر دو غلظت دی‌اکسید تیتانیوم محلول‌پاشی شده (۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام) بر وزن خشک ترخون اثر مثبت داشت.

نتایج مربوط به برهمکنش تیمارهای خشکی و دی‌اکسید تیتانیوم بر صفات وابسته به وزن گیاه ترخون در جدول ۳ آمده است. طبق نتایج این جدول اگرچه خشکی منجر به کاهش وزن خشک کل، وزن خشک اندام هوایی و ریشه ترخون شد ولی محلول‌پاشی با نانو دی‌اکسید تیتانیوم در بهبود این صفات نقش داشت. به‌این‌ترتیب بیشترین وزن خشک اندام هوایی و ریشه ترخون در تیمار ۹۰٪ ظرفیت زراعی آبیاری و محلول‌پاشی با ۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام نانو دی‌اکسید تیتانیوم حاصل شد. طبق نتایج همین جدول وزن خشک کل در شدیدترین تنش خشکی اعمال‌شده (۵۰٪ ظرفیت زراعی) ۰/۳۶ گرم در بوته بود و پس از محلول‌پاشی بوته‌ها با ۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام نانو دی‌اکسید تیتانیوم به ترتیب ۳۱/۴ و ۱۹/۴٪ افزایش یافت. همان‌طور که از نتایج پیداست وزن خشک گیاه در شرایط تنش خشکی کم شد. درواقع وزن خشک گیاه متأثر از رشد گیاه و انجام فرایند فتوسنتز بوده و با کاهش فتوسنتز در شرایط تنش کم می‌شود (Xu et al., 2015). از طرفی وضعیت گیاهان در شرایط تنش خشکی با کاربرد تیتانیوم بهبودیافته و وزن خشک اندام هوایی افزایش می‌یابد (Kiapour et al., 2015). طبق مطالعات اولاد و همکاران (Owolade et al., 2008) میزان عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی در تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۱۲۵ پی‌پی‌ام در هکتار عنصر تیتانیوم بهبود یافت. درواقع افزایش فعالیت نوری فتوسنتز درنتیجه استفاده از تیتانیوم باعث افزایش عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی شد. در مطالعه دیگری اعمال تیتانیوم در محلول غذایی از طریق کاهش اثرات سمی عناصر دیگر، باعث افزایش رشد شد (Haghighi and Daneshmand, 2012). همچنین گزارش شده است تیتانیوم باعث افزایش فعالیت عنصر آهن در کلروپلاست برگ شده و درنهایت جذب مواد غذایی را بالا برده (Al caraz et al., 2004) و این امر موجب افزایش وزن خشک گیاه می‌گردد (Yang and Hong, 2006).

طول و قطر ریشه، تعداد و سطح برگ، ارتفاع و قطر ساقه اصلی، تعداد شاخه جانبی

اثرات ساده تنش خشکی و دی‌اکسید تیتانیوم بر طول و قطر ریشه، سطح و تعداد برگ، ارتفاع و قطر ساقه اصلی در سطح احتمال ۱٪ و بر صفت تعداد شاخه جانبی در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۲).

برهمکنش تیمارهای موردبررسی بر صفات سطح برگ و تعداد شاخه فرعی معنی‌دار نبود ولی بر سایر صفات ذکرشده اثر معنی‌داری داشت. به‌این‌ترتیب با اعمال تنش خشکی طول ریشه زیاد و سایر صفات مورفولوژیک ذکرشده کم شد. تحت تنش ۵۰٪ ظرفیت زراعی سطح برگ از ۵۹ به ۴۰ سانتیمتر مربع رسید (جدول ۴). در تیمار ۹۰٪ ظرفیت زراعی به‌طور میانگین در هر بوته ترخون ۴ شاخه فرعی مشاهده شد و در تنش‌های ۷۰ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی خاک این تعداد به ۳ و ۱ شاخه در هر بوته کاهش یافت. از طرفی محلول‌پاشی برگی غلظت‌های دی‌اکسید تیتانیوم نیز بر صفات مورفولوژیک ذکرشده اثرگذار بود. با اعمال تیمار ۲۰ پی‌پی‌ام نانو دی‌اکسید تیتانیوم سطح برگ از ۴۰/۹ به ۵۰/۳ سانتیمتر مربع در بوته افزایش یافت. در همین تیمار نانو دی‌اکسید تیتانیوم (۲۰ پی‌پی‌ام) به‌طور میانگین در هر بوته ۳ شاخه فرعی مشاهده شد.

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده تحت تنش خشکی

Table 2. Analysis of variance (Mean Squares) for effect of nano titanium dioxide on morphological studied traits under drought stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	قطر ساقه Stem diameter	تعداد برگ Number of leaves	تعداد ساقه جانبی Number of lateral stems	ارتفاع ساقه Stem height	سطح برگ Leaf area
خشکی Drought (D)	2	163.2**	1574.8**	17.69**	970.6**	1104.1**
نانو دی‌اکسید تیتانیوم TiO2	2	209.8**	532**	1.36*	251.5**	541.02**
D× TiO_2	4	16.03**	128.08**	0.27ns	59.71**	29.44ns
خطا Error	27	2.27	19.49	0.36	9.63	14.01
CV(٪)		*19.64*	*30.94*	*39.06*	*24.19*	*21.49*

جدول ۲. ادامه

Table 2. Continued

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	قطر ریشه Root diameter	طول ریشه Root length	وزن خشک کل Total dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک هوایی Shoot dry weight
خشکی Drought (D)	2	212.1**	5135.2**	0.427**	0.046**	0.199**
نانو دی‌اکسید تیتانیوم TiO2	2	272.6**	1330.5**	0.159**	0.020**	0.064**
D× TiO_2	4	20.84**	315.9**	0.010*	0.002**	0.004*
خطا Error	27	2.95	50.98	0.003	0.0003	0.001
CV(٪)		*19.64*	*24.19*	*30.07*	*33.13*	*29.33*

*، ** به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و ns بیانگر اختلاف غیر معنی‌دار

* and ** Significant difference at 5 and 1% respectively, and ns indicates no significant difference

طبق نتایج مربوط به برهمکنش سطوح مختلف رطوبت خاک و نانو دی‌اکسید تیتانیوم (جدول ۳) بیشترین طول ریشه در تنش ۵۰٪ ظرفیت زراعی خاک و محلول‌پاشی با غلظت ۲۰ پی‌پی‌ام نانو دی‌اکسید تیتانیوم مشاهده شد. با افزایش غلظت دی‌اکسید تیتانیوم به ۱۰ پی‌پی‌ام میزان قطر ریشه، ارتفاع ساقه، تعداد برگ و قطر ساقه در تیمار ۹۰٪ ظرفیت زراعی خاک به ترتیب ۴۱/۸، ۳۹/۵، ۵۱/۷ و ۴۲/۲٪ افزایش و در ۵۰٪ ظرفیت زراعی خاک ۱۶/۴، ۸/۸، ۳۰/۷ و

۱۶/۵٪ افزایش داشت. درواقع وقوع تنش کم‌آبی سبب کاهش فشار تورژسانس و افت محتوای رطوبت نسبی برگ‌ها می‌گردد که برآیند آن را می‌توان در کاهش سطح و تعداد برگ، ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی ترخون مشاهده نمود. از طرفی با کاهش آب آبیاری، گیاه از بخش‌های رویشی خود مانند شاخ و برگ‌ها که منابع مهم تبخیر و تعرق در گیاه هستند، کم کرده و روزنه‌هایش نیمه بسته یا بسته می‌ماند. این امر باعث کم شدن جذب دی‌اکسید کربن شده و از طرفی گیاه برای جذب آب، انرژی زیادی مصرف می‌کند (Gorgini Shabankareh et al., 2016). تنش خشکی باعث کاهش میزان سطح برگ‌ها می‌شود به دنبال آن جذب نور نیز کاهش‌یافته و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه کم می‌شود؛ لذا با محدود شدن محصولات فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی، عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (Ahmed et al., 2003).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف رطوبت خاک و محلول‌پاشی نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده

Table 3. Mean comparison of Nanosized titanium dioxide on morphological studied traits under drought stress

Treatments		وزن خشک هوایی	وزن خشک ریشه	وزن خشک کل	طول ریشه
Drought	$NTiO_2$	Shoot dry weight	Root dry weight	Total dry weight	Root length
%FC	ppm	----------gr/plant----------			mm
90	0	0.43^{c}	0.18^{c}	0.61^{c}	59.85^{d}
	10	0.64^{a}	0.27^{ab}	0.92^{a}	65.17^{d}
	20	0.56^{ab}	0.23^{b}	0.79^{ab}	70.42^{d}
70	0	0.40^{cd}	0.17^{cd}	0.57^{cd}	76.27^{cd}
	10	0.54^{b}	0.29^{a}	0.83^{ab}	93.90^{b}
	20	0.49^{bc}	0.26^{ab}	0.75^{b}	100.29^{b}
50	0	0.25^{e}	0.11^{e}	0.36^{e}	89.15^{bc}
	10	0.33^{de}	0.14^{cde}	0.47^{de}	124.20^{a}
	20	0.30^{e}	0.13^{de}	0.43^{e}	105.24^{b}

جدول ۳. ادامه

Table 3. Continued

Treatments		قطر ریشه	ارتفاع ساقه	تعداد برگ	قطر ساقه
Drought	$NTiO_2$	Root diameter	Stem height	Number of leaves	Stem diameter
%FC	ppm	----------mm----------			mm
90	**0**	26.50^{bc}	38.76^{bc}	37.75^{b}	23.25^{bc}
	10	37.62^{a}	54.00^{a}	57.25^{a}	33.00^{a}
	20	35.91^{a}	45.76^{b}	62.50^{a}	31.50^{a}
70	**0**	23.08^{cd}	33.16^{cd}	32.00^{bc}	20.25^{cd}
	10	28.78^{b}	40.82^{b}	37.50^{b}	25.25^{b}
	20	33.90^{a}	43.60^{b}	37.25^{b}	29.73^{a}
50	**0**	21.32^{d}	26.02^{d}	26.00^{c}	18.70^{d}
	10	24.89^{bcd}	28.33^{d}	34.00^{bc}	21.83^{bcd}
	20	28.67^{b}	30.61^{d}	32.00^{bc}	25.15^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۵٪، آزمون Tukey HSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

Means that have common alphabetic in each trait do not significant difference at level%5 base on Tukey HSD test

رنگیزه‌های فتوسنتزی

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس اثرات ساده و متقابل تیمارها بر مقدار کلروفیل a، b و کل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۵). همچنین اثرات ساده دو تیمار موردبررسی بر محتوای کارتنوئید برگ ترخون اثرگذار بود. با کاهش آب آبیاری از ۹۰ به ۵۰٪ ظرفیت زراعی خاک مقدار کارتنوئید برگ از ۰/۳۷ به ۰/۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر کاهش یافت. در تنش ۵۰٪ ظرفیت زراعی مقدار کلروفیل a و b در شرایط عدم محلول‌پاشی با نانو دی‌اکسید تیتانیوم به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود. این در حالی است که در همین سطح از تنش، با محلول‌پاشی ۱۰ پی‌پی‌ام نانو دی‌اکسید تیتانیوم مقادیر کلروفیل a و b به

ترتیب ۳/۲ و ۲۹/۱٪ و با محلول‌پاشی ۲۰ پی‌پی‌ام نانو دی‌اکسید تیتانیوم ۱۶/۱ و ۷۰/۵٪ افزایش یافت. به‌این‌ترتیب بیشترین مقدار کلروفیل کل در شرایط عدم اعمال تنش خشکی (۹۰٪ ظرفیت زراعی خاک) و در دو غلظت ۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام نانو دی‌اکسید تیتانیوم به میزان ۱/۰۳ و ۰/۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده شد. تنش خشکی بر بخش نوری فتوسنتز بیشترین تأثیر را دارد.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات ساده برخی صفات اندازه‌گیری شده در سطوح متفاوت تنش خشکی و نانو دی‌اکسید تیتانیوم

Table 4. Mean comparison of some studied traits in different drought stress and Nano titanium dioxide levels

Treatments	تیمارها	سطح برگ Leaf Area	تعداد ساقه جانبی Number of lateral stems	کارتنوئید Cartonoeid	محتوای نسبی رطوبت Relative water content
		cm^2		mg/g	%
خشکی Drought (%FC)	90	59.00[a]	4.00[a]	0.378[a]	74.25[a]
	70	45.83[b]	3.41[a]	0.223[b]	57.08[b]
	50	40.33[c]	1.66[b]	0.195[b]	44.75[c]
نانو دی‌اکسید تیتانیوم $NTiO_2$ (ppm)	0	40.91[b]	2.66[b]	0.233[b]	54.66[b]
	10	53.91[a]	3.33[a]	0.287[a]	62.00[a]
	20	50.33[a]	3.08[ab]	0.276[a]	59.41[a]

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۵٪، آزمون Tukey HSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

Means that have common alphabetic in each trait do not significant difference at level%5 base on Tukey HSD test

بروز تنش اکسیداتیو ناشی از کمبود رطوبت در کلروپلاست‌ها باعث تولید انواع اکسیژن فعال می‌گردد. رادیکال‌های ایجادشده بسیار زیان‌بار بوده و اثرات نامطلوبی را بر پروتئین‌ها و مراکز واکنش فتوسیستم II می‌گذارد (Jin et al., 2003). به‌گونه‌ای که با افزایش مقدار و زمان قرارگیری گیاهان در شرایط تنش خشکی سبب افزایش روند تخریب رنگیزه‌های کلروفیل می‌گردد (Jiang and Huang, 2001). در همین رابطه گزارش شده است در شرایط تنش خشکی، به نظر می‌رسد گلوتامات که پیش ماده کلروفیل‌ها و پرولین است به پرولین تبدیل شده و درنتیجه از محتوای کلروفیل‌ها کاسته می‌شود (Lawlor and Cornic, 2002). همان‌طور که از نتایج نیز مشخص است با کاهش آب آبیاری‌ها مقدار کلروفیل موجود در برگ کم شده و به دنبال آن محتوای پرولین برگی افزایش یافت. کاهش میزان کلروفیل‌ها در اثر تنش خشکی، به علت افزایش تولید اکسیژن فعال است (Schutz and Fangmier, 2001). همچنین مطالعات نشان داده که تنش خشکی به‌طور معنی‌داری محتوای کلروفیل‌های a، b، کلروفیل‌های کل و کارتنوئیدها را کاهش می‌دهد (Shamsi, 2010). از طرفی افزایش میزان کلروفیل در شرایط تنش به‌واسطه کاربرد نانو تیتانیوم گزارش گردیده است (Lyu et al., 2017). نتایج ما با مطالعات رسولی و همکاران (Rasouli et al., 2018) روی گیاه بادمجان مبنی بر تأثیر مثبت نانوذرات تیتانیوم بر افزایش کلروفیل منطبق است. گزارش شده است تیتانیوم با افزایش مقدار کلروفیل و به دنبال آن افزایش فتوسنتز، خصوصاً از طریق افزایش انتقال الکترون از فتوسیستم ۲ به ۱، افزایش فعالیت نوری فتوسنتز و همچنین تأثیر در جذب عناصر مؤثر در تولید کلروفیل و فتوسنتز مثل آهن، منیزیم و نیتروژن می‌تواند روی رشد رویشی گیاه مؤثر باشد (Owolade et al., 2008).

محتوای رطوبت نسبی و نشت الکترولیت

هرچند برهمکنش دو تیمار مورد آزمایش بر محتوای رطوبت نسبی برگ اثرگذار نبود اما اثرات ساده دو تیمار بر محتوای نسبی رطوبت برگ گیاه ترخون اثر گذاشت (جدول ۵). با کاهش رطوبت خاک از ۹۰ به ۷۰٪ ظرفیت زراعی محتوای رطوبت نسبی برگ از ۷۴ به ۵۷٪ و در تنش ۵۰٪ ظرفیت زراعی خاک به ۴۴٪ رسید. همچنین محتوای رطوبت نسبی در تیمار عدم محلول‌پاشی برگی با نانو دی‌اکسید تیتانیوم ۵۴٪ بود و در تیمارهای ۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام به ۶۲ و ۵۹٪ رسید. اثرات ساده و متقابل تیمارهای مورد آزمایش بر میزان نشت الکترولیت‌های برگی اثر معنی‌داری گذاشت. کمترین نشت الکترولیت سلول‌های برگی در تیمار ۹۰٪ ظرفیت زراعی خاک و با کاربرد ۱۰ پی‌پی‌ام نانو دی‌اکسید تیتانیوم به میزان ۴۹٪ مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ۵. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی اندازه‌گیری شده تحت تنش خشکی

Table 5. Analysis of variance (Mean Squares) for effect of nano titanium dioxide on physiological and biochemical studied traits under drought stress

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئید Cartonoeid
Drought (D)	خشکی	2	0.112**	0.104**	0.399**	0.116**
TiO_2	نانو دی‌اکسید تیتانیوم	2	0.026**	0.020**	0.093**	0.009**
D× TiO_2	D× TiO_2	4	0.006**	0.005**	0.016**	0.001ns
Error	خطا	27	0.001	0.0009	0.002	0.0008
CV%	ضریب تغییرات		*22.55*	*31.07*	*24.23*	*33.74*

Table 5. Continued **جدول ۵. ادامه**

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	محتوای نسبی رطوبت Relative water content	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	کربوهیدرات کل Total carbohydrates
Drought (D)	خشکی	2	2634.11**	1345.2**	1941.5**	62023.6**
TiO_2	نانو دی‌اکسید تیتانیوم	2	166.02**	417.1**	483.5**	44061.6**
D× TiO_2	D× TiO_2	4	8.52ns	89.6**	56.42**	5693.48**
Error	خطا	27	9.67	4.43	4.43	458.7
CV%	ضریب تغییرات		*22.11*	*15.12*	*15.12*	*25.82*

*، ** به ترتیب بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصدو ns بیانگر اختلاف غیر معنی‌دار

* and ** Significant difference at 5 and 1% respectively, and ns indicates no significant difference

مقدار نسبی آب برگ یکی از صفات درگیر در تحمل به تنش کمبود آب در گیاهان است (Ghaffari and Haji Hoseinlou, 2013). لذا گیاهانی که محتوای نسبی آب برگ بیشتری دارند، از توانایی حفظ آب بالاتری نیز برخوردار هستند و بنابراین به فتوسنتز ادامه خواهند داد. بر اساس نتایج این تحقیق بیشترین محتوای نسبی آب برگ تحت شرایط ۹۰٪ ظرفیت زراعی خاک بود. گزارش شده است تیتانیوم توانایی زیادی در جهت بهبود عملکرد فیزیولوژیک گیاهان دارد (Mingyu et al., 2007 Berahmand et al., 2012). در این مطالعه اثر مثبت آن بر محتوای نسبی رطوبت و نشت الکترولیت برگ‌های ترخون مشاهده شد. از طرفی یکی از دلایل مهم آسیب در گیاهان در معرض تنش ایجاد تنش اکسیداتیو است که در اثر تولید انواع اکسیژن فعال در کلروپلاست است که با آسیب‌های اکسیداتیو بر ماکرومولکول‌های زیستی نهایتاً کارایی سلول را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در این میان، آسیب به غشاها یکی از رایج‌ترین اثرات مخربی است که توسط انواع اکسیژن فعال در سلول‌های گیاهی انجام می‌گردد. در این تحقیق بیشترین درصد نشت الکترولیت در گیاهانی مشاهده شد که تحت تنش ۵۰٪ ظرفیت زراعی بودند و با نانوذرات محلول‌پاشی نشدند، درحالی‌که تغذیه‌ی بوته‌ها با غلظت‌های متفاوت نانوذرات تیتانیوم سبب حفظ پایداری غشاء سیتوپلاسمی شد. به عبارتی فعالیت تخریبی گونه‌های اکسیژن فعال که عامل تخریب غشا سیتوپلاسمی هستند توسط نانو ذرات تیتانیوم تحت کنترل قرار گرفت (Jiang and Huang, 2001). گزارش شده است که دی‌اکسید تیتانیوم در ابعاد نانو می‌تواند درصد نشت الکترولیت را در سلول‌های گیاه گلابی (Zarafshar et al., 2015) و همچنین اثر مخرب و مضر تنش اکسیداتیو، در گیاهان را با افزایش تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی به میزان زیادی کاهش دهد (Lei et al., 2008).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف رطوبت خاک و محلول‌پاشی نانو دی‌اکسید تیتانیوم بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تحت تنش خشکی

Table 6. Mean comparison of Nanosized titanium dioxide on physiological and biochemical studied traits under drought stress

Drought	$NTiO_2$	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	کربوهیدرات کل Total carbohydrates
%FC	ppm	----------mg/g FW----------				%	mg/g
	0	0.447^{bcd}	0.337^{b}	0.785^{b}	67.47^{c}	49.065^{e}	14.65^{f}
90	**10**	0.595^{a}	0.442^{a}	1.037^{a}	49.65^{e}	67.47^{c}	32.47^{cd}
	20	0.525^{ab}	0.432^{a}	0.957^{a}	59.05^{d}	59.05^{d}	26.05^{e}
	0	0.392^{cde}	0.232^{cd}	0.625^{cd}	80.10^{ab}	66.05^{c}	28.05^{de}
70	**10**	0.510^{ab}	0.295^{bc}	0.805^{b}	66.05^{c}	77.80^{ab}	36.80^{abc}
	20	0.477^{ab}	0.242^{cd}	0.720^{bc}	77.80^{ab}	80.10^{ab}	41.10^{a}
	0	0.315^{e}	0.177^{d}	0.492^{e}	82.32^{a}	75.17^{b}	34.17^{bc}
50	**10**	0.320^{e}	0.222^{cd}	0.542^{de}	78.82^{ab}	82.32^{a}	41.32^{a}
	20	0.362^{de}	0.292^{bc}	0.655^{cd}	75.17^{b}	78.82^{ab}	38.35^{ab}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر صفت، در سطح ۵٪ آزمون Tukey HSD دارای تفاوت معنی‌داری نیستند.

Means that have common alphabetic in each trait do not significant difference at level%5 base on Tukey HSD test

فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کربوهیدرات کل

اثرات ساده و متقابل دو تیمار آبیاری و سطوح نانو ذرات بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی و تجمع کربوهیدرات کل در برگ ترخون در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۵). با افزایش شدت تنش هر دو صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کربوهیدرات محلول موجود در برگ گیاه ترخون افزایش یافت. این در حالی است که نانو ذرات دی‌اکسیدتتیانیوم هم در افزایش محتوای این صفات در برگ مؤثر بودند. به‌این‌ترتیب در تیمار ۹۰٪ ظرفیت زراعی خاک و در شرایط عدم محلول‌پاشی با نانو دی‌اکسید تیتانیوم کمترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۴۹٪) و کمترین مقدار کربوهیدرات کل (۱۴mg/g) در برگ مشاهده شد. درواقع سلول‌های گیاهی با سنتز و تجمع برخی از قندها (از قبیل گلوکز و ساکارز)، پروتئین‌ها، سیکلیتول‌ها، ترکیبات الکلی، اسیدهای آلی و اسیدهای آمینه به تنش خشکی پاسخ می‌دهند (Masinde et al., 2005). مطالعات در گیاه لوبیا نشان داد کاربرد نانوذره دی‌اکسید تیتانیوم در غلظت ۰/۰۱ درصد منجر به افزایش قندهای محلول آن شد (Abdel latef et al., 2017). گزارش شده است احتمالاً نانوذره تیتانیوم با افزایش دریافت نور، فتوسنتز و کارایی آن را افزایش داده و پتانسیل تولید کربوهیدرات گیاه را بالا می‌برد (Rasouli et al., 2018).

در تحقیقی اثر نانو اکسید روی بر مواد آنتی‌اکسیدانی گلرنگ بررسی شد. نتایج نشان داد که آنتی‌اکسیدانت در غلظت ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانو ذرات اکسید روی افزایش نشان داده اما در غلظت‌های بالاتر دچار کاهش شده است (Alizadeh et al., 2015). گزارش شده است نانو آهن بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مرزه اثر داشته ولی در غلظت بالا موجب کاهش میزان آنتی‌اکسیدانت می‌شود (Peyvandi et al., 2011). نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم روی فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه عدس اثرگذار است (Soltani et al., 2004). مطالعات روی گیاه مرزه نشان داد نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم به‌جز اینکه باعث افزایش آنتوسیانین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدانت شده تأثیری بر سایر مواد آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی نداشته است (Davari et al., 2018).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این مطالعه نشان داد بیشترین وزن خشک اندام هوایی و ریشه ترخون در تیمار ۹۰٪ ظرفیت زراعی خاک و محلول‌پاشی با ۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام نانو دی‌اکسید تیتانیوم به دست آمد. با کاهش رطوبت خاک از ۹۰ به ۷۰٪ و ۵۰٪ ظرفیت زراعی خاک کم شد. با افزایش شدت تنش هر دو صفت فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کربوهیدرات محلول موجود در

برگ گیاه ترخون افزایش یافت این در حالی است که گیاهان در تیمار ۹۰٪ ظرفیت زراعی خاک و در شرایط عدم محلول‌پاشی با نانو دی‌اکسید تیتانیوم برگ میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کربوهیدرات کل کمتری داشتند. از طرفی با افزایش غلظت دی‌اکسید تیتانیوم به ۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام قطر ریشه، ارتفاع و قطر ساقه در همه تیمارهای آبیاری افزایش داشت که این افزایش در غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام نسبت به ۲۰ پی‌پی‌ام بیشتر بود. به‌طورکلی اگرچه اعمال تنش خشکی منجر به کاهش صفات مورفولوژیک و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در ترخون شد محلول‌پاشی با نانو دی‌اکسید تیتانیوم در دو غلظت ۱۰ و ۲۰ پی‌پی‌ام در بهبود این صفات مؤثر بود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از واحد ویژه خدمات تخصصی باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشگاه فردوسی مشهد جهت تأمین هزینه‌های این پژوهش قدردانی می‌شود.

منابع

Abdel Latef, A.A., Alhmad, M.F.A., Abdel Fattah, K.E., 2017. The possible roles of priming with ZnO nanoparticles in mitigation of salinity stress in lupine (*Lupinus termis*) Plants. Journal of Plant Growth Regulation. 36, 60–70.

Ahmed, S., Nawata, E., Hosokawa, M., Domae, Y., Sakuratani, T., 2002. Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mung bean subjected to water logging. Plant Science. 163, 117-123.

Alcaraz, C., Botia, M., Carlos, F., Fernando, R., 2004. Effect of foliar sprays containing calcium, magnesium and titanium on peach (*Prunus persica* L.) fruit quality. Journal of the Science of Food and Agriculture. 84, 949-954.

Alizadeh, N., Majd, A., Mahmoudzadeh, H., Jonubi, P. 2015. The effects of zinc oxide nanoparticles on some biochemical characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). pp. 13-15. 2nd National Conference of Medicinal Herbs, Traditional Medicine and Organic Farming. August 27, Hamedan, Iran. [In Persian].

Aminian, R., Paknejad, M., Hoseini, S.M., 2017. Effect of nano titanium dioxide on yield and yield components of safflower under normal and low irrigation. Environmental Stresses in Crop Sciences. 10, 377-390. [In Persian with English summary].

Berahmand, A.A., Panahi, A.G., Sahabi, H., Feizi, H., Moghaddam, P.R., Shahtahmassebi, N., Gallehgir, O., 2012. Effects silver nanoparticles and magnetic field on growth of fodder maize (*Zea mays* L.). Biological Trace Element Research. 149, 419-424.

Bown, D., 1995. Encyclopedia of herbs & their uses. Dorling Kindersley. London. Candan, T. and Tarhan, L. Changes in chlorophyll-carotenoid contents, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation level in Zn-stressed. Pulegium. Turkish Journal of Chemistry 27, 21-30.

Davari, A., Solouki, M., Fazeli-Nasab, B., 2018. Effects of jasmonic acid and titanium dioxide nanoparticles on process of changes of phytochemical and antioxidant in genotypes of *Satureja hortensis* L. Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants. 5, 1-19. [In Persian with English summary].

Dere, S., Gunes, T., Sivaci, R., 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll - a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. Journal of Botany. 22, 13-17.

Dulai, S., Molnar, I., Pronay, J., Csernak, A., Tarnai R., Molnar-Lang M., 2006. Effects of drought on photosynthetic parameters and heat stability of PSII in wheat and in Aegilops species originating from dry habitats. Acta Biologica Szegediensis. 50, 11-17.

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

Gao, J., Xu, G., Qian, H., Liu, P., Zhao, P., Hu, Y., 2013. Effects of nano-TiO_2 on photosynthetic characteristics of Ulmus elongata seedlings. Environmental Pollution. 176, 63-70.

Ghaffari, M., Haji Hoseinlou, S., 2013. Seed yield determinants of sunflower under drought stressed and well-watered conditions. International Journal of Agronomy and Plant Production. 4, 3816-3823.

Gorgini Shabankareh, H., Fakheri, B.A., Mohammadpuor Vashvaii, R., 2016. Effects of different levels of salinity and drought stress on growth parameters and essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). Iranian Journal of Filed Crop Science. 46, 673-686. [In Persian with English summary].

Haghighi, M., Daneshmand, B., 2012. Comparison of titanium and titanium nanoparticles on growth and photosynthesis of tomato in hydroponic system. Science and Technology of Greenhouse Cultures. 4, 73-79. [In Persian with English summary].

Hydari Romy, R., Moaveni, P., Hoseinpour Darvishy, H., Arefrad, M. 2015. Response of some morpho-physiological characteristics of borago (*Borago officinalis*) to nano particles of titanium spraying. Journal of Crop Ecophysiology. 10, 875-890. [In Persian with English summary].

Ji, X., Shiran, B., Wan, J., Lewis, D.C., Jenkins, C.L., Condon, A.G., Richards, R.A., Dolferus, R., 2010. Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. Plant, Cell and Environment. 33, 926- 942.

Jiang, Y., Huang, N., 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Science. 41, 436-442.

Jin. E.S., Yokthongwattana, K., Polle, J.E.W., Melis, A., 2003. Role of the reversible xanthophyll cycle in the photosystem II damage and in *Dunaliella salina*. Plant Physiology. 132, 325- 364.

Kiapour, H., Moaveni, P., Habibi, D., Sani, B., 2015. Evaluation of the application of gibberellic acid and titanium dioxide nanoparticles under drought stress on some traits of basil (*Ocimum basilicum* L.). International Journal of Agricultural Research. 6, 138-150.

Kordali, S., Kotan, R., Mavi, A., 2005. Detrmination of the chemical composition and antioxidant activity of the Essential oil of *Artemisia dracunculus* and of the antifungal and antibacterial activities of Turkish *Artemisia absinthium*, *A. dracunculus*, *A. santonicum*, and *A.spicigera* essential oils. Journal of Agricalture Food Chemistry. 53, 9452-9458.

Lawlor, D.W., Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment. 25, 275-294.

Lei, Z., Su, M.Y., Wu, X.C., Qu, C.X., Chen, L., Huang, H., Liu, X.Q., Hong, F.S., 2008. Antioxidant stress is promoted by Nanoanatase in spinach chloroplasts under UV- Beta radiation. Biological Trace Element Research. 121, 69–79.

Li, W., Wang, Y., Okamoto, M., Crawford, N.M., Siddiqi, M.Y., Glas, A.D.M., 2007. Dissection of the AtNRT2.1: AtNRT2.2 inducible high-affinity nitrate transporter gene cluster. Plant Physiology. 143, 425–433.

Luan, S., 2002. Signaling drought in guard cells. Plant, Cell and Environment. 25, 229-237.

Lyu, S., Wei, X., Chen, J., Wang, C., Wang, X., Pan, D., 2017. Titanium as a Beneficial Element for Crop Production. Frontiers in Plant Science. 8, 1-19.

Mingyu, S., Xiao, W., Chao, L., Chunxiang, Q., Xiaoqing, L., Liang, C., Hao, H., Fashui, H., 2007. Promotion of energy transfer and oxygen evolution in spinach photosystem II by nano-anatase TiO_2. Biological Trace Element Research. 119, 183-192.

Mohammadi, R., Maali-Amiri, R., Abbasi, A., 2013. Effect of TiO_2 nanoparticles on chickpea response to cold stress. Biological Trace Element Research. 152, 403-410.

Navarro, E., Baun, A., Behra, R., Hartmann N.B., Filser, J., Miao, A. J., Quigg, A., Santschi, P.H., Sigg, L., 2008. Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, Plants, and Fungi. Ecotoxicology. 17, 372-386.

Omidbeigi, R. 2000. Production and Processing of Medicinal Plants. Vol. 3, Astan Quds Publication, Tehran, 2000, 286p. [In Persian].

Owolade, O. F., Ogunleti, D. O., Adenekan, M.O., 2008. Titanium dioxide affects diseases, development and yield of edible cowpea. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 7, 2942-2947.

Parida, A.K., Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review.

Ecotoxicology and Environmental Safety. 60, 324-349.

Peyvandi, M., Mirza, M., Kamali Jamakani, Z., 2011. The effect of nano Fe chelate and Fe chelate on the growth and activity of some antioxidant. New Cellularand Molecular Biotechnology Journal. 2, 25-32.

Qi, M., Liu, Y., Li, T., 2013. Nano-TiO2 improve the photosynthesis of tomato leaves under mild heat stress. Biological Trace Element Research. 156, 323-328.

Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G., Perrotta, C., 2006. Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. Plant, Cell Environment. 22, 2143-2153.

Rasouli, F., Abedini, F., Zahedi, S.M., 2018. The effect of Titanium nano dioxide on physiological particular and chlorophyll fluorescence parameters in Eggplant (*Solanum melongena* L.) under water deficit stress. Journal of Vegetables Sciences. 2, 37-51. [In Persian with English summary].

Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., Vivekanandan, M., 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology. 161, 1189-1202.

Reynolds, G.H., 2002. Nanotechnology and the regulatory policy. Harvard Journal of Law and Technology. 17, 179–209.

Sacala, E., 2009. Role of silicon in plant resistance to water stress. Journal of Elementology. 14, 619-630.

Sairam, R.K., Srivastava, G.C., 2001. Water stress tolerance of wheatTriticum aestivumL: Variation in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotype. Journal Agronomy and Crop Science. 186, 63-70

Schutz, H., Fangmier, E., 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to elevated CO_2 and water limitation. Environmental Pollution. 114, 187-194.

Shamsi, K., 2010. The effect of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrate and chlorophyll of bread wheat cultivars. Journal of Animal and Plant Sciences. 3, 1051- 1060.

Sharma, P., Jha, A., Dubey, R., Pessarakli, M., 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. Journal of Botany. 14, 1-26.

Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., Tajbakhsh Shishvan, M., Seyed Sharifi, R. 2010. Effect of nano iron particles on agronomic traits of soybean. Notulae Scientia Biologicae. 2, 112–113.

Soltani, M., Moaafi, P., Nouri, H. 2004. The effect of foliar application of titanium dioxide nanoparticles on yield and activities of antioxidant enzymes in lentil (*Lens culiaris* Medik.). Iranian Journal of Plant Physiology. 9, 78-88. [In Persian with English summary].

Xu, W., Cui, K., Xu, A., Nie, L., Huang, J., Peng, S., 2015. Drought stress condition increases root to shoot ratio via alteration of carbohydrate partitioning and enzymatic activity in rice seedlings. Acta Physiologiae Plantarum. 37, 1-9.

Yang, F., Hong, S., 2006. Influence of nano anatase TiO2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biological Trace Element Research Journal. 110, 179-190.

Zarafshar, M., Akbarinia, M., Askari, F., Hosseini, M., Rahaie, M., 2015. Effects of TiO2 NPs on alleviation of drought negative effects in wild pear seedlings. Journal of Plant Ecosystem Conservation. 3, 81-94. [In Persian with English summary].

Zheng, L., Mingyu, S., Xiao, W., Chao, L., Chunxiang, Q., Liang, C., Hao, H., Xiaoqing, L., Fashui, H., 2007. Effects of nano-anatase on spectral characteristics and distribution of LHCII on the thylakoid membranes of Spinach. Biological Trace Element Research Journal. 120, 273-283.

Zheng, L., Su, M., Liu, C.H., Li, C., Huang, H., Wu, X., Liu, X., Yang, Gao, F., Hong, F. 2007. Effects of nanoanatase TiO_2 on photosynthesis of spinach chloroplasts under different light illumination. Biological Trace Element Research. 119, 68–76.